

Síntese de Nanopartículas de Prata pela Técnica de Eletrodeposição para Desenvolvimento de Biossensores

Synthesis of Silver Nanoparticles by Electrodeposition Technique for Biosensor Development

DOI:10.34117/bjdv7n3-709

Recebimento dos originais: 08/02/2021

Aceitação para publicação: 26/03/2021

Danyelle Guedes Garcia

Graduanda em Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de Campina Grande – UFCG

Instituição: Universidade Federal de Campina Grande - UFCG

Endereço: R. Aprígio Veloso, 882 - Universitário, Campina Grande - PB, 58428-830

E-mail: danyelle.garcia@certbio.ufcg.edu.br

Kleilton Oliveira Santos

Doutorando em Ciências e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de Campina Grande – UFCG

Instituição: Universidade Federal de Campina Grande - UFCG

Endereço: R. Aprígio Veloso, 882 - Universitário, Campina Grande - PB, 58428-830

E-mail: kleilton.oliveira@certbio.ufcg.edu.br

Kylwver Fanis Dias Freitas

Graduando em Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de Campina Grande - UFCG

Instituição: Universidade Federal de Campina Grande - UFCG

Endereço: R. Aprígio Veloso, 882 - Universitário, Campina Grande - PB, 58428-830

E-mail: kylwver@gmail.com

Márcio José Batista Cardoso

Doutor em Ciências e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de Campina Grande - UFCG

Instituição: Universidade Federal da Paraíba – UFPB

Endereço: Campus I - Lot. Cidade Universitária, PB, 58051-900

E-mail: marcio.cardoso@academico.ufpb.br

Marcus Vinícius Lia Fook

Doutor em Química pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - UNESP

Instituição: Universidade Federal de Campina Grande - UFCG

Endereço: R. Aprígio Veloso, 882 - Universitário, Campina Grande - PB, 58428-830

E-mail: marcus.liafook@certbio.ufcg.edu

RESUMO

As nanopartículas (NPs) têm sido cada vez mais utilizadas na análise biomédica, na fabricação de biossensores / biointerfaces, no diagnóstico clínico, em terapias, na

administração de fármacos e outros. As nanopartículas de prata (AgNPs) são as NPs mais utilizadas devido às suas inúmeras aplicações. Diferentes métodos têm sido utilizados para a síntese e estabilização de nanopartículas de prata, tais como físicos, químicos, eletroquímicos, fotoquímicos, radiação gama e ablação a laser. A eletrodeposição se enquadra como método eletroquímico, sendo uma técnica que utiliza corrente elétrica para reduzir os cátions de um material a partir de uma solução de eletrólito. Os biossensores são dispositivos de grande relevância nas mais diferentes áreas de aplicação, devido suas repostas rápidas, precisas e de baixo custo. O uso de nanopartículas para o desenvolvimento de dispositivos vem crescendo exponencialmente e isto se justifica devido melhorias nas propriedades desses dispositivos. Desta forma o objetivo desta pesquisa compreende na síntese e caracterizações de nanopartículas de prata obtidas por um processo de eletrodeposição por um processo simples, rápido e com uso de poucos reagentes (reduzindo a toxicidade das mesmas). Após obtenção, os mesmos foram caracterizados por difração de raios X (DRX), microscopia eletrônica de varredura com espectroscopia de energia dispersiva de raios X (MEV/EDS), espalhamento dinâmico de luz (DLS) e potencial Zeta. Os resultados de DRX indicaram a presença de única fase cristalina de prata. Na MEV observou-se que as partículas de prata formam uma estrutura geométrica granular esbranquiçada e o espectro de EDS comprovou que as partículas formadas são de prata. O DLS indicou a formação de nanopartículas de prata com tamanhos de 474 nm e polidispersividade de 0,121. O potencial Zeta comprovou a boa estabilidade das partículas apresentando um valor médio de -39,75 mV. Foi possível obter através do método de eletrodeposição, nanopartículas de prata de boa estabilidade e alto grau de pureza, com potencial para ser utilizado em biossensores.

Palavra-Chave: Nanopartículas, Prata, Eletrodeposição, Biossensores.

ABSTRACT

Nanoparticles (NPs) have been increasingly used in biomedical analysis, in the manufacture of biosensors / biointerfaces, in clinical diagnosis, in therapies, in the administration of drugs and others. Silver nanoparticles (AgNPs) are the most used NPs due to their numerous applications. Different methods have been used for the synthesis and stabilization of silver nanoparticles, such as physical, chemical, electrochemical, photochemical, gamma radiation and laser ablation. Electrodeposition fits as an electrochemical method, being a technique that uses electric current to reduce the cations of a material from an electrolyte solution. Biosensors are devices of great relevance in the most different application areas, due to their fast, accurate and low cost responses. The use of nanoparticles for the development of devices has been growing exponentially and this is justified due to improvements in the properties of these devices. Thus, the objective of this research comprises the synthesis and characterization of silver nanoparticles obtained by an electrodeposition process by a simple, fast process and with the use of few reagents (reducing their toxicity). After obtaining, they were characterized by X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy with X-ray dispersive energy spectroscopy (SEM / EDS), dynamic light scattering (DLS) and Zeta potential. The XRD results indicated the presence of a single silver crystalline phase. In SEM it was observed that the silver particles form a whitish granular geometric structure and the EDS spectrum proved that the particles formed are silver. The DLS indicated the formation of silver nanoparticles with sizes of 474 nm and polydispersity of 0.121. The Zeta potential proved the good stability of the particles, presenting an average value of -39.75 mV. It was possible to obtain, through the electrodeposition method, silver nanoparticles of good stability and high degree of purity, with the potential to be used in biosensors.

