



SÍNTESE DE NANOPARTÍCULAS DE PRATA UTILIZANDO PLASMA E DIFERENTES AGENTES ESTABILIZADORES.

Lucas Paulo Ribeiro de Oliveira¹, Clodomiro Alves Junior².

¹ Graduando do curso Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró – Rio Grande do Norte. E-mail: LucasPaulo0301@hotmail.com

² Professor colaborador da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró – Rio Grande do Norte. E-mail: Clodomiro.jr@hotmail.com

Resumo: Devido às vastas possibilidades de aplicações de nanomateriais, esse ramo da ciência vem crescendo consideravelmente. Juntamente com seu crescimento as pesquisas têm se atentado para sínteses ecológicas, as quais não trazem danos à natureza. O presente trabalho utiliza uma rota de síntese alternativa por meio do plasma como agente redutor, para produção de nanopartículas de prata. Utilizando quitosana e citrato de sódio como agentes estabilizadores numa solução contendo nitrato de prata. Diferentes parâmetros do processo foram investigados no sentido de obter quais condições e agentes estabilizadores possibilitam maior eficácia de produção e controle do tamanho de partículas. Por meio dos tratamentos houve a formação dos coloides, para o tratamento de plasma a 4000 Hz por 15 minutos usando citrato de sódio, e a partir do tratamento a 2300 Hz por 10 minutos utilizando quitosana. O tratamento de plasma no eletrólito com quitosana sintetizou em maior número de condições em relação ao citrato de sódio, porém com o uso do citrato de sódio a síntese ocorreu imediatamente após o tratamento, enquanto que com a quitosana os indicadores da síntese só apareceram após alguns dias. A partir de uma análise de correlação dos dados obtidos, foi possível observar que o aumento no tempo de tratamento, afeta diretamente a intensidade máxima de absorção e o comprimento de onda no centro do pico característico das nanopartículas, que estão relacionados com a concentração e tamanho dos coloides.

Palavras-chave: Plasma. Nanomateriais. Nanopartículas.

1. INTRODUÇÃO

Aplicado à síntese de nanomateriais, a interação plasma-líquido possibilita a formação de uma interface capaz de propiciar diversos processos físicos e químicos, incluindo a criação de reagentes redutores, bem como reações de oxirredução [1]. Na síntese de nanopartículas de prata, por exemplo, o processo pode ser controlado pela atmosfera de gás, polaridade, vazão do gás e frequência de tratamento. Esses parâmetros possibilitam maior controle sobre o tamanho da partícula, taxa de formação e concentração. A formação das nanopartículas está intimamente relacionada com os compostos formados durante o tratamento, sendo que esses compostos afetam diretamente a síntese [1, 2].

É comum o uso de citrato de sódio para a síntese dos coloides. Mas o presente trabalho tem feito também uso da quitosana na síntese de nanopartículas de prata com o intuito de obter uma síntese ecológica, potencializar uma das principais aplicações das nanopartículas de prata que é sua ação bactericida, não trazer danos ao meio ambiente e obter maior domínio sobre as características dos coloides. As nanopartículas estabilizadas com a quitosana possuem um duplo mecanismo de ação contra as bactérias, assim como um aumento em seus efeitos e maior durabilidade da ação [3, 4].

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. Referencial Teórico

2.1.1 Nanomateriais

Um fascinante campo de pesquisa em ciência e engenharia de materiais vem surgindo. Nele novos tipos de materiais denominados de materiais avançados têm se mostrado de grande valia para indústria e bem

estar de todos. Esses materiais avançados são usados em aplicações de alta tecnologia, ou seja, operam ou funcionam usando princípios relativamente intrincados e avançados. Eles são materiais tradicionais tendo suas propriedades potencializadas e também materiais recentes de altíssimo desempenho, podendo ser de qualquer tipo de material como metais e polímeros [5].

Dentre os materiais avançados encontra-se uma classe denominada de materiais do futuro os quais podem ser inteligentes ou obras de nanoengenharia. Os materiais que são fruto da nanoengenharia possuem propriedades fascinantes e são uma promessa tecnológica. Eles são classificados de acordo com seu tamanho, estando compreendidos na faixa de até 100 nanômetros. O surgimento dessa classe permitiu a ciência um processo de compreensão físico-química mais simples graças também ao advento de microscópios potentes, tornando possível construir e projetar novas estruturas partindo dos átomos. O que possibilita o desenvolvimento de propriedades que não seriam possíveis de outra maneira, algumas dessas propriedades dependem das características das nanopartículas. Devido a essa vastidão de possibilidades tem se achado aplicações em eletrônica, biomedicina, esportes, produção de energia e outras aplicações industriais [3, 6, 5, 7].

2.1.2 Nanopartículas de prata

Dentre os nanomateriais mais estudados encontram-se as nanopartículas de metais nobres devido à sua simples detecção, facilidade no preparo, facilidade em modificações químicas e suas propriedades ópticas e eletrônicas peculiares [1, 8].

Dentro do campo das nanopartículas de metais nobres, a prata possui grande destaque devido as suas propriedades antissépticas, uma elevada atividade fotoelétrica, catalítica, condutividade elétrica e poder de redução. O que propicia diversas aplicações industriais, como em engenharia agrícola, indústria têxtil, odontologia, curativos, cateteres, implantes cardiovasculares, filtros de água, sistema de sanitização, preservação de alimentos, redução e remoção de corantes. [3, 6, 9, 10].

A gama das suas aplicações se expande para as mais diversas áreas do conhecimento, porém possui um enfoque maior na área da saúde, devido a sua forte atividade antimicrobiana, antifúngica e antiviral como expressa o gráfico 1.

