



FERNANDA CAROLINA RESENDE

**ATIVIDADE ANTIBACTERIANA DE NANOPARTÍCULAS DE
PRATA NA SUPERFÍCIE DE PAINÉIS DO TIPO MDF**

**LAVRAS - MG
2020**

FERNANDA CAROLINA RESENDE

**ATIVIDADE ANTIBACTERIANA DE NANOPARTÍCULAS DE PRATA NA
SUPERFÍCIE DE PAINÉIS DO TIPO MDF**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Biomateriais, área de concentração em Compósitos e Nanocompósitos Lignocelulósicos, para a obtenção do título de Mestre.

Prof^ª. Dr^ª Livia Elisabeth Vasconcellos de Siqueira Brandão Vaz
Orientadora
Prof^ª. Dr^ª. Roberta Hilsdorf Piccoli
Prof. Dr. Rafael Farinassi Mendes
Coorientadores

**LAVRAS – MG
2020**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Resende, Fernanda Carolina.

Atividade antibacteriana de nanopartículas de prata na
superfície de painéis do tipo MDF / Fernanda Carolina Resende. -
2020.

72 p. : il.

Orientador(a): Lívia Elisabeth Vasconcellos de Siqueira
Brandão Vaz.

Coorientador(a): Roberta Hilsdorf Piccoli, Rafael Farinassi
Mendes.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de
Lavras, 2020.

Bibliografia.

1. Nanopartículas de prata. 2. Revestimento. 3. MDF. I. Vaz,
Lívia Elisabeth Vasconcellos de Siqueira Brandão. II. Piccoli,
Roberta Hilsdorf. III. Mendes, Rafael Farinassi. IV. Título.

FERNANDA CAROLINA RESENDE

**ATIVIDADE ANTIBACTERIANA DE NANOPARTÍCULAS DE PRATA NA
SUPERFÍCIE DE PAINÉIS DO TIPO MDF
ANTIBACTERIAL ACTIVITY OF SILVER NANOPARTICLES ON THE SURFACE
OF PANELS OF THE MDF TYPE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Biomateriais, área de concentração em Compósitos e Nanocompósitos Lignocelulósicos para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 03 de março de 2020.

Dr. Rafael Farinassi Mendes UFLA

Dr. Osmar de Sousa Santos UFLA

Dr. Rodrigo de Araújo Soares IF Sertão – PE

Prof^ª. Dr^ª. Livia Elisabeth Vasconcellos de Siqueira Brandão Vaz
Orientadora
Prof^ª. Dr^ª. Roberta Hilsdorf Piccoli
Prof. Dr. Rafael Farinassi Mendes
Coorientadores

**LAVRAS – MG
2020**

*À minha querida mãe, por ser o meu maior exemplo de vida.
Dedico.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela oportunidade concedida, por toda a sabedoria, paciência e por ter me amparado em todos os obstáculos encontrados ao longo desta jornada. À Ele minha eterna gratidão, pois sem o Teu amor e a Tua misericórdia a concretização deste sonho não seria possível.

À minha querida mãe Rosa, por todo o amor e todo o apoio incondicional ao longo desta caminhada.

À minha querida avó Ilda Rossi (in memoriam) por todo o amor.

Aos demais familiares que me apoiaram ao longo desta jornada.

À minha orientadora Prof^a. Dr^a. Livia Elisabeth Vasconcellos de Siqueira Brandão Vaz e aos meus coorientadores Prof. Dr. Rafael Farinassi Mendes e Prof^a. Dr^a. Roberta Hilsdorf Piccoli, por todos os ensinamentos proporcionados e todas as contribuições para a realização deste trabalho.

Aos alunos de graduação Charles Vigorito Câmpara, Lara Campideli Santos, Bianca Requi Luchesi e Leonardo Guedes Ribeiro que me acompanharam e me auxiliaram durante a realização deste trabalho. Muito obrigado!

Aos meus amigos da Pós-Graduação, Lorena, Karina, Samantha, Janaína, Rafael, Thalita, Laís e Sara.

Aos meus queridos amigos do laboratório de Microbiologia de Alimentos, Eliane, Roberta, Juliana, Michele, Raquel, Crislaine, Sabrina, Silas, Natália, Danilo, Mônica, Jorge, Heloisa, Fernanda, Suemis e Jheimmy que sempre me apoiaram e me auxiliaram em todos os momentos. Muito obrigado!

À Universidade Federal de Lavras pela oportunidade proporcionada.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Biomateriais.

Aos laboratórios de microscopia eletrônica, de microbiologia de alimentos, de nanotecnologia e ao departamento de química da Universidade Federal de Lavras.

E a todos que direta ou indiretamente contribuíram para esta conquista o meu muito obrigado!