Keyword: Nanoparticles, Silver, Electrodeposition, Biosensors.

1 INTRODUÇÃO

Os materiais em escala nanométrica são constituídos por fração considerável de partículas aglomeradas que apresentam faixa de distribuição de tamanhos no intervalo entre um e cem nanômetros (nm), têm dominado várias áreas de engenharia de ciência e tecnologia, que define o entendimento da nanociência e da nanotecnologia (Silva *et al.*, 2018).

A nanotecnologia se caracteriza por ser uma ciência interdisciplinar capaz de englobar conhecimentos provenientes da física, química, engenharia, botânica, zoologia e ciências da terra. A fim de correlacionar os campos da física, química e ciência de nanomateriais, a meta dos cientistas é controlar a morfologia (nanoesferas, nanofios, nanotubos, etc.), estrutura, composição e tamanho, que são as características que definem as propriedades físicas dos materiais resultantes (Uskoković, 2007).

Na área da biotecnologia, as nanopartículas têm sido cada vez mais utilizadas na análise biomédica, na fabricação de biossensores/biointerfaces, no diagnóstico clínico e na terapia, na administração de fármacos e outros. O interesse particular tem sido focado em partículas de metais nobres nanoestruturados para aplicação em biotecnologia devido à sua biocompatibilidade, menor toxicidade e maior afinidade com ampla gama de biomoléculas (Freire *et al.*, 2017).

As inúmeras possibilidades de aplicações dadas a NPs metálicas quando inseridas nos mais diversos materiais provocando mudanças nas propriedades físicas são fatores despertam um intenso interesse da comunidade científica para os estudos nano científico. Uma vez que surge a necessidade de controle sobre os componentes estruturais de materiais para desenvolvimento de equipamentos da microeletrônica, catálise, ação bactericida, células fotovoltaicas, e sobretudo, devido às suas intrínsecas propriedades ópticas, eletrônicas, magnéticas e catalíticas (Masoomi e Morsali, 2013).

As nanopartículas de prata (AgNPs) são as NPs em soluções coloidais, com o elemento metálico prata, utilizadas devido à facilidade com que podem ser preparadas e modificadas quimicamente e, também, por possibilitar inúmeras aplicações, apresentam, pois, grande interesse devido, principalmente, a sua aplicação como agente bactericida e fungicida. Estas vem sendo aplicadas em tecidos, curativos, em processos biológicos e

farmacêuticos, para o desenvolvimento de produtos antibacterianos, sendo vastamente aplicadas e analisadas quanto ao seu comportamento no campo da biomedicina e no transporte de medicamentos (Freire *et al.*, 2017; Nevers *et al.*, 2018; Silva *et al.*, 2018; Zhang *et al.*, 2016).

As AgNps possuem propriedades físico-químicas muito características, incluindo a sua flexibilidade, maleabilidade e uma condutividade térmica e elétrica elevada em relação a qualquer outro metal (Chen e Schluesener, 2008). Caracterizam-se pela sua estabilidade química, atividade catalítica e um comportamento ótico não linear.

Estas propriedades conferem um imenso potencial em tintas, microeletrônica e imagiologia médica. No entanto, é o largo espectro de atividade antimicrobiana da prata e o custo relativamente baixo de obtenção de AgNPs que as torna extremamente populares numa vasta gama de produtos de consumo incluindo plásticos, sabonetes, curativos, metais e têxteis (Fabrega *et al.*, 2011).

De forma geral, por meio das diversas rotas de síntese já utilizadas é possível observar que durante a sintetização de nano partículas de prata há variação na coloração das soluções formadas, esse fenômeno pode ser explicado pelo efeito de ressonância dos plasmons de superfície. A cor amarela é característica e pode ser observada na prata coloidal resultante da absorção da radiação eletromagnética em ressonância com os plasmons da superfície (Melo Jr *et al.*, 2012).

A medida em acontece a aglomeração das NPs o espectro da solução coloidal muda, a cor amarela da solução passa para laranja, posteriormente violeta. O espectro de absorção da solução coloidal de AgNPs, exibe uma banda de absorção em aproximadamente 400 nm, apresentando uma cor amarelo ouro que é característica das AgNPs (Mulfinger *et al.*, 2007).

AgNPs apresentam aplicações promissoras em diversos campos da ciência e tecnologia, uma vez que a prata é um metal moldável e maleável, possui elevada condutividade térmica e elétrica, são agentes oxidantes fortes e têm pouca ou nenhuma citotoxicidade (6,7) o que possibilitou sua aplicação clínica sem riscos. (Fernandes *et al.*, 2016; Scarpelli *et al.*, 2017).

Diferentes métodos têm sido utilizados para a síntese e estabilização de nanopartículas de prata, tais como físicos, químicos, eletroquímicos, fotoquímicos, radiação gama e ablação a laser. Dependendo do método utilizado podem ser obtidas nanopartículas de prata com diferentes morfologias, tamanhos, formas e concentração possibilitando um controle e seleção das características (Rauwel *et al.*, 2015).

No método químico, se destaca uma via clássica que permite a obtenção de NPs em fase líquida, a qual consiste em colocar os reagentes – uma fonte de metal (sal metálico, por exemplo), um agente redutor e um agente estabilizante – em fase aquosa, as nanopartículas se aglomeram em condições físico-químicas específicas e crescem (Gouget, 2007).