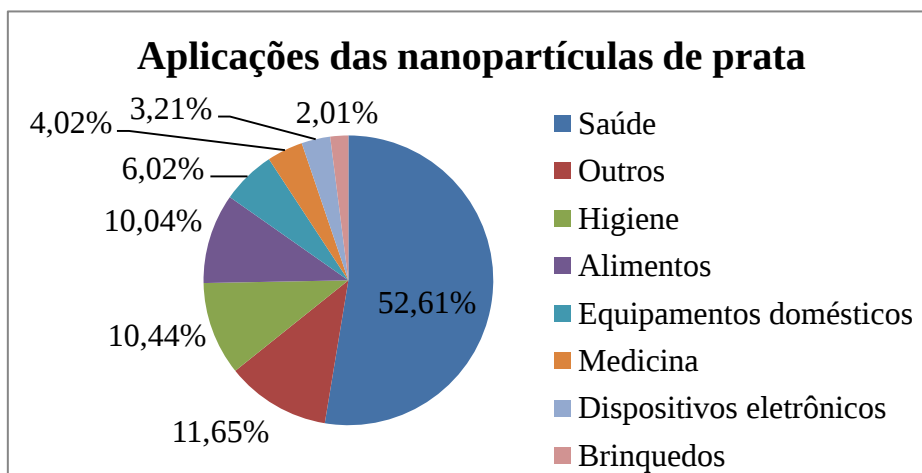


Gráfico 1. Principais aplicações das nanopartículas de prata. (Adaptada de [10])

Devido à tamanha gama de aplicações, esforços têm sido feitos para o desenvolvimento de métodos eficientes para sua produção. Atualmente existem duas abordagens para sua produção, as quais são “bottom-up” e “top-down”. Dentre as abordagens a mais utilizada é a bottom-up, pois apresenta maior reprodutibilidade, menor quantidade de imperfeições, demanda menos espaço físico e maior homogeneidade de partículas. Essa metodologia possui diversas vias de síntese, como a síntese biológica que não necessita da adição de reagentes e tem baixo gasto energético e não traz prejuízos ao meio ambiente. Contudo necessita de longo período de tempo, controle de luminosidade e temperatura para produção dos microrganismos, possui baixa variedade de tamanhos e formas em comparação com o método convencional [6, 7]. Há também a redução química a qual é a mais usada, devido à sua simplicidade, reprodutividade, baixo custo e rendimento. Porém ela geralmente usa reagentes tóxicos ao meio ambiente. Mediante a isso cada vez mais os pesquisadores têm orientado seus trabalhos para uma síntese química, sem o uso de reagentes danosos. [7]

Um novo mecanismo de síntese alternativo e promissor utiliza o plasma, e com a crescente demanda em larga escala de nanomateriais e a abundância de fontes de plasma o interesse nesse ramo vem crescendo, uma vez que a síntese é simples, ecológica e fornece mais parâmetros de controle que uma redução química convencional [1, 2]. Todavia, ainda que diversos trabalhos venham sendo publicados devido à abrangência, complexidade e grande possibilidade de variações de parâmetros, muitos segredos dessa síntese ainda necessitam ser descobertos. Como o efeito da variação de parâmetros oriundos do plasma sobre a formação e características dos

nanomateriais. É de suma importância a compreensão do efeito da variação desses parâmetros, pois a grande razão para tanto interesse nesses materiais são as suas propriedades que diferem das partículas massivas, tendo efeitos maiores com menor quantidade de matéria. [1, 6, 7, 8, 11]

2.1.3 Plasma

O plasma é o quarto estado da matéria, resultante da colisão de elétrons em gases neutros, contendo íons, elétrons, partículas neutras, metaestáveis, moléculas e átomos podendo esses estar também excitados, radicais reativos e luz ultravioleta (UV) [1]. Geralmente ele é eletricamente neutro, porém havendo qualquer desbalanceamento de cargas, dará origem a campos elétricos que tenderão a restabelecer o equilíbrio [12].

Devido a essas características ele é extremamente reativo e possui um grande leque de aplicações em diversas áreas do conhecimento, chegando a ser vital e/ou crítico em diversos ramos da indústria como na indústria eletrônica para produção de circuitos integrados, bem como nas indústrias aeroespacial, automotiva, siderúrgica, biomédica e de gerenciamento de resíduos tóxicos [13]. Além desse papel de destaque industrial, ele atua fortemente no tratamento de materiais e superfícies, chegando a produzir materiais únicos, extremamente raros e com propriedades desejáveis como filmes de diamantes, silício amorfo e nanomateriais de diversos materiais desde nanofolhas de grafeno a nanopartículas de metais [1, 2, 13]. Outra característica que corrobora para sua atratividade é seu caráter ecológico, pois dispensa, em diversos, casos o uso de reagentes químicos tóxicos que aplicado à produção de nanomateriais é deveras importante, pois, em geral, o uso de reagentes tóxicos é bem comum, o que tem demandado grande esforço dos pesquisadores para o desenvolvimento de metodologias que não façam uso deles. [6, 7, 11].

2.2. Materiais e métodos

A síntese usada neste trabalho foi realizada com auxílio de uma descarga luminescente (glow discharge), produzida sobre superfície de eletrólitos contendo nitrato de prata e dois agentes estabilizadores diferentes, um amplamente utilizado, citrato de sódio e outro que vem ganhando cada vez mais destaque, quitosana devido as suas propriedades e abundância [3, 4].

O eletrólito a base de quitosana foi produzido a partir de uma solução de quitosana a uma concentração de 6,92 g/L, em ácido acético diluído a 1%, e uma solução contendo nitrato de prata em ácido acético com concentração de 52 mM. Para o preparo do eletrólito foi dissolvido uma alíquota de 2 mL da solução de nitrato de prata em 10 mL da solução conforme (Tabelas 1).