*“O conhecimento é o antídoto do medo”
(Ralph Waldo Emerson)*

RESUMO

As infecções hospitalares também conhecidas como infecções nosocomiais ou infecções associadas aos cuidados com a saúde são umas das principais causas relacionadas a prolongação do tempo de internação entre pacientes hospitalizados e a elevação da taxa de mortalidade entre estes pacientes. A maior parte destas infecções são ocasionadas por bactérias. A contaminação de superfícies dentro de ambientes médico-hospitalares e a propagação de células bacterianas estão diretamente associadas ao surto de infecções. Técnicas de higienização contribuem para a descontaminação superficial, no entanto, em decorrência da resistência bacteriana, muitas superfícies permanecem contaminadas. Em busca de técnicas mais adequadas para a correta higienização destas superfícies, surgiu a modificação superficial, que visa conferir propriedades antibacterianas as superfícies dos materiais, afim de impedir a proliferação das células bacterianas. Um dos principais agentes antimicrobianos utilizados para a realização desta modificação é a prata (Ag) por apresentar boas propriedades antibacterianas. Em escala nanométrica estas propriedades se tornam ainda mais intensas, devido à elevada relação superfície/volume, o que contribui para a utilização de AgNPs no combate a vários microrganismos patogênicos. No entanto, as nanopartículas (NPs) podem se aglomerar facilmente o que reduz a sua atividade antibacteriana, por isso elas necessitam de agentes estabilizadores para manter a sua estabilidade. Dentre os agentes estabilizadores, está o poliuretano, um material polimérico, capaz de conferir estabilidade a solução de AgNPs e contribuir para a manutenção de sua eficiência como agente antibacteriano. Neste contexto, o principal objetivo deste trabalho foi produzir um revestimento com propriedades antibacterianas, por meio da utilização de nanopartículas de prata e resina de poliuretano, para posterior utilização na superfície de móveis utilizados em ambientes médico-hospitalares, visando reduzir a propagação de células bacterianas dentro destes ambientes e diminuir o índice de infecções hospitalares. Para a síntese das nanopartículas de prata utilizou-se o processo de redução por borohidreto de sódio. Os espectros eletrônicos obtidos para a solução de nanopartículas apresentaram um pico de máxima absorvância em torno de 393 nm, condizente com os valores descritos na literatura para nanopartículas de prata. A aplicação das nanopartículas sobre a superfície dos painéis foi realizada de forma direta e através de sua inserção na resina de poliuretano, nas concentrações de 10% e 20%. Avaliou-se a atividade antibacteriana destes revestimentos em relação a *Escherichia coli* e a *Staphylococcus aureus*. As propriedades das superfícies dos painéis foram avaliadas através de microscopia eletrônica de varredura (MEV), espectroscopia por energia dispersiva (EDS) e ângulo de contato. Por meio dos resultados obtidos neste trabalho, observou-se que os tratamentos compostos pela aplicação direta de AgNPs nas superfícies dos painéis com e sem revestimento de poliuretano, não foram eficientes no combate as células de *E. coli* e *S. aureus*, devido a agregação das nanopartículas que reduziu sua atividade antibacteriana. Já os tratamentos compostos por nanopartículas de prata inseridas na resina de poliuretano, nas concentrações de 10% e 20% se mostraram eficientes no combate as células bacterianas, ao causar a eliminação de todas as células de *E. coli* e reduzir consideravelmente o número de células de *S. aureus*.

Palavras-chave: Hospital. Móveis. Bactérias. Revestimento.

ABSTRACT

Hospital infections, also known as nosocomial infections or infections associated with health care, are one of the main causes related to the length of hospital stay among hospitalized patients and the increase in the mortality rate among these patients. Most of these infections are caused by bacteria. Contamination of surfaces within medical and hospital environments and the spread of bacterial cells are directly associated with the outbreak of infections. Hygienic techniques contribute to surface decontamination, however, due to bacterial resistance, many surfaces remain contaminated. In search of more suitable techniques for the correct cleaning of these surfaces, the surface modification appeared, which aims to give antibacterial properties to the surfaces of the materials, in order to prevent the proliferation of bacterial cells. One of the main antimicrobial agents used to carry out this modification is silver (Ag) for having good antibacterial properties. On a nanometric scale these properties become even more intense, due to the high surface / volume ratio, which contributes to the use of AgNPs to combat various pathogenic microorganisms. However, nanoparticles (NPs) can easily clump together which reduces their antibacterial activity, so they need stabilizing agents to maintain their stability. Among the stabilizing agents is polyurethane, a polymeric material, capable of providing stability to the AgNP solution and contributing to the maintenance of its efficiency as an antibacterial agent. In this context, the main objective of this work was to produce a coating with antibacterial properties, through the use of silver nanoparticles and polyurethane resin, for later use on the surface of furniture used in medical-hospital environments, aiming to reduce the spread of bacterial cells. within these environments and decrease the rate of nosocomial infections. For the synthesis of silver nanoparticles, the sodium borohydride reduction process was used. The electronic spectra obtained for the nanopathicles solution showed a peak of maximum absorbance at around 393 nm, consistent with the values described in the literature for silver nanoparticles. The application of nanoparticles on the surface of the panels was carried out directly and through their insertion in the polyurethane resin, in concentrations of 10% and 20%. The antibacterial activity of these coatings was evaluated in relation to *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. The surface properties of the panels were evaluated using scanning electron microscopy (SEM), dispersive energy spectroscopy (EDS) and contact angle. Through the results obtained in this work, it was observed that treatments composed by the direct application of AgNPs on the surfaces of panels with and without polyurethane coating, were not efficient in combating the *E. coli* and *S. aureus* cells, due to the aggregation of the nanoparticles that reduced its antibacterial activity. Treatments composed of silver nanoparticles inserted in polyurethane resin, in concentrations of 10% and 20%, were efficient in combating bacterial cells, by causing the elimination of all *E. coli* cells and considerably reducing the number of cells *S. aureus*

Keywords: Hospital. Furniture. Bacteria. Coatings.