A eletrodeposição se enquadra como método eletroquímico, sendo uma técnica que utiliza corrente elétrica para reduzir os cátions de um material a partir de uma solução de eletrólito. Num banho contendo solução de um ou mais sais, é imerso um cátodo, que possui na sua superfície um substrato têxtil e um ânodo que são conectados ao terminal positivo da fonte, ânodo no positivo e cátodo no negativo. Quando o circuito é ligado, o metal ânodo é oxidado (perde elétrons), associando-se aos cátions resultantes e aos ânions em solução. Em seguida os cátions são reduzidos e depositados no substrato têxtil, no seu estado de valência zero. (Zhang *et al.*, 2016).

A técnica de eletrodeposição consiste no crescimento de um determinado material em um substrato sólido, o eletrodo, que está imerso num banho contendo os íons do material a ser depositado, o eletrólito. As camadas crescem devido as reações eletroquímicas, ou seja, reações químicas produzidas pela corrente elétrica. Essas reações ocorrerão na interface do eletrodo com o eletrólito e sempre terão envolvidas a transferência de cargas entre os dois meios (Araújo, 2005).

O mecanismo de eletrodeposição pode ser dividido em uma sequência de etapas que explicam como se forma o depósito nesse processo. A presença de íons do material a ser depositado na superfície do eletrodo se deve a um transporte dos íons disponíveis do eletrólito naquela região. Este transporte é denominado de transporte de massa, e pode ocorrer por três formas: difusão, migração e convecção (Araújo, 2005; Lisboa e Barin, 2009; Stenger, 2008).

A utilização do ultrassom é uma técnica que pode acelerar o processo de eletrodeposição, devido a maiores densidades de corrente de revestimento. As ondas sonoras quando passadas através da solução eletrólita, produz rapidamente pressões elevadas e baixas regiões, resultando no crescimento e colapso de bolhas formadas dentro do fluido, desencadeando maior agitação das partículas presentes (Floate, Hyde e Compton, 2002; Hyde e Compton, 2002; Nevers *et al.*, 2018; Prasad *et al.*, 1993; Zheng e An, 2008).

Os biossensores são dispositivos capazes de identificar substâncias específicas, qualitativamente e/ou quantitativamente vêm sendo aprimorados ao longo dos anos tanto

em melhorias nos dispositivos já existentes quanto no desenvolvimento de novos. Isso origina-se de suas características vantajosas frente aos métodos laboratoriais convencionais, ou seja: menor tempo de análise (minutos a horas), possibilidade de miniaturização e aplicação on-line e no campo de medição, portabilidade, menor custo operacional, de projeto e ao consumidor final (Calil e Roberto, 2011; Furtado *et al.*, 2008; Moreira *et al.*, 2010).

Os biossensores podem ser classificados de acordo com o bioreceptor, ou seja, elemento de reconhecimento biológico e quanto ao transdutor (Alhadeff, 2011; Singh *et al.*, 2008).

Dentre os diferentes tipos de biossensores, os eletroquímicos que podem ser de três tipos: amperométrico, condutimétrico ou potenciométrico destacam-se principalmente devido a propriedades tais como: elevada seletividade, sensibilidade e baixo custo além de apresentarem uma variedade de produto de reações mensuráveis no processo catalíticos, que incluem prótons, elétrons, luz e calor (Chambers *et al.*, 2008; Davi *et al.*, 2011).

O mercado dos biossensores é categorizado como um mercado em ascensão, com um número crescente de aplicações à medida que cada novo biossensor é desenvolvido. Os percentuais de receita do mercado de biossensores para as áreas das indústrias de processo, meio ambiente, biodefesa, diagnóstico, laboratórios de pesquisas e *point of care* nos anos de 2006 a 2009, e as previsões até 2016, mostrando que as aplicações de biossensores em exames e *point of care* é o maior mercado e provavelmente dominarão no futuro, visto que, o desenvolvimento de novos tipos de biossensores para testes de diagnóstico devem contribuir para essas tendências (Gaspar, 2010).

Os metais nobre têm demonstrado interessante desempenho no desenvolvimento de novos biossensores e no aprimoramento das existentes técnicas biossensoriamento para atender a demanda de diagnósticos mais específicos e altamente sensíveis, sua incorporação pode efetivamente melhorar as propriedades elétricas, ópticas e dielétricas dos compósitos, a prata, por exemplo, demonstra excelente atividade catalítica, boa condutividade elétrica e térmica, sua aplicação em eletroanálises é muito favorável atuando como pré-concentradores de espécies de interesse e/ou mediando reações redox (Iravani *et al.*, 2014; Prabhu e Poulouse, 2012; Tran e Le, 2013).

Visto a ausência de trabalhos na literatura que retratem a obtenção de AgNPs através da eletrodeposição, observou-se assim uma porta para criação de uma rota de síntese, de tal forma que este trabalho propõe o desenvolvimento de uma metodologia

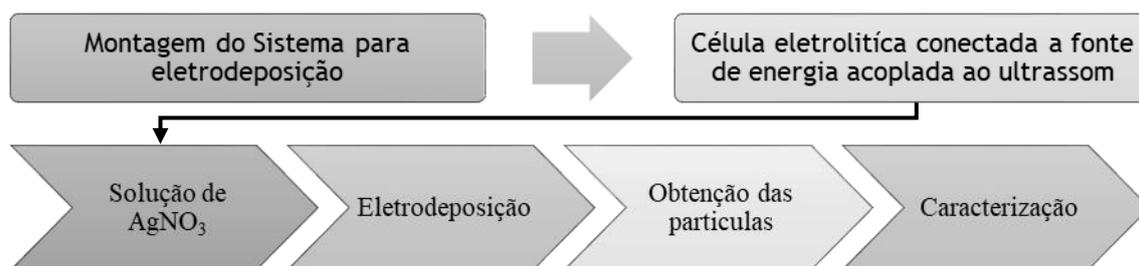
simples, rápida e sem uso de muitos reagentes (reduzindo a toxicidade das mesmas) por meio do uso da técnica de eletrodeposição e sua caracterização.