O eletrólito a base de citrato de sódio foi preparado a partir de solução de citrato de sódio em água deionizada a uma concentração de 6,92 g/L, e uma solução contendo nitrato de prata em água deionizada a uma concentração de 52 mM. Para o preparo do eletrólito foi misturado uma alíquota de 2 mL da solução de nitrato de prata em 10 mL da solução contendo citrato de sódio conforme (Tabela 2). Para ambos os eletrólitos foram usadas às mesmas concentrações, baseado em uma síntese comum de nanopartículas utilizando quitosana [3].

Para o tratamento por plasma, foi utilizado volume de 4 mL para ambos eletrólitos. Uma descarga elétrica foi produzida, quando uma diferença de potencial de 7 kV foi aplicada entre um fio condutor e a superfície da solução conforme (Fig. 1). No interior do sistema fechado (Fig. 1) foi introduzido gás hélio numa vazão de 1 L/min. Os pulsos de tensão eram repetidos em frequências de 600 Hz, 2300 Hz e 4000 Hz. Para cada frequência, foram utilizados tempos de tratamento de 5min, 10min e 15min conforme (Tabela 3). Durante o tratamento, a distância eletrodo-eletrólito foi mantida em 4 mm. As configurações de plasma e tempos de tratamentos foram baseadas em síntese já utilizada pelo labplasma para produção de nanopartículas de prata [2].

O aparato usado para o tratamento consiste em um Becker de 10 mL com uma tampa adaptada para permitir a entrada e saída do gás, ele foi aterrado e possui também um eletrodo para a ionização do gás e assim formação do plasma, conforme a figura 1.

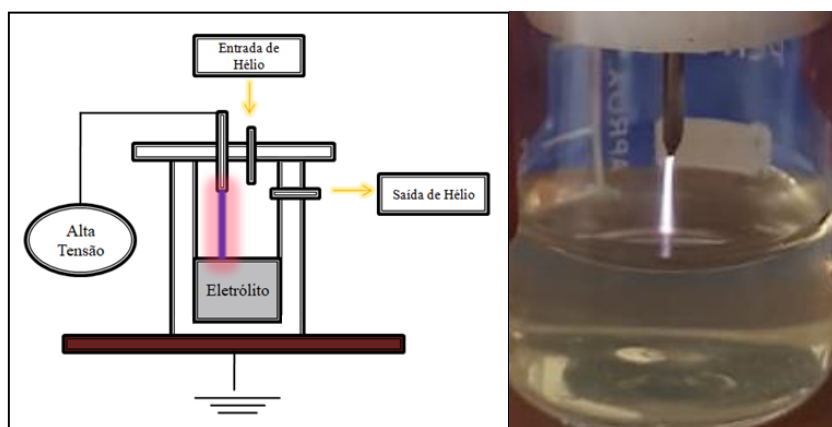


Figura 1. A esquerda aparato de tratamento a plasma, e a direita solução sendo tratada. (Autoria própria).

Para garantir a confiabilidade da pesquisa todos os materiais usados foram lavados, condicionados e os reagentes eram de caráter analítico.

Em resumo:

Tabela 1. Parâmetros do eletrólito com citrato de sódio. (Autoria própria)

Reagente	AgNO ₃	Citrato de Sódio
Volume usado (mL)	2	10
Concentração (mM)	52	6,92

Tabela 2. Parâmetros do eletrólito com quitosana. (Autoria própria)

Reagente	AgNO ₃	Quitosana
Volume usado (mL)	2	10
Concentração (mM)	52	6,92

Tabela 3. Parâmetros de tratamento a plasma, mantendo a tensão constante em 7 kV. (Autoria própria)

Frequência (Hz)	600			2300			4000		
Tempo de tratamento (min)	5	10	15	5	10	15	5	10	15

Após tratamento das amostras por plasma análises de absorbância no Espectrofotômetro UV/VIS, nas faixas de 200 nm – 900 nm foram realizadas. Uma análise de correlação entre o tempo de tratamento a 4000 Hz, na solução contendo quitosana, e a intensidade da banda característica das nanopartículas, bem como o comprimento de onda dela. A análise foi feita apenas nessa condição, pois foi a única que apresentou a quantidade de amostras mínimas exigidas pelo software utilizado past 3.

2.3. Resultados e Discussões

Esta seção será dividida de acordo com o agente estabilizador utilizado, e as condições de tratamento. Nela apresentaremos os resultados, que foram obtidos por meio de experimentos e a partir de embasamento bibliográfico.

2.3.1 Solução usando citrato de sódio como agente estabilizador

As soluções contendo citrato de sódio tratadas, só apresentaram formação de nanopartículas de prata ao serem tratadas a uma frequência de 4000 Hz e com tempo de tratamento de 15 minutos. Como dito no referencial as nanopartículas de metais nobres são de simples detecção devido à presença de uma banda de absorção característica, mediante as modificações nas propriedades ópticas ao atingir a escala manométrica. É bastante relatado na literatura que esses colóides de metais nobres apresentam um fenômeno chamado de ressonância de plasmon de superfície. Neste fenômeno a luz incidente cria oscilações nos elétrons de condução na superfície das nanopartículas, que por sua vez absorvem a radiação eletromagnética. O que dá às nanopartículas de prata uma coloração amarelada e uma banda de absorção de comprimento de onda específica que varia de 380 nm a 435 nm, de acordo com tamanho da nanopartícula. [8, 14, 15, 16] Logo a formação é perceptível pela presença da banda de absorção característica das nanopartículas de prata e pela mudança de coloração. Como podemos ver no gráfico 2.