LISTA DE FIGURAS

PRIMEIRA PARTE

Figura 1 - <i>Escherichia coli</i>	20
Figura 2 - <i>Staphylococcus aureus</i>	21
Figura 3 - Aplicações das nanopartículas.....	22
Figura 4 - Micrografia das nanopartículas de prata, obtidas por Microscopia Eletrônica de Transmissão (MET).....	23
Figura 5 - Curvas de inibição do crescimento para <i>Escherichia coli</i>	24
Figura 6 - Curvas de inibição do crescimento para <i>Staphylococcus Aureus</i>	24
Figura 7 - Mecanismo de ação antibacteriana das AgNPs.....	26
Figura 8 - Solução de AgNPs em diferentes estados de agregação.....	28
Figura 9 - Painéis MDF sem revestimento e revestidos com laca.....	30
Figura 10 - Processo de produção do MDF.....	32
Figura 11 - Mamoneira.....	34
Figura 12 - Fórmula estrutural do triglicerídeo do ácido ricinoléico.....	35
Figura 13 - Reação para formação do poliuretano.....	35

SEGUNDA PARTE

Figura 1 - Blocos de MDF utilizados no experimento.....	50
Figura 2 – Espectros eletrônicos obtidos a partir das diluições das soluções de AgNPs.....	54
Figura 3 – Molhabilidade dos painéis compostos por: (T1) MDF puro; (T2) AgNPs; (T3) Poliuretana; (T4) P e AgNPs; (T5) P + 10% AgNPs; (T6) P + 20% AgNPs.....	55
Figura 4 – Energia livre de superfície dos painéis compostos por: (T1) MDF puro; (T2) AgNPs; (T3) Poliuretana; (T4) P e AgNPs; (T5) P + 10% AgNPs; (T6) P + 20% AgNPs.....	56
Figuras 5 (A) e (B) – Microscopia eletrônica de varredura (MEV) para painéis revestidos com poliuretana (A) e painéis revestidos com 10% de nanopartículas de prata inseridas na poliuretana (B).....	57
Figura 6 (A) e (B) - Curva de morte de <i>Escherichia coli</i> inoculado sobre painéis MDF com e sem modificação superficial e incubados à (A) 37° C e (B) 25° C.....	59
Figura 7 (A) e (B) - Curva de morte de <i>Staphylococcus Aureus</i> inoculado sobre painéis MDF com e sem modificação superficial e incubados à (A) 37° C e (B) 25° C.....	60

Figura 8 (A) e (B) – Microscopia eletrônica de varredura (MEV) para painéis revestidos com nanopartículas de prata – T2 (A) e recobertos com nanopartículas de prata após o revestimento com poliuretano – T4 (B).....	65
Figura 9 - Distribuição química da Ag para painéis revestidos com nanopartículas de prata.....	65
Figura 10 - Microscopia eletrônica de varredura MEV (A) e distribuição química de Ag (B) para painéis revestidos com 10% de AgNPs inseridas na resina de poliuretano.....	66

LISTA DE TABELAS

SEGUNDA PARTE

Tabela 1 – Tratamentos realizados.....	51
Tabela 2 - Valores médios (desvio padrão) do número de unidades formadoras de colônias por centímetro quadrado (log UFC/cm ²) para cada tratamento realizado nas temperaturas de cultivo avaliadas	61
Tabela 3 - Valores médios (desvio padrão) do número de unidades formadoras de colônias por centímetro quadrado (log UFC/cm ²) para cada tratamento realizado nos tempos de contagem de células analisados	62
Tabela 4 - Valores médios (desvio padrão) do número de unidades formadoras de colônias por centímetro quadrado (log UFC/cm ²) para os tratamento realizados.....	63
Tabela 5 - Valores médios (desvio padrão) do número de unidades formadoras de colônias por centímetro quadrado (log UFC/cm ²) para as temperaturas de cultivo avaliadas.....	64
Tabela 6 - Valores médios (desvio padrão) do número de unidades formadoras de colônias por centímetro quadrado (log UFC/cm ²) para os tempos de contagem de células analisados.....	64

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

AgNPs – Nanopartículas de Prata

ANAVA – Análise de Variância

ATCC – American Type Culture Collection

BHI – Caldo Infusão Cérebro e Coração

DO – Densidade Ótica

EDS – Espectroscopia por Energia Dispersiva

IACS – Infecções Associadas aos Cuidados com a Saúde

MDF – Painéis de Fibras de Madeira de Média Densidade

MEV – Microscopia Eletrônica de Varredura

μm – Micrômetro

nm – Nanômetro

NPs – Nanopartículas

OMS – Organização Mundial da Saúde

OPA – Organização Pan-Americana da Saúde

PCA – Ágar para Contagem Padrão

PEG – Polietilenoglicol

pH – Potencial Hidrogeniônico

PMMA – Polimetilmetacrilato

PU- Poliuretana

PVA – Poliálcoolvinílico

PVP – Polivinilpirrolidona

ROS – Espécies Reativas de Oxigênio

UFC.cm^{-2} – Unidades Formadoras de Colônias por Centímetros Quadrados

UFC.mL^{-1} – Unidades Formadoras de Colônias por mL de Cultura

UV – Ultravioleta

UV-Vis – Ultravioleta e Visível

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 Objetivo geral.....	17
1.2 Objetivos específicos.....	17
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
2.1 Infecções hospitalares.....	18
2.2 <i>Escherichia coli</i>	19
2.3 <i>Staphylococcus aureus</i>	20
2.4 Nanotecnologia.....	21
2.5 Nanopartículas de prata.....	22
2.5.1 Propriedades físico-químicas das nanopartículas de prata.....	23
2.5.1.1 Tamanho e Forma.....	23
2.5.1.2 Superfície.....	24
2.5.2 Aplicações das nanopartículas de prata.....	24
2.5.3 Ação antibacteriana.....	25
2.5.4 Síntese de AgNPs.....	26
2.5.5 Processo de redução por borohidreto de sódio.....	27
2.6 Painéis de madeira.....	29
2.7 Painéis de fibras de madeira de média densidade (MDF)	30
2.7.1 Processo de fabricação de painéis MDF.....	31
2.8 Resina de poliuretano.....	33
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	36
REFERÊNCIAS	37