2 METODOLOGIA

A pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Avaliação e Desenvolvimento de Biomateriais do Nordeste (CERTBIO), localizado na Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais (UAEMA), na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

Os materiais utilizados no desenvolvimento do trabalho são: nitrato de prata (AgNO_3), MM = 169,87g/mol, marca: Neon; fitas de aço inoxidável 301 e água ultrapura. Para a obtenção das AgNPs de prata foram realizadas as seguintes etapas de acordo com o fluxograma da Figura 1.

Figura 1 - Fluxograma para obtenção das AgNPs.

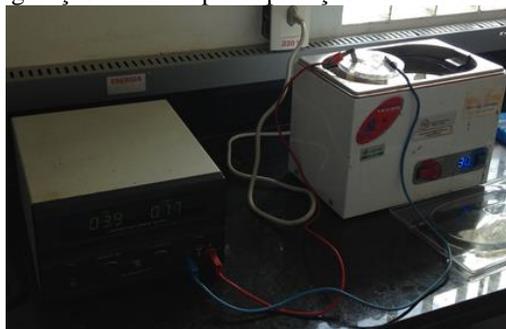


Antes do início da preparação das soluções, toda a vidraria utilizada foi lavada com água ultrapura com intuito de eliminar qualquer impureza presente no meio, impossibilitando a formação de algum sítio de nucleação que pudesse promover a agregação das nanopartículas em solução.

Duas soluções foram preparadas separadamente, sendo uma de 0,1mol/L e a outra de 0,2mol/L de nitrato de prata (AgNO_3) com água ultrapura. Após o preparo das soluções, iniciou-se a montagem do equipamento para o processo de eletrodeposição.

A Figura 2 ilustra a configuração utilizada para aplicação do método de eletrodeposição sob vibração ultrassônica. O sistema constituiu-se por uma fonte *power supply* variação de voltagem de 0-32 volts e amperagem de 0-5 amperes de energia, célula eletrolítica contendo a solução de nitrato de prata, fitas de aço inoxidável AISI como eletrodos para deposição das partículas para obtenção de nano partículas de prata e *ultracleaner*.

Figura 2 - Configuração utilizada para aplicação da técnica de eletrodeposição.



Utilizaram-se cinco combinações de corrente elétrica para duas concentrações distintas de solução, apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Combinações de Corrente Elétrica e Concentrações da Solução.

Corrente elétrica (A)	Concentração da solução (mol/L)	
	0,1	0,2
0,01	Teste 1	Teste 6
0,05	Teste 2	Teste 7
0,1	Teste 3	Teste 8
0,3	Teste 4	Teste 9
0,5	Teste 5	Teste 10

Partículas de prata começam a se formar no eletrodo conectado ao polo positivo da fonte de energia, se depositando na base da célula eletrolítica, após o período de uma hora de síntese a solução foi centrifugada, o líquido sobrenadante separado do precipitado e levado novamente para a eletrodeposição por um período de uma hora, até a formação de nanopartículas de prata que foram observadas por meio da coloração amarelada, uma propriedade óptica de tais partículas, onde possibilitou-se escolher a corrente aplicada e concentração.

A combinação escolhida para as caracterizações foi a do teste 10, corrente regulada a 0,5A e a concentração da solução nitrato de prata de 0,2 mol/L, nesta combinação foi possível visualizar a olho nu, uma maior intensidade na mudança da coloração da solução proveniente da formação das nanopartículas.

Sistemas coloidais contendo nanopartículas de prata permitem a observação de efeitos visuais, proveniente do fenômeno de ressonância dos plasmons de superfície, o qual sucede apenas em meios superficiais onde existem de elétrons livres de condução, como é o caso de nanopartículas de ouro e prata (Liz-Marzán, 2004).

2.1 CARACTERIZAÇÕES

Para a análise microestrutural, morfológica e química das amostras foram utilizadas as seguintes técnicas de caracterização: difração de raios X (DRX), microscopia eletrônica de varredura com espectrômetro de energia dispersiva (MEV/EDS), análise de espalhamento de luz (DLS) e Potencial Zeta.

2.1.1 Difração de raios X (DRX)

A fim de determinar a estrutura cristalinas, concentração de fases e tamanho de cristalitos, foi realizada a temperatura ambiente em um difratômetro de raios X fabricado pela *Shimadzu*, modelo *XRD-7000* utilizando radiação $K\alpha$ do cobre (1,5418 Å), tensão de 40kV e corrente 30mA.

2.1.2 Microscópio Eletrônico de Varredura com espectrômetro de energia dispersiva (MEV/EDS)

Foram realizadas micrografias eletrônicas com magnificações de 1000X e 5000X e EDS pontual das partículas precipitadas a fim de observar a morfologia superficial, a forma das partículas e elementos presentes, realizada em um microscópio eletrônico de varredura fabricado pela *Phenon*, modelo PRO, com magnificação entre 80 e 130000x, resolução <10nm, tensão de aceleração de 5KV e 10KV, com um espectrômetro de energia dispersiva acoplado.