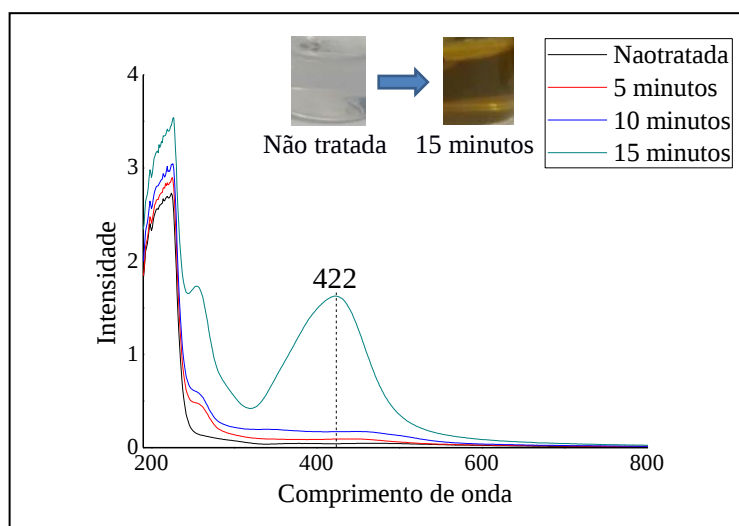


Gráfico 2. Absorbância do eletrólito com citrato tratado a 4000 Hz por 15 min e aspecto visual da solução. (Autoria própria)

Antes do tratamento a solução era incolor, e não apresentava picos característicos das nanopartículas. Porém, após o tratamento a plasma por 15min, é nítida a presença da banda de absorbância e coloração características. Com pico centrado por volta de 422 nm, segundo a literatura o formato do gráfico na região característica das nanopartículas de prata com apenas uma banda sugere nanopartículas de formato esférico, e a coloração límpida de amarelo claro sugere que não houve aglomeração dos coloides [14]. E em contraste com resultados obtidos anteriormente pelo labplasma [2], utilizando as mesmas configurações que este trabalho, com exceção da frequência, 580 Hz, e concentrações do precursor do metal 2 mM. Este trabalho obteve intensidade de absorção maior. Enquanto que a intensidade de absorção obtida anteriormente pelo labplasma foi de 0,5; e a intensidade no presente trabalho 1,627. O que indica que a concentração de nanopartículas obtidas neste trabalho foi superior [14], uma vez que ambos os trabalhos obtiveram-se nanopartículas esféricas, com comprimentos de onda de absorção próximos (diferença de 2 nm), indicando que os tamanhos das partículas estão próximos. Esta diferença de intensidades de absorção confirma o que é dito pela literatura que com o aumento da frequência e da concentração inicial de nitrato de prata há também um aumento na concentração de nanopartículas formadas [1, 2].

2.3.2 Solução usando quitosana como agente estabilizador

As soluções tratadas com quitosana inicialmente não apresentaram nenhuma formação de nanopartículas após o tratamento a plasma, ainda que fosse variado o tempo e a frequência de tratamento, como podemos ver no (gráfico 3):

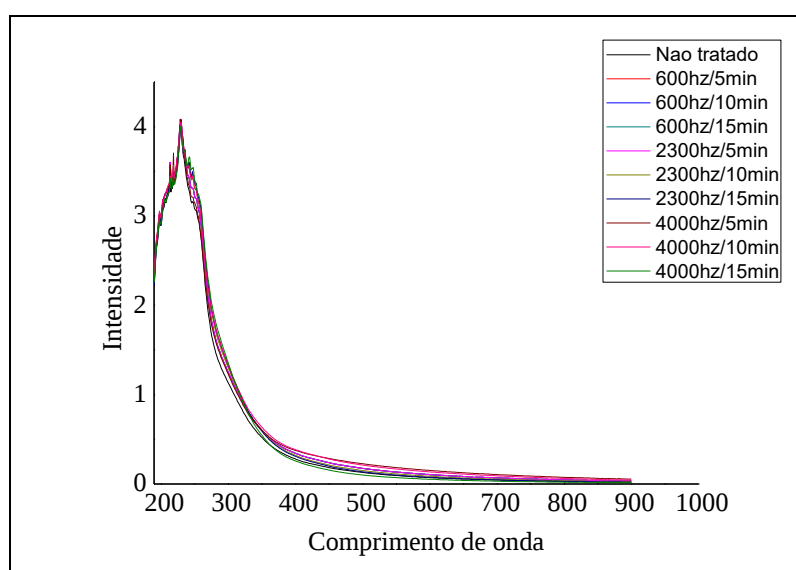


Gráfico 3. Absorbância do eletrólito com quitosana tratado, logo após seu tratamento em todas as condições. (Autoria própria)

Como podemos ver no gráfico 3, praticamente não há mudanças perceptíveis, e nem formação de nanopartículas de prata. Contudo após o tratamento as soluções tratadas foram armazenadas e após onze dias de seu tratamento estavam exibindo uma diferença nas tonalidades, sendo que a intensidade da cor aumenta de acordo com o aumento do tempo e da frequência de tratamento. A coloração que a maior parte das amostras apresentaram era amarela, característica da presença de nanopartículas de prata [14, 15].

Essa lacuna temporal entre o dia de tratamento e a presença dos indicadores da formação das nanopartículas, pode estar relacionada há presença de uma camada grossa de quitosana encapsulando as nanopartículas e impedindo que a radiação emitida pelas nanopartículas ultrapasse essa camada. Porém com o passar do tempo havendo a degradação da quitosana a radiação vai ultrapassando cada vez mais a camada até seu limite que ocorre por volta da quarta semana (28 dias).

Contudo as soluções tratadas a 600 Hz em nenhum dos tempos de tratamento apresentaram a coloração amarelada, assim como a solução tratada a 2300 Hz por 5 minutos. Porém elas apresentaram coloração acinzentada, o que pode significar que houve agregação das nanopartículas [15]. Podemos perceber no (gráfico 4) a coloração acinzentada e a falta de um pico característico.