SEGUNDA PARTE - ARTIGO

1 INTRODUÇÃO.....	47
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	49
2.1 Matéria-prima.....	49
2.1.1 Painéis de madeira e resina de poliuretano.....	49
2.1.2 Nanopartículas de prata (AgNPs)	49
2.2 Caracterização das nanopartículas de prata (AgNPs)	49

2.3 Tratamento das superfícies de MDF.....	50
2.4 Caracterização dos tratamentos.....	51
2.4.1 Análises microbiológicas.....	51
2.4.1.1 Microrganismos, manutenção e padronização dos inóculos.....	51
2.4.1.2 Avaliação da ação bactericida.....	51
2.4.2 Microscopia Eletrônica de Varredura e Espectroscopia por Energia Dispersiva (MEV/EDS).....	52
2.4.3 Análise do ângulo de contato e energia de superfície.....	52
2.4.4 Análises estatísticas.....	52
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	54
3.1 Caracterização das AgNPs por Espectroscopia UV-Vis.....	54
3.2 Avaliação da modificação superficial dos painéis através das análises de ângulo de contato e energia de superfície.....	55
3.3 Efeito antimicrobiano dos polímeros contendo nanopartículas sobre <i>Escherichia coli</i> e <i>Staphylococcus Aureus</i>	57
3.3.1 <i>Escherichia coli</i>	60
3.3.2 <i>Staphylococcus Aureus</i>	63
4 CONCLUSÃO.....	68
AGRADECIMENTOS.....	69
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	70

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

A propagação de microrganismos patogênicos e a ocorrência frequente de infecções em ambientes hospitalares despertaram grande preocupação em todo o mundo. As infecções hospitalares, também conhecidas como infecções nosocomiais ou infecções associadas aos cuidados de saúde (IACS), podem ocorrer durante o atendimento a pacientes internados em unidades hospitalares e têm representado constante ameaça à saúde humana. As bactérias são os principais agentes causadores destas infecções (KHAN et al., 2017; QUERIDO et al., 2019).

A aderência das bactérias e sua consequente proliferação na superfície de materiais hospitalares, ocasiona a formação de biofilme bacteriano, que favorece a contaminação do ambiente hospitalar e também a disseminação das infecções. O contato com superfícies e equipamentos médicos contaminados são considerados as principais fontes de transmissão de patógenos bacterianos dentro dos hospitais, causando a contaminação das mãos e das luvas dos profissionais de saúde, e consequentemente, a transmissão destes microrganismos patogênicos aos pacientes hospitalizados (YU et al., 2015; KAUR et al., 2016; QUERIDO et al., 2019).

Devido a sua capacidade de retardar o crescimento de determinadas bactérias ou até mesmo de ocasionar a sua morte, os agentes antibacterianos têm sido muito utilizados no tratamento de infecções. No entanto, o seu uso prolongado e indiscriminado tem contribuído para o surgimento de superbactérias, resistentes a diversas classes de antibióticos, e responsáveis pelo elevado número de mortes de pacientes hospitalizados ao longo dos últimos anos. Estima-se que a cada ano cerca de 700.000 pessoas possam perder suas vidas em decorrência de doenças infecciosas ocasionadas por bactérias super-resistentes (HAJIPOUR et al., 2012; TRIPATHY et al., 2017).

A adoção de práticas de higienização adequadas, através do uso de desinfetantes e antimicrobianos, contribui para a redução e controle do número de infecções em ambiente hospitalar. Entretanto, falhas no processo de higienização, bem como a resistência de determinados microrganismos aos antimicrobianos utilizados podem ocasionar a contaminação de superfícies já desinfetadas, demonstrando a ineficiência das técnicas empregadas atualmente e evidenciando a necessidade da busca por métodos mais eficazes (DUNNE et al., 2018).

Dentre as novas técnicas desenvolvidas está a modificação superficial, muito utilizada para conferir propriedades antibacterianas as superfícies dos materiais. Por meio desta técnica é possível criar superfícies com propriedades anti-incrustantes, capazes de impedir a fixação e colonização das células bacterianas, e também superfícies bactericidas, capazes de inativar as bactérias e ocasionar a sua morte. Entre as superfícies que desempenham efeito bactericida estão aquelas que apresentam prata (Ag) em sua composição (HASAN et al., 2013).

A prata é muito conhecida, desde a antiguidade, pelas suas propriedades antibacterianas. Em escala nanométrica estas propriedades são aprimoradas devido à redução do seu tamanho e também a maior relação superfície/volume, facilitando a sua penetração através da membrana das células bacterianas e melhorando o seu desempenho como agente antibacteriano, de amplo aspecto, contra vários microrganismos patogênicos, presentes em ambientes médico-hospitalares. Sua propriedade antibacteriana é decorrente da constante e prolongada liberação de íons Ag (NGUYENOVA et al., 2019; HEKMATI et al., 2020).