2.1.3 Análise de Espalhamento de Luz (DLS) e Potencial Zeta

Para a medição do tamanho e estabilidade das partículas de prata presentes no líquido sobrenadante foi usada a análise de espalhamento de luz (DLS) em um aparelho modelo *ZetaPals* da *Brookhaven Instruments*, com uma solução contendo as AgNPs com um volume de aproximadamente 2mL.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

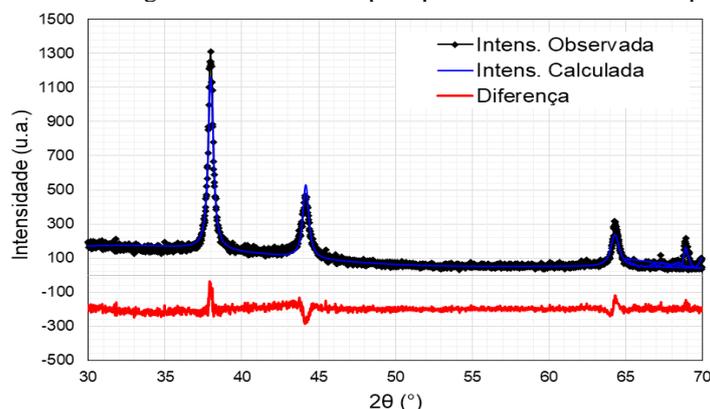
O procedimento descrito possibilitou a obtenção de uma solução coloidal de nanopartículas de prata, de coloração amarela bastante estável.

3.1 DIFRAÇÃO DE RAIOS X

O difratograma de raios X do precipitado obtido durante a eletrodeposição da solução de nitrato de prata está ilustrado na Figura 3. De acordo com o difratograma, pode-se

observar que o precipitado apresenta picos de difração em aproximadamente 38° , 44° , 63° e 68° que condiz com o perfil da prata, sendo identificado com a ficha *code* - 44387 do banco de dados *Inorganic Crystal Structure Database* – ICSD, e possui uma única fase cristalina.

Figura 3 – Difratoograma de raios X do precipitado obtido na eletrodeposição.

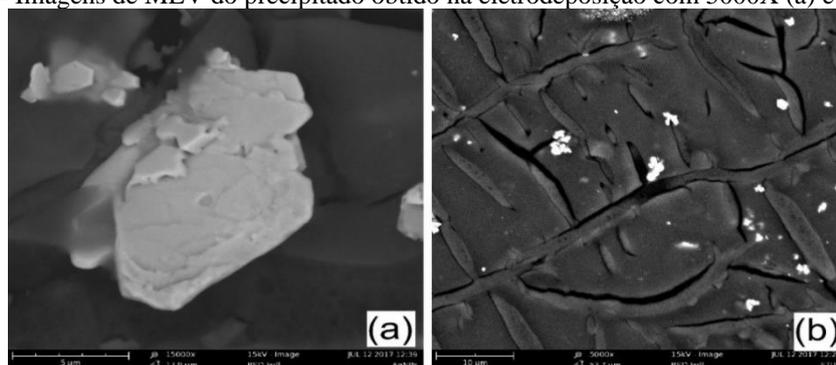


O resultado de difração de raios X comprova a eficácia da reação de eletrodeposição na formação de partículas de prata e que o mesmo não provoca formação de outras fases cristalinas, o que comprova também uma pureza das partículas obtidas.

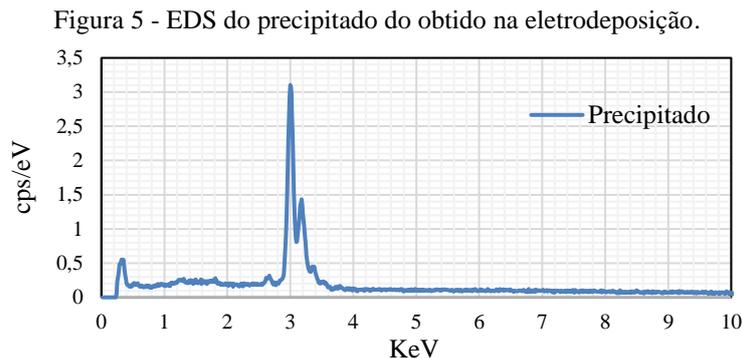
3.2 MICROSCÓPIO ELETRÔNICO DE VARREDURA COM ESPECTRÔMETRO DE ENERGIA DISPERSIVA

A imagem da Figura 4 ilustra o resultado da micrografia do precipitado obtido no processo de eletrodeposição, com magnificação de 1000X e 5000X, neste observa-se que as partículas embranquecidas possuem forma geométrica granulares, diversos trabalhos presentes na literatura a forma das partículas de prata são similares a estas, como verifica-se no trabalho de Melo *et al.*, 2012 que obteve partículas de prata.

Figura 4 - Imagens de MEV do precipitado obtido na eletrodeposição com 5000X (a) e 1000X (b).



Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.5** é observado a espectroscopia por dispersão de energia de raios X das partículas do precipitado obtido pela eletrodeposição, os raios X característicos emitidos pela matéria em resposta à incidência das partículas carregadas possibilitou a análise elementar verificando-se a presença do elemento metálico prata – Ag, confirmada a 3KeV, esse valor condiz com o estudo de Toledo (2020) e corrobora com os resultados de DRX e MEV obtidos.



3.2 ANÁLISE DE ESPALHAMENTO DE LUZ E POTENCIAL ZETA

No espalhamento dinâmico de luz (DLS), observa-se o padrão de flutuações da intensidade da luz espalhada, em um determinado ângulo, em um volume fixo iluminado, permitindo identificar o tamanho das partículas da solução e sua polidispersividade. A polidispersividade (PDI) é um parâmetro usado para avaliar o tamanho distribuição de NPs, este valor varia de 0 a 1 e, quanto menor, mais monodisperso e consequentemente, mais homogêneas serão as nanopartículas (Toledo 2020 et.,al).