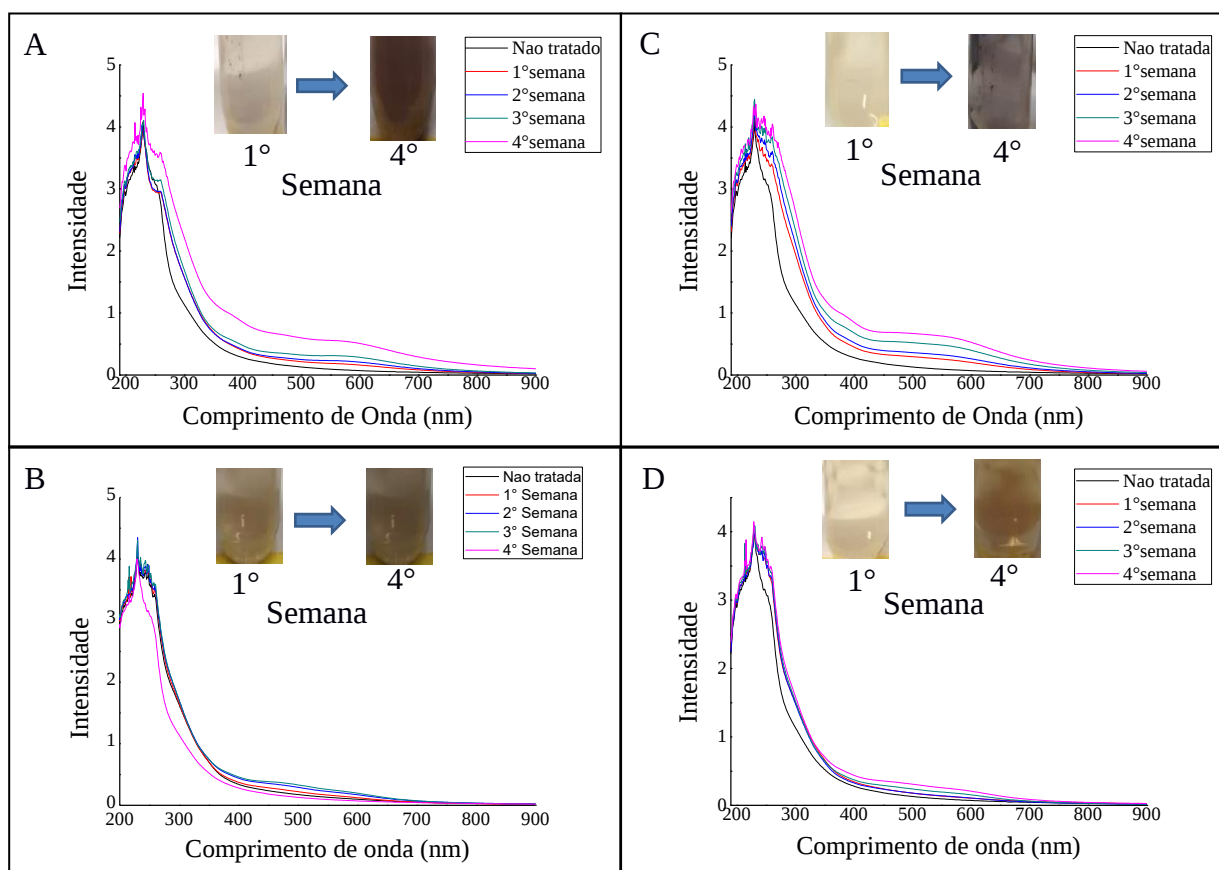


Gráfico 4. Absorbância do eletrólito a base de quitosana em quatro condições, sem a formação de nanopartículas de prata. (A) solução tratada por 5 minutos a 600 Hz; (B) solução tratada por 10 minutos a 600 Hz; (C) solução tratada por 15 minutos a 600 Hz e (D) solução tratada por 5 minutos a 2300 Hz. Em cada item possui a evolução do aspecto visual da solução (Autoria própria)

Já as soluções contendo quitosana tratadas a 2300 Hz por 10 min e 15 min, respectivamente (A e B), apresentam banda característica de nanopartículas, bem como a coloração (Gráfico 5). Como pode ser observado, há picos na faixa entre 400 nm e 500 nm que aumentam de intensidade com o tempo de envelhecimento da solução tratada, indicando aumento na concentração. O segundo pico segundo a literatura indica a formação de nanopartículas não esféricas, ou a formação de nanopartículas com mais de um comprimento [8, 14, 15].

Por meio do comprimento de onda do pico da banda de absorção característica, se pode estimar o tamanho médio da nanopartícula [14, 15], uma vez que ele está intimamente relacionado com o tamanho médio da nanopartícula [16]. Picos entre 380 nm e 390 nm são oriundos de nanopartículas com tamanho médio entre 5 nm e 10 nm. Diante disso pode-se afirmar que a solução tratada por 10 min resultou em tamanho médio de 10 nm, enquanto que a solução tratada por 15 minutos possui um pico centrado em 384 nm, logo seu tamanho médio fica em torno dos 6 nm (Tabela 4).

Para os tratamentos por 10 min e 15 min, as intensidades máximas de absorção obtidas foram de 1,222 e 1,118, conforme (Tabela. 4). O tratamento por 15 minutos obteve uma intensidade menor, devido ao tamanho médio das partículas, pois a intensidade do pico está também relacionada ao tamanho da partícula, e as nanopartículas formadas durante o tratamento de 10 minutos obtiveram um tamanho médio maior que as tratadas por 15 minutos [14, 16].