A utilização de nanopartículas de prata para a criação de revestimentos antibacterianos é algo de grande relevância. Na área médica elas têm sido largamente empregadas no revestimento de dispositivos médicos, como cateteres e implantes e também na produção de curativos, para inibir a colonização bacteriana e impedir a sua proliferação. No entanto, fatores como a ocorrência da agregação das nanopartículas reduz de forma significativa as suas propriedades antibacterianas, o que dificulta a sua utilização. Neste contexto, surgiram os materiais poliméricos, compostos que associados as nanopartículas, impedem a sua agregação e preservam o seu efeito antibacteriano (GUO et al., 2013; MACOCINSCHI et al., 2015; NEETHU et al., 2020).

Os poliuretanos pertencem a classe de materiais poliméricos e têm muitas aplicações na indústria, desde a fabricação de espumas e elastômeros, até a produção de adesivos e revestimentos. Por apresentar boas propriedades mecânicas e biocompatibilidade, se tornaram uma boa opção para a utilização em revestimentos antimicrobianos (KOTANEN et al., 2020; MOHAMMADI et al., 2020).

Diante do cenário apresentado, o objetivo desta pesquisa consistiu no desenvolvimento de um revestimento com propriedades antibacterianas, à base de nanopartículas de prata e poliuretana, para aplicação em superfícies de móveis hospitalares, que seja capaz de ocasionar a morte das bactérias presentes nestas superfícies e impedir a sua disseminação, de forma a contribuir com a redução do índice de infecções presentes dentro de ambientes médico-hospitalares e conseqüentemente reduzir o número de mortes associadas a estas infecções.

1.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho foi sintetizar nanopartículas de prata (AgNPs), para posterior aplicação em painéis de fibras de madeira de média densidade (MDF) e avaliação de sua atividade antibacteriana para utilização em móveis hospitalares.

1.2 Objetivos específicos

- a) Sintetizar nanopartículas de prata a partir do processo de redução por borohidreto de sódio;
- b) Estabelecer metodologias de aplicação das AgNPs nas superfícies dos painéis de madeira MDF;
- c) Analisar a distribuição das nanopartículas de prata sobre a superfície dos painéis, para verificar a relação existente entre essa distribuição e a atividade antibacteriana desempenhada pelas NPs;
- d) Avaliar as propriedades da superfície dos painéis, para compreender a interação entre estas superfícies e as células bacterianas;
- e) Averiguar o desempenho antibacteriano das superfícies para comprovar a eficiência da modificação superficial.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Infecções hospitalares

As infecções hospitalares ou infecções nosocomiais representam grave problema para o setor de saúde pública, e tem contribuído para o aumento do índice de mortalidade da população. A designação “nosocomial” se refere a doenças que atingem os pacientes sob cuidados médicos, e corresponde a todas as infecções adquiridas 48 h após a internação do paciente na unidade médico-hospitalar (KHAN et al., 2015; ATKI et al., 2019; EDWARDSON et al., 2019). Conforme dados da Organização Pan-Americana da Saúde e da Organização Mundial da Saúde - OPAS/OMS (2018), em países de média e baixa renda, 10% dos pacientes hospitalizados podem contrair infecção hospitalar. Já em países de alta renda, este índice é reduzido para 7%.

As infecções hospitalares podem ser causadas por diferentes tipos de microrganismos, entretanto, as bactérias se destacam, ao serem responsáveis por cerca de 90% de todas as infecções que atingem o ambiente médico-hospitalar. A transmissão de microrganismos patogênicos pode ocorrer tanto pelo contato direto com o paciente infectado quanto indiretamente, por meio do contato com superfícies ou equipamentos médicos contaminados (KHAN et al., 2015; RUTALA et al., 2019).

Dormitórios ocupados por pacientes infectados apresentam superfícies contaminadas, as quais funcionam como reservatório de microrganismos e, portanto, são consideradas uma importante fonte de transmissão de bactérias, através da contaminação das mãos ou luvas dos profissionais de saúde. Consequentemente atuam diretamente para a transmissão destes patógenos a outras pacientes e superfícies, processo ao qual se dá o nome de contaminação cruzada (QUERIDO et al., 2019).

Nesse contexto, a adoção de práticas adequadas de higienização dentro de clínicas médicas e unidades hospitalares é indispensável para reduzir a contaminação superficial e assim minimizar o risco de infecções hospitalares. No entanto, muitas superfícies são recontaminadas pouco tempo após serem limpas. Isso ocorre devido a aplicação de medidas inadequadas de higienização ou até mesmo em decorrência da resistência imposta pelos microrganismos, que em muitos casos, são capazes de sobreviver durante horas ou meses em condições inóspitas (HAN et al., 2015; BRUHWASSER et al., 2017).

Diante do cenário apresentado, foram desenvolvidas técnicas mais eficientes para a desinfecção de superfícies, dentre elas, está a aplicação de luz UV e aerossóis em superfícies

contaminadas, a tecnologia de plasma à frio e a modificação superficial dos materiais. A aplicação de luz UV reduz significativamente a quantidade de bactérias presentes em superfícies contaminadas, no entanto, este método apresenta algumas limitações. Além do custo elevado, ela só pode ser aplicada em ambientes vazios, e esteriliza somente superfícies que estiverem em contato direto com a luz UV, por isso muitas superfícies permanecem contaminadas após este processo. Já a utilização de aerossóis também é uma técnica muito eficiente, no entanto, é um método bem demorado se comparado aos métodos de limpeza convencionais e a aplicação de luz UV (DOLL et al., 2018; WEBER et al. 2013).