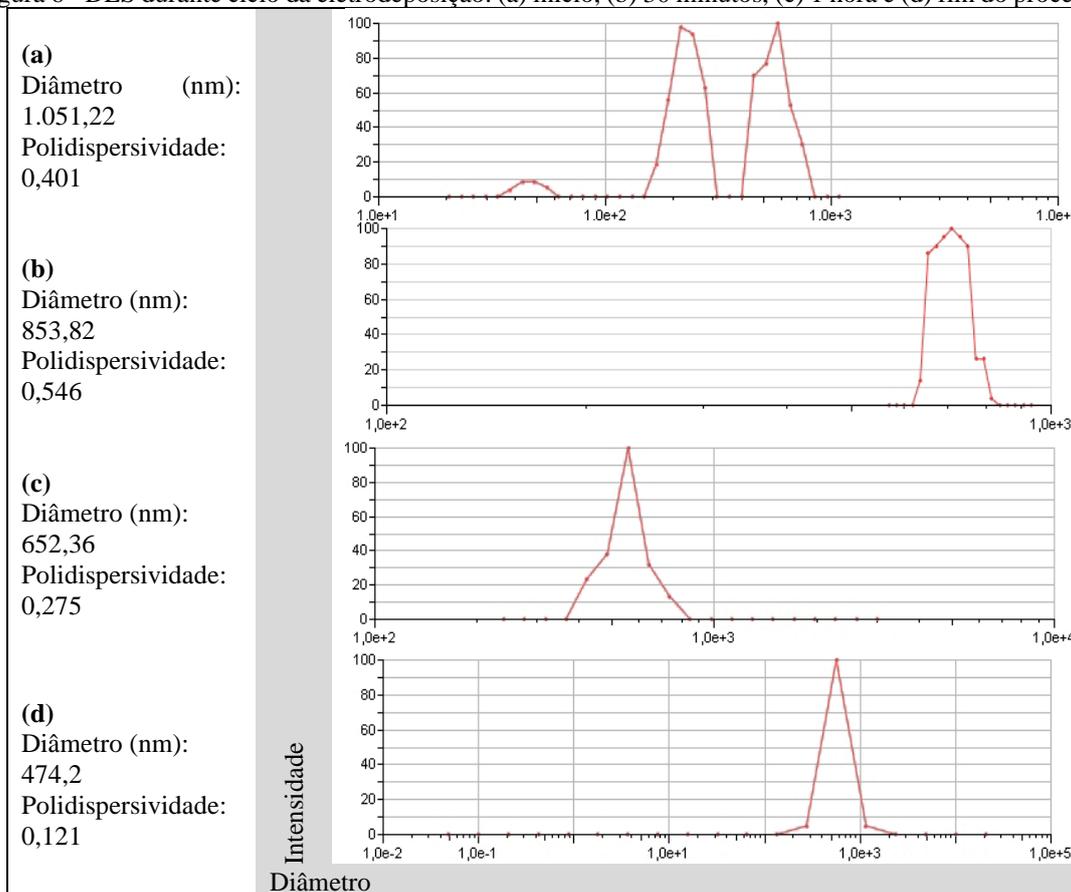
A Figura 6 apresenta a análise de DLS e PDI realizada durante o processo de formação das partículas no decorrer do processo de eletrodeposição do teste 10. Cada alíquota analisada foi retirada do sistema a partir do momento de mudança visual da cor da solução em intervalos de 30 minutos e realizado as análises de DLS, PDI e ZETA.

Ao longo das análises observou-se que as partículas se formaram inicialmente com diâmetro médio em torno de 0,1 μ m, Figura 6a. Com o aumento do tempo de eletrodeposição observou-se um aumento de depósito de prata no fundo do béquer, provocando uma diminuição do tamanho das partículas formadas do sobrenadante, chegando a 474nm, Figura 6d.

Observa-se também uma diminuição na sua polidispersividade, aumentando assim a sua distribuição na solução. Para Lopes (2017), um valor de PDI > 0,7 significa uma alta

distribuição de tamanho de partícula. De acordo com estas referências, todas as amostras analisadas estão dentro de um PDI que é a média para a distribuição de NPs.

Figura 6 - DLS durante ciclo da eletrodeposição. (a) início, (b) 30 minutos, (c) 1 hora e (d) fim do processo.

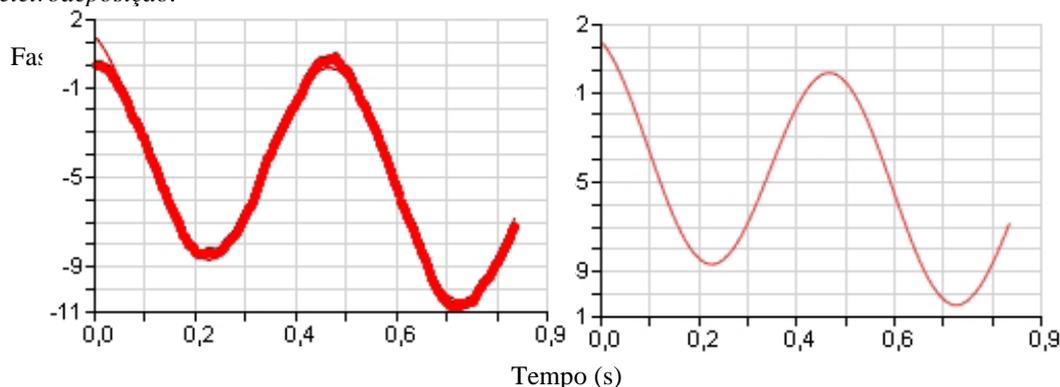


O potencial Zeta é uma medida da magnitude da repulsão ou da atração eletrostática, sendo um dos parâmetros fundamentais que medem a estabilidade das nanopartículas. A estabilidade do sistema provém do fato que as nanopartículas formadas permanecem em suspensão e não se agregam para a formação de partículas maiores e quando em contato com o solvente, adquirem cargas elétricas em sua superfície, gerando um potencial é denominado Potencial Zeta.