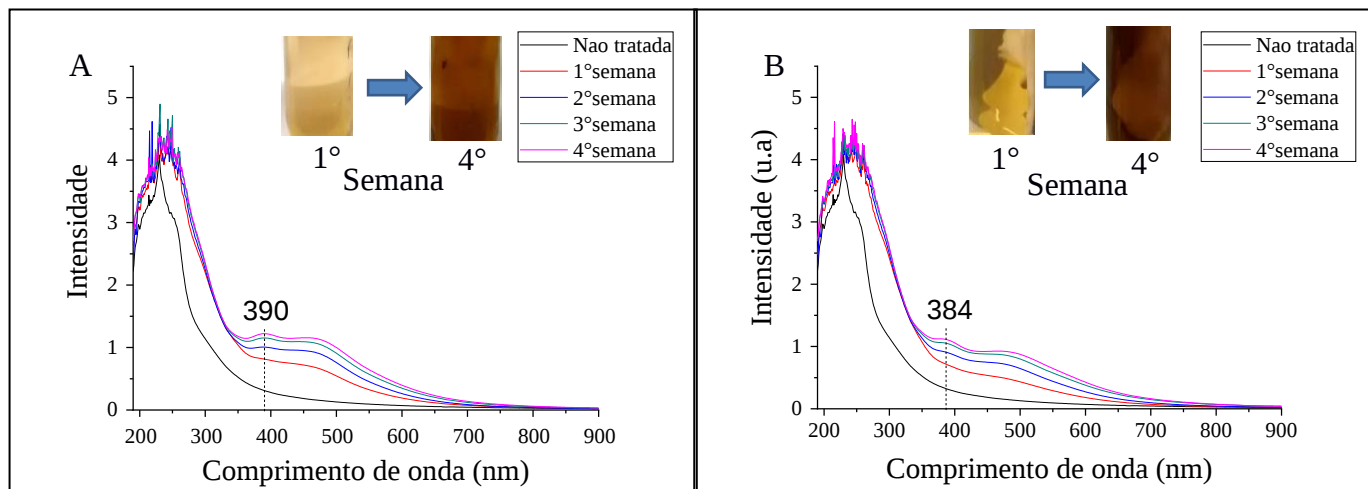


Gráfico 5. Absorbância do eletrólito com quitosana tratado a 2300 Hz, (A) solução tratada por 10 minutos e (B) solução tratada por 15 minutos. Em cada item possui a evolução do aspecto visual da solução. (Autoria própria)

Nas soluções tratadas a 4000 Hz o comportamento foi o mesmo, porém houve diferença nas intensidades obtidas e a partir dos 5 minutos de tratamento já houve a formação das nanopartículas (Gráfico 6).