A tecnologia de plasma à frio foi testada inicialmente para a desinfecção de materiais utilizados na confecção de embalagens de alimentos, e atingiu resultados promissores ao se obter a redução do número de bactérias após um período de 5 a 10 minutos de tratamento. Entretanto, este método ainda necessita de mais estudos, afim de garantir segurança e viabilidade econômica ao ser empregado na descontaminação de superfícies maiores (PULIGUNDLA et al., 2016; QUERIDO et al., 2019).

Diante das limitações impostas pelos métodos citados anteriormente, surgiu a modificação superficial dos materiais. Essa técnica é muito utilizada para conferir propriedades antibacterianas às superfícies de um determinado material e se diferencia das demais técnicas apresentadas, pois reduz rapidamente a quantidade de microrganismos patogênicos presentes na superfície, evitando a sua propagação dentro do ambiente hospitalar e também pode ser utilizada em ambientes populosos, pois não acarreta danos à saúde (HASAN et al., 2013).

2.2 *Escherichia coli*

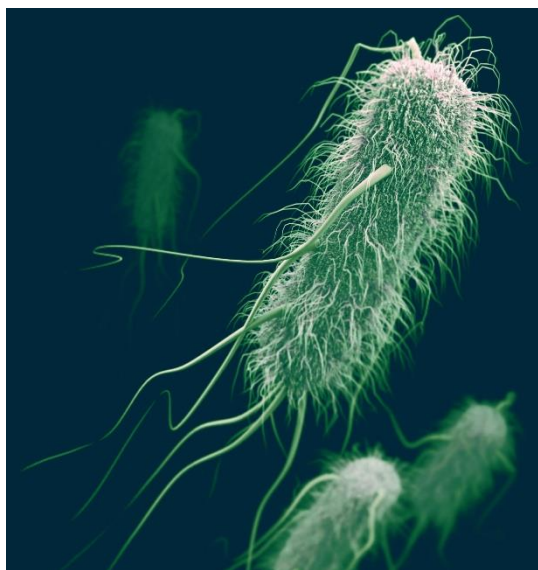
Descoberta por Theodor Escherich, no ano de 1855, *Escherichia coli* (Figura 1), é uma bactéria gram-negativa, anaeróbia facultativa, não formadora de esporos, pertencente à família *Enterobacteriaceae*. Apresenta formato de bastonete, comprimento entre 2 µm e 6 µm e diâmetro variando entre 1,1 a 1,5 µm. Desenvolve-se na faixa de pH entre 5,0 e 9,0, e em temperatura que oscila entre 10 e 46 ° C (FARROKH et al., 2013; BAKER et al., 2016; GUILLOU et al., 2016).

Presente no trato gastrointestinal dos seres humanos e de animais saudáveis, é um microrganismo comensal, benéfico ao hospedeiro, pois sintetiza vitaminas e confere resistência à colonização por estirpes patogênicas. Entretanto, algumas linhagens desenvolveram mecanismos de virulência que as tornaram patogênicas e por isso podem

ocasionar desde doenças intestinais até doenças extra intestinais em indivíduos sadios (GONÇALVES et al., 2002; RUSSO et al., 2003; CALDORIN et al., 2013; GAO et al., 2018; BRISOLA et al., 2019).

Dentre as doenças causadas por *Escherichia coli*, estão doenças entéricas, como diarreia e doenças extra-intestinais, como infecções do trato urinário (FOPPEN et al., 2006). Em relação aos meios de contaminação, ela pode ser transmitida pelo ambiente, por meio da água e de alimentos contaminados e também de um indivíduo para o outro (KHAN et al., 2015).

Figura 1 - *Escherichia coli*.

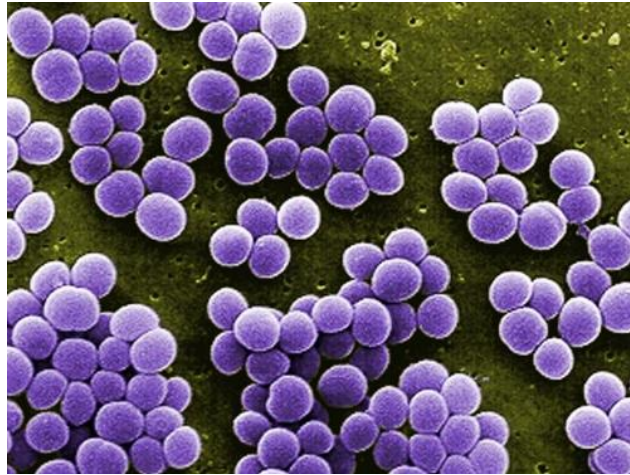


Fonte: Archer (2017).