O Zeta se correlaciona com a repulsão eletrostática entre as partículas e com a estabilidade de sistemas coloidais e, quanto maior o valor do Zeta, mais estável será o colóide, ou seja, a velocidade de formação dos agregados aumenta à medida que o Zeta se aproxima de zero. Quando o valor do Potencial Zeta for menor que -30mV ou maior que +30mV, a partícula será estável (Lopes, 2016).

A Figura 7 ilustra a curva obtida do líquido sobrenadante proveniente da solução utilizada no procedimento de eletrodeposição.

Figura 7 - Potencial Zeta do líquido sobrenadante proveniente da solução utilizada no procedimento de eletrodeposição.



Por meio do ensaio de Potencial Zeta foi possível a comprovação da estabilidade das partículas obtidas no processo, tendo em vista o valor igual a $-39,75\text{mV}$, corroborando com os trabalhos de (Lopes, 2016; Toledo *et al.*, 2020).

4 CONCLUSÃO

A formação de soluções coloidais de prata por meio da técnica de eletrodeposição proposto neste trabalho mostrou-se eficaz e promissor para o desenvolvimento de biossensores, uma vez que de acordo com os resultados fica evidente a formação das nanopartículas de prata com dimensões nanométricas de boa estabilidade, baixa polidispersividade e com alto grau de pureza, através de uma técnica simples e de baixo custo e sem a necessidade de uso de reagentes para controle da reação.

REFERÊNCIAS

- ALHADEFF, E. M. **Síntese e Caracterização de Polianilina para Construção de Biossensor Eletroquímico**. 11º Congresso Brasileiro de Polímeros. **Anais...Campos do Jordão - SP: 2011**
- ARAÚJO, A. X. **Nucleação e Evolução da Rugosidade em Filmes Eletrodepositados de CuCo**. [s.l.] Univesidade Federal de Santa Catarina, 2005.
- CALIL, S. S.; ROBERTO, P. Biossensores : estrutura , funcionamento e aplicabilidade. **6ª Mostra de Produção Científica da Pós-Graduação Lato Sensu da PUC Goiás**, p. 1–20, 2011.
- CHAMBERS, J. P.; ARULANANDAM, B. P.; MATTA, L. L.; WEIS, A.; VALDES, J. J. Biosensor recognition elements. **Current Issues in Molecular Biology**, v. 10, n. 1, p. 1–12, 2008.
- CHEN, X.; SCHLUESENER, H. J. Nanosilver: a nanoproduct in medical application. **Toxicology letters**, v. 176, n. 1, p. 1–12, 2008.
- DAVI, C. C. M.; MAX, E.; HENRIQUE, P.; OLIVEIRA, E. DE. **Desenvolvimento de Biossensor Eletroquímico de Baixo Custo**XXXIX Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia. **Anais...Blumenau - SC: 2011**
- FABREGA, J.; LUOMA, S. N.; TYLER, C. R.; GALLOWAY, T. S.; LEAD, J. R. Silver nanoparticles: behaviour and effects in the aquatic environment. **Environment international**, v. 37, n. 2, p. 517–531, 2011.
- FERNANDES, I. J.; AROCHE, A. F.; MORAES, C. A. M.; PETER, C. R.; HASENKAMP, W. **Síntese de Nanopartículas de Prata para Produção de Tintas Condutoras: Uma Revisão**. 22º CBECiMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. **Anais...Natal: 2016**
- FLOATE, S.; HYDE, M.; COMPTON, R. G. Electrochemical and AFM studies of the electrodeposition of cobalt on glassy carbon: an analysis of the effect of ultrasound. **Journal of Electroanalytical Chemistry**, v. 523, n. 1–2, p. 49–63, abr. 2002.
- FREIRE, P. L. L.; ALBUQUERQUE, A. J. R.; SAMPAIO, F. C.; GALEMBECK, A.; FLORES, M. A. P.; STAMFORD, T. C. M.; ROSENBLATT, A. AgNPs: The New Allies Against S. Mutans Biofilm - A Pilot Clinical Trial and Microbiological Assay. **Brazilian Dental Journal**, v. 28, n. 4, p. 417–422, ago. 2017.
- FURTADO, R. F.; DUTRA, R. O. A. F.; ALVES, C. R.; PIMENTA, M. G. R.; GUEDES, M. I. F. Aplicações de biossensores na análise da qualidade de alimentos. *In*: TROPICAL, E. A. (Ed.). **Embrapa**. Fortaleza - CE: [s.n.]. p. 22.
- GASPAR, C. **Mercado dos Biossensores**. Disponível em: <<https://sites.google.com/site/biossensoresfl/detector-cancro/mercado-dos-biossensores>>. Acesso em: 30 jul. 2015.

GOUGET, B. **Nanomatériaux et risques humains au poste de travail**. [s.l.] Ed. Techniques Ingénieur, 2007.

HYDE, M. E.; COMPTON, R. G. How ultrasound influences the electrodeposition of metals. **Journal of Electroanalytical Chemistry**, v. 531, n. 1, p. 19–24, ago. 2002.

IRAVANI, S.; KORBKANDI, H.; MIRMOHAMMADI, S. V.; ZOLFAGHARI, B. Synthesis of silver nanoparticles: chemical, physical and biological methods. **Research in pharmaceutical sciences**, v. 9, n. 6, p. 385, 2014.

LISBOA, A.; BARIN, C. S. Eletrodeposição de Ligas Metálicas Nobres para Fabricação de Jóias e Jóias Folheadas. **Artigo Original**, v. 8, n. 1, p. 27–33, 2009.