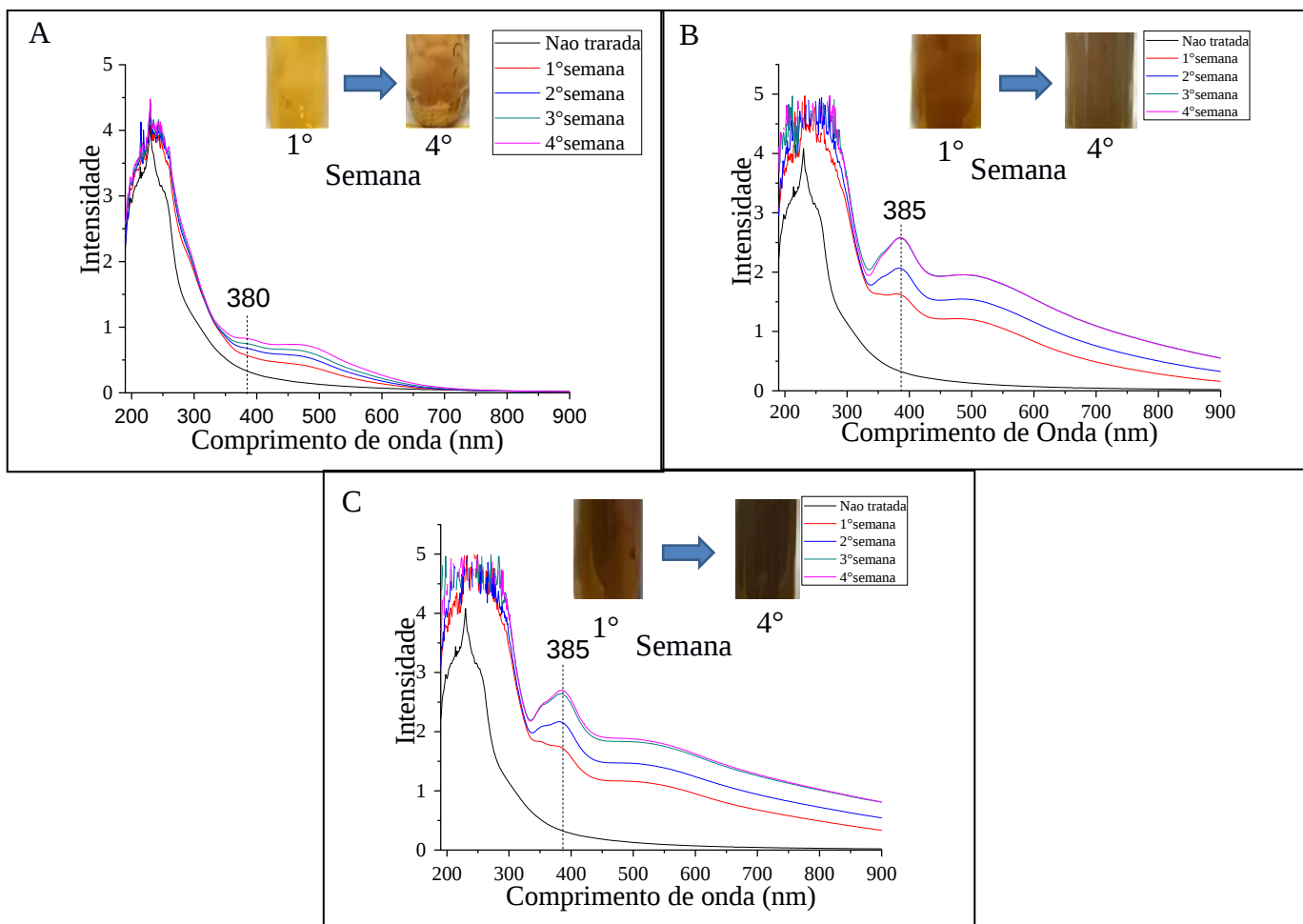


Gráfico 6. Absorbância do eletrólito com quitosana tratado a 4000 Hz, nos tempos de (A) 5 min, (B) 10 min e (C) 15 min. Em cada item possui a evolução do aspecto visual da solução. (Autoria própria)

No (gráfico 6) os diferentes tempos de tratamento possuem o mesmo comportamento, ou seja, a intensidade máxima da banda característica aumenta com o tempo, até atingir uma estabilidade em torno de 28 dias. Embora o comportamento seja semelhante às intensidades das bandas características de nanopartículas são diferentes, assim como o centro dos picos de absorção.

A solução tratada por 5 minutos (A) possui uma intensidade de 0,833; centro da banda de plasmon em 380 nm, logo possui um tamanho médio de partícula de aproximadamente 4 nm (Tabela 4).

A solução tratada por 10 minutos (B) obteve uma intensidade de 2,587; banda de plasmon de 385 nm e tamanho médio estimado de 6 nm (Tabela 4). A intensidade da solução tratada por 10 minutos e 4000 Hz foi superior à tratada a 2300 Hz por 10 minutos, indicando uma maior concentração de nanopartículas.

A solução trada por 15 minutos (C) teve intensidade de 2,701; centro do pico característico em 385 nm e tamanho médio estimado de 6 nm (Tabela 4). A intensidade da solução tratada por 15 minutos e 4000 Hz foi superior à tratada a 2300 Hz por 15 minutos, indicando uma maior concentração de nanopartículas.

A coloração escura e turva, em todas as soluções à base de quitosana tratadas pelo plasma, indica que houve formação de aglomerações, assim como a presença de um pó fino pode ressaltar essa hipótese, ou pode indicar também a degradação da quitosana. Que ressaltaria ainda mais a hipótese de que a quitosana está formando uma camada grossa ao redor das nanopartículas, devido a sua alta concentração em comparação com nitrato de prata, impedindo a saída da radiação que fornece os parâmetros que indicam a formação das nanopartículas, e de acordo com que a camada vai sendo degradada a saída da radiação é facilitada, possibilitando a detecção dos indicadores da formação dos coloides. Na tabela 4 está um resumo da intensidade, comprimento de onda e tamanho das diferentes condições de processos utilizados nos gráficos 5 e 6.

Tabela 4. Resumo dos resultados nas soluções utilizando quitosana como agente estabilizador, as quais apresentaram formação de nanopartículas de prata. (Autoria própria).

Frequência	2300		4000		
Tempo de tratamento (min)	10	15	5	10	15
Intensidade	1,222	1,118	0,833	2,587	2,701
Comprimento de onda (nm)	390	384	380	385	385
Tamanho (nm)	8	6	4	6	6

2.3.2 Análise de correlação

Uma análise estatística de correlação, utilizando o software past3, foi realizada para amostras tratadas na frequência de 4000 Hz. Escolheu-se essa condição porque ela é a única que possui o número mínimo de amostras exigido pelo programa. A análise foi realizada fixando a frequência em 4000 Hz e analisando as correlações entre o tempo de tratamento e o centro do pico característico, assim como o tempo de tratamento e a intensidade máxima de absorção.

O software past3 na análise de correlação fornece o valor de R, também chamado de coeficiente de Pearson, que pode assumir valores entre -1 e 1, fazendo referência a uma correlação perfeita e negativa ou correlação perfeita e positiva. Caso não haja relação entre as variáveis o valor de R será zero. Além disso, na análise de correlação ele indica a probabilidade bicaudal de uma variável não explicar a outra. [17,18]

Para a análise de correlação entre o tempo de tratamento a 4000 Hz e o centro do pico característico o valor de R foi de 0,866, ou seja, indica uma correlação fortíssima [17] e positiva, pois está a cima de 0,75 e abaixo de 1. E a probabilidade bicaudal das variações em uma variável não explicarem as variações na outra foi de 33,33%.

Enquanto que a análise de correlação entre o tempo de tratamento e a intensidade máxima da banda característica obteve um valor de 0,892 para R, indicando uma correlação fortíssima e positiva [17], a probabilidade bicaudal das variações de uma variável não explicar as mudanças da outra é de 29,9%.

3. CONCLUSÕES

Mesmo modificando o agente estabilizador o plasma é capaz de sintetizar nanopartículas de prata. E com o uso do citrato de sódio a formação dos coloides é imediata após o tratamento, e a presença de apenas uma banda de absorção indica que as nanopartículas são esféricas. Enquanto que com a quitosana os indicadores da síntese se mostram alguns dias depois do tratamento, mas em maior número de condições, e a presença de uma segunda banda indica a formação de nanopartículas não esféricas, e o centro da banda de absorção que são menores que as formadas com citrato de sódio.

Por meio do aumento da frequência se percebeu uma maior intensidade de absorção características de nanopartículas, e por análises de correlação foi exposta a proporcionalidade entre o tempo de tratamento a intensidade e o centro da banda característica das nanopartículas, ou seja, há uma proporcionalidade entre o tempo de tratamento a concentração e tamanho das nanopartículas.

Logo a síntese utilizando o plasma se mostra extremamente atrativa e relevante, pois é ecológica e garante controle sobre forma, tamanho e concentração das nanopartículas.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]: CHEN, Qiang; LI, Junshuai; LI, Yongfeng. A review of plasma–liquid interactions for nanomaterial synthesis. **Journal of Physics D: Applied Physics**, v. 48, n. 42, p. 424005, 2015.
- [2]: GONÇALVES, Ingrid A. et al. Reduction of Aqueous Ag⁺ Steered by Electrochemical Plasma: Connecting the Bulk pH Variation with the Reaction Pathways for Hydrated Electrons. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 30, n. 6, p. 1252-1265, 2019.
- [3]: WEI, Dongwei et al. The synthesis of chitosan-based silver nanoparticles and their antibacterial activity. **Carbohydrate research**, v. 344, n. 17, p. 2375-2382, 2009.
- [4]: JIN, Yong et al. Synthesis of chitosan-stabilized gold nanoparticles by atmospheric plasma. **Carbohydrate polymers**, v. 91, n. 1, p. 152-156, 2013.
- [5]: CALLISTER JR., W. D.; RETHWISCH, D. G. *Ciência e Engenharia dos Materiais: Uma Introdução*. LTC, v. 8ª Edição, 2012.
- [6]: RAFIQUE, Muhammad et al. A review on green synthesis of silver nanoparticles and their applications. *Artificial cells, nanomedicine, and biotechnology*, v. 45, n. 7, p. 1272-1291, 2017.
- [7]: RAOTA, Camila Suliani. Síntese verde de nanopartículas de prata a partir do extrato do bagaço de *Vitis labrusca* (cultivar Ives), caracterização e aplicação na desinfecção de efluentes industriais. 2019.
- [8]: MELO JR, Maurício Alves et al. 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.
- [9]: SRIKAR, Sista Kameswara et al. Green synthesis of silver nanoparticles: a review. *Green and Sustainable Chemistry*, v. 6, n. 1, p. 34-56, 2016.
- [10]: BANACH, Marcin; PULIT-PROCIK, Jolanta. Synthesis, characteristics, and biocidal activity of silver nanoparticles. In: **Fabrication and Self-Assembly of Nanobiomaterials**. William Andrew Publishing, 2016. p. 367-399.
- [11]: PING, Yao et al. Green synthesis of silver nanoparticles using grape seed extract and their application for reductive catalysis of Direct Orange 26. **Journal of industrial and engineering chemistry**, v. 58, p. 74-79, 2018.
- [12]: JÚNIOR, Clodomiro. **Nitretação a plasma: Fundamentos e Aplicações**. [S. l.: s. n.], 2001. 109 p.
- [13]: Lieberman M A and Lichtenberg A J 2005 *Principles of Plasma Discharges and Materials Processing* (New Jersey: Wiley-Interscience).
- [14]: ALMEIDA, JCB et al. SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE NANOPARTÍCULAS DE PRATA. *Blucher Chemical Engineering Proceedings*, v. 2, p. 2040-2048
- [15]: MOLFINGER, Lorraine et al. Synthesis and study of silver nanoparticles. *Journal of chemical education*, v. 84, n. 2, p. 322, 2007.
- [16]: SEGALA, Karen et al. Characterization of poly-{trans-[RuCl₂ (vpy) 4]-styrene-4-vinylpyridine} impregnated with silver nanoparticles in non aqueous medium. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 17, n. 8, p. 1679-1682, 2006.
- [17]: MONTEIRO, Adson Brito; DINIZ, João Alberto Oliveira; CORREIA FILHO, Francisco Lajes. Regressão e validação do modelo de correlação entre CE e STD: uma contribuição ao estudo do Aquífero Cabeças Sudeste da Bacia Sedimentar do Parnaíba–PI. 2014.
- [18]: HAMMER, Ø.; HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D. *Paleontological statistic*, ver. 3.2 Users 501 Manual, 262 pp. 2018.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA
Centro de Ciências Exatas e Naturais – CCEN

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Às **Nove** horas do dia **nove de dezembro de dois mil e vinte**, na sala virtual **meet.google.com/zyn-odzn-zkh**, reuniu-se a Banca Examinadora de defesa de trabalho de conclusão de curso de autoria do aluno **LUCAS PAULO RIBEIRO DE OLIVEIRA**, aluno do curso de Bacharelado em Ciência e Tecnologia desta universidade, N° de matrícula **2017011246**, com o título **“SÍNTESE DE NANOPARTÍCULAS DE PRATA UTILIZANDO PLASMA E DIFERENTES AGENTES ESTABILIZADORES”**. A Banca Examinadora ficou assim constituída por **três** membros: **Prof. Dr. CLODOMIRO ALVES JUNIOR, PROFESSOR ORIENTADOR**, presidente da banca e orientador do Trabalho de Conclusão de Curso; **Prof. Dr. ZILVAM MELO DOS SANTOS** e **Prof. Dr. FRANCISCO FRANCINÉ MAIA JUNIOR**, como membros. Concluída a defesa, procedeu-se o julgamento pelos membros da banca examinadora, tendo o aluno obtido as seguintes notas: **9,5; 9,5; 9,5**. Apuradas as notas verificou-se que o aluno foi aprovado com média geral **9,5**. E para constar, eu, **CLODOMIRO ALVES JUNIOR**, lavrei a presente ata que, após lida e aprovada pelos membros da banca examinadora, será assinada por todos.

Mossoró, **09 de dezembro de 2020**.

Assinatura dos membros da Banca Examinadora.

Prof. Dr. Clodomiro Alves Junior – UFERSA
Presidente e orientador

Prof. Dr. Zilvam Melo dos Santos – UFERSA
Primeiro Membro

Prof. Dr. Francisco Franciné Maia Júnior - UFERSA
Segundo Membro