2.3 *Staphylococcus aureus*

Dentre várias espécies do gênero *Staphylococcus*, *Staphylococcus aureus* (Figura 2), é um dos principais agentes patogênicos responsáveis pelo surto de infecções dentro de unidades hospitalares. Descoberto em 1880, pelo médico escocês Alexandre Ogston, é um patógeno anaeróbio facultativo, de formato esférico e com diâmetro que varia entre 0,5 a 1,5 μm . Pertencente a classe de bactérias gram-positivas, ele pode ser encontrado na pele, mucosas e cavidades nasais dos seres humanos e está presente em cerca de 12 a 30% dos indivíduos saudáveis (RUBAB et al., 2018; BENCARDINO et al., 2019; OMWENGA et al., 2019). Apresenta capacidade de se desenvolver entre os pHs 4 e 10, e a uma faixa de temperatura que varia entre 6 e 48° C, com temperatura ótima de crescimento de 37° C (SANTOS et al., 2007; AHMED et al., 2019).

Figura 2 - *Staphylococcus aureus*.



Fonte: Caar et al. (2017).

É responsável por causar desde simples infecções de pele, como espinhas e furúnculos, até infecções mais graves como meningite e pneumonia (SANTOS et al., 2007; CHANG et al., 2013; KHAN et al., 2015; RUBAB et al., 2018). As infecções ocasionadas pelo *Staphylococcus aureus*, podem gerar sérias complicações e causar o aumento do tempo de internação, dos custos médicos e do índice de mortalidade entre os pacientes que se encontram hospitalizados (TAN et al., 2019).

Pode ser transmitido por meio da pele de indivíduos contaminados ou por meio de superfícies e objetos compartilhados (KHAN et al., 2015).

2.4 Nanotecnologia

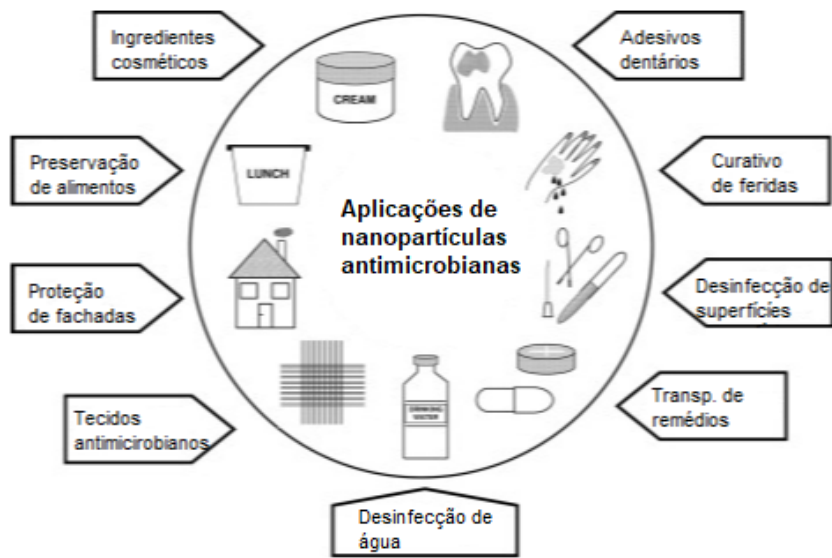
A nanotecnologia é uma área multidisciplinar que abrange os campos de conhecimento em química, física, engenharia, biologia e medicina (LAROUÏ et al., 2013). De forma geral, pode ser definida como uma ciência que manuseia, controla e associa átomos ou moléculas, com o intuito de se produzir materiais, estruturas e compostos em escala nanométrica, e por isso, está diretamente relacionada ao emprego de técnicas de síntese e/ou utilização de nanomateriais em processos e/ou produtos industriais (LAU et al., 2017; ODENIYI et al., 2020).

As nanopartículas integram a classe de nanomateriais e podem ser definidas como um conjunto de átomos com dimensões inferiores a 100 nm, que apresentam exclusivas propriedades ópticas, químicas e mecânicas. Devido à elevada proporção entre superfície e volume e também aos efeitos quânticos, essas propriedades se diferem das que são observadas

em materiais em micro ou macroescala. Além disso, apresentam alta reatividade quando estão em contato com os materiais adjacentes, justamente em função de suas áreas superficiais bastante elevadas (RAI et al., 2009; LAU et al., 2017).

Diante do crescente aumento da resistência bacteriana e da necessidade por novos agentes antimicrobianos, surgiram as nanopartículas com propriedades antibacterianas, muito utilizadas (Figura 3) em diversos setores da indústria (MORITZ et al., 2013).

Figura 3 - Aplicações das nanopartículas.

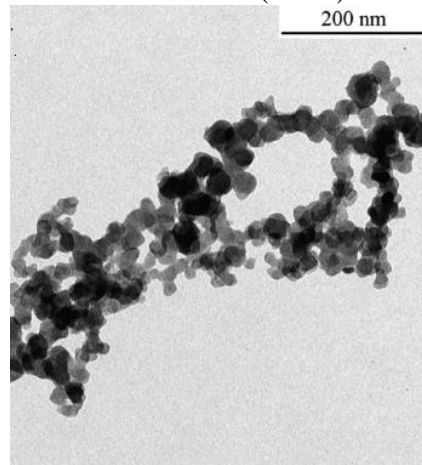


Fonte: Adaptado de Moritz et al. (2013).

2.5 Nanopartículas de prata (AgNPs)

Se destacam as nanopartículas de prata (AgNPs) (Figura 4) devido as suas distintas propriedades físicas e bioquímicas quando comparadas a partículas maiores e também pelo fato da prata (Ag) ser um poderoso agente antibacteriano, capaz de combater diferentes tipos de organismos responsáveis pela ocorrência de doenças infecciosas (BAPAT et al., 2018).

Figura 4 - Micrografia das nanopartículas de prata, obtidas por Microscopia Eletrônica de Transmissão (MET).



Fonte: Melo et al. (2012).

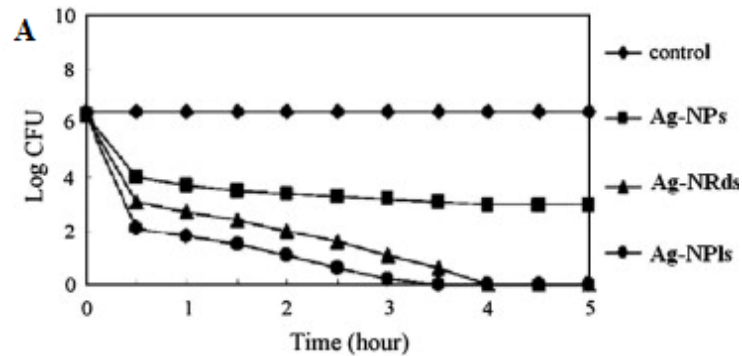
2.5.1 Propriedades físico-químicas das nanopartículas de prata

2.5.1.1 Tamanho e Forma

Uma das principais propriedades relacionadas na determinação da interação entre as AgNPs e as células bacterianas é seu tamanho. Quanto menor for o tamanho da AgNP maior será a razão entre a área superficial e o volume, o que irá possibilitar a ocorrência de uma maior interação entre as AgNPs e a superfície da bactéria. Portanto, diminuir o tamanho das AgNPs, seria uma forma eficaz para se alcançar uma maior eficiência antimicrobiana (ZHENG et al., 2018).

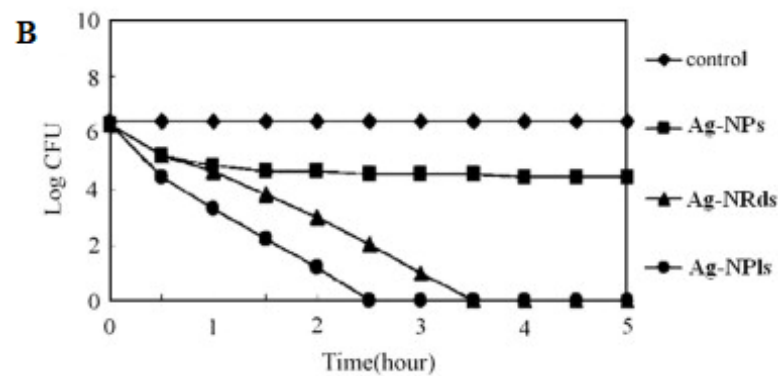
Outra característica relacionada a capacidade de interação entre as AgNPs e a célula bacteriana é a sua forma. Sadeghi et al. (2012) realizaram um estudo comparativo utilizando AgNPs de diferentes formas, revestidas com polivinilpirrolidona (PVP), para correlacionar a forma das AgNPs à sua ação antibacteriana. Neste estudo eles observaram que as nanoplacas (AgNPLs) demonstraram uma melhor ação antibacteriana contra *E.coli* (Figura 5) e *S. aureus* (Figura 6), em comparação aos nanorods (nanobastões) (AgNRds) e as nanopartículas esféricas (AgNPs). Este resultado foi associado ao aumento da área superficial em AgNPLs, se comparadas aos AgNRds e as AgNPs, e através dele, comprovou-se que o formato da NP também influencia em sua atividade antibacteriana.

Figura 5 - Curvas de inibição do crescimento para *Escherichia coli*



Fonte: Sadeghi et al. (2012).

Figura 6 - Curvas de inibição do crescimento para *Staphylococcus Aureus*



Fonte: Sadeghi et al. (2012).

2.5.1.2 Superfície

O revestimento de superfície está relacionado às propriedades físico-químicas das AgNPs, sendo elas: carga superficial, estado de agregação e dissolução e tendência de fazer ligação, podendo influenciar diretamente na sua atividade antibacteriana. A importância do revestimento de superfície é demonstrada pela incapacidade das AgNPs em causar danos à membrana bacteriana, quando não estão revestidas, devido à dificuldade de interação com as células bacterianas. Além disso, os ligantes de superfície também são responsáveis pelos estados de agregação e dissolução das AgNPs, e por isso devem ser fortes, afim de evitar a agregação e garantir a sua ação antibacteriana (ZHENG et al., 2018).

2.5.2 Aplicações das nanopartículas de prata

Com relação as aplicações decorrentes de suas propriedades antibacterianas, as nanopartículas de prata estão sendo utilizadas em sistemas de liberação de fármacos para melhorar a atividade terapêutica de compostos utilizados no tratamento contra o câncer (BENYETTOU et al., 2015); na indústria de cosméticos, para a conservação de preparações farmacêuticas (KOKURA et al., 2010); na confecção de tecidos antimicrobianos (MONTAZER et al., 2012); na indústria alimentícia, para a fabricação de embalagens ativas utilizadas na conservação de alimentos perecíveis (COSTA et al., 2011); na descontaminação da água (PANT et al., 2011); no revestimento de dispositivos médicos, como cateteres (NEETHU et al. 2020) e implantes (GUNPUTH et al., 2018); em forma de curativo, para o tratamento de queimaduras e infecções (RAI et al., 2009) e no preparo de resina odontológicas, para evitar o crescimento de biofilmes bacterianos (SERVINÇ et al., 2010), dentre outras.

2.5.3 Ação antibacteriana