LIZ-MARZÁN, L. M. Nanometals. **Materials Today**, v. 7, n. 2, p. 26–31, fev. 2004.

LOPES, J. R. **Síntese de nanopartículas de prata (npsag) em soluções aquosas de fibroína de seda e gelatina**. [s.l.] [sn], 2016.

MASOOMI, M. Y.; MORSALI, A. Morphological study and potential applications of nano metal–organic coordination polymers. **RSC advances**, v. 3, n. 42, p. 19191–19218, 2013.

MELO JR, M. A.; SANTOS, L. S. S.; GONÇALVES, M. DO C.; NOGUEIRA, A. F. Preparação de nanopartículas de prata e ouro: um método simples para a introdução da nanociência em laboratório de ensino. **Química nova**, v. 35, n. 9, p. 1872–1878, 2012.

MELO, M. A.; SANTOS, L. S. S.; CARMO GONÇALVES, M. DO; NOGUEIRA, A. F. Preparação de nanopartículas de prata e ouro: Um método simples para a introdução da nanociência em laboratório de ensino. **Química Nova**, v. 35, n. 9, p. 1872–1878, 2012.

MOREIRA, C. S.; LIMA, A.; NEFF, H.; NETO, A.; LOUREIRO, L.; FILHO, C. A. D. S.; JUNIOR, L. H. C. L. **Biossensores: Tecnologia e Aplicações** V Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação [online]. **Anais...**2010

MULFINGER, L.; SOLOMON, S. D.; BAHADORY, M.; JEYARAJASINGAM, A. V.; RUTKOWSKY, S. A.; BORITZ, C. Synthesis and study of silver nanoparticles. **Journal of chemical education**, v. 84, n. 2, p. 322, 2007.

NEVERS, A.; HALLEZ, L.; TOUYERAS, F.; HIHN, J.-Y. Effect of ultrasound on silver electrodeposition: Crystalline structure modification. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 40, p. 60–71, jan. 2018.

PRABHU, S.; POULOSE, E. K. Silver nanoparticles: mechanism of antimicrobial action, synthesis, medical applications, and toxicity effects. **International nano letters**, v. 2, n. 1, p. 1–10, 2012.

PRASAD, P. B. S. N. V.; VASUDEVAN, R.; SESHADRI, S. K.; AHILA, S. The effect of ultrasonic vibration on nickel electrodeposition. **Materials Letters**, v. 17, n. 6, p. 357–359, out. 1993.

RAUWEL, P.; RAUWEL, E.; FERDOV, S.; SINGH, M. P. Silver nanoparticles: synthesis, properties, and applications. **Advances in Materials Science and Engineering**, v. 2015, 2015.

SCARPELLI, B. B.; PUNHAGUI, M. F.; HOEPPNER, M. G.; ALMEIDA, R. S. C. DE; JULIANI, F. A.; GUIRALDO, R. D.; BERGER, S. B. In Vitro Evaluation of the Remineralizing Potential and Antimicrobial Activity of a Cariostatic Agent with Silver Nanoparticles. **Brazilian Dental Journal**, v. 28, n. 6, p. 738–743, dez. 2017.

SILVA, M. M. P.; AGUIAR, M. I. F. DE; RODRIGUES, A. B.; MIRANDA, M. D. C.; ARAÚJO, M. Â. M.; ROLIM, I. L. T. P.; SOUZA, A. M. A. E. Utilização de nanopartículas no tratamento de feridas: revisão sistemática. **Revista da Escola de Enfermagem da USP**, v. 51, p. 1–10, 8 jan. 2018.

SINGH, M.; VERMA, N.; GARG, A. K.; REDHU, N. Urea biosensors. **Sensors and Actuators, B: Chemical**, v. 134, n. 1, p. 345–351, 2008.

STENGER, V. **Rugosidade Superficial de Camadas Eletrodepositadas de Óxido de Cobre**. [s.l.] Universidade Federal de Santa Catarina, 2008.

TOLEDO, A. C. O.; ASSUNÇÃO, D. P. DA S. F. DE; BOSCARDIN, P. M. D.; PAULA, J. DE F. P. DE. Biosynthesis and Characterization of Silver Nanoparticles Produced With Aqueous Extract of *Pterodon Emarginatus* Vogel - Fabaceae Seeds Associated With Gentamicin Sulfate and Hyaluronic Acid With Potential Antimicrobial Activity / Biossíntese E Caracterização De Nanopartículas De Prata Produzidas Com Extrato Aquoso De Sementes De *Pterodon Emarginatus* Vogel - Fabaceae Associadas Ao Sulfato De Gentamicina E Ao Ácido Hialurônico Com Potencial Atividade Antimicrobiana. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 12, p. 100655–100677, 2020.

TRAN, Q. H.; LE, A.-T. Silver nanoparticles: synthesis, properties, toxicology, applications and perspectives. **Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology**, v. 4, n. 3, p. 33001, 2013.

USKOKOVIĆ, V. Nanotechnologies: What we do not know. **Technology in society**, v. 29, n. 1, p. 43–61, 2007.

ZHANG, D.; TANG, Y.; JIANG, F.; HAN, Z.; CHEN, J. Electrodeposition of silver nanoparticle arrays on transparent conductive oxides. **Applied Surface Science**, v. 369, p. 178–182, abr. 2016.

ZHENG, H.-Y.; AN, M.-Z. Electrodeposition of Zn–Ni–Al₂O₃ nanocomposite coatings under ultrasound conditions. **Journal of Alloys and Compounds**, v. 459, n. 1–2, p. 548–552, jul. 2008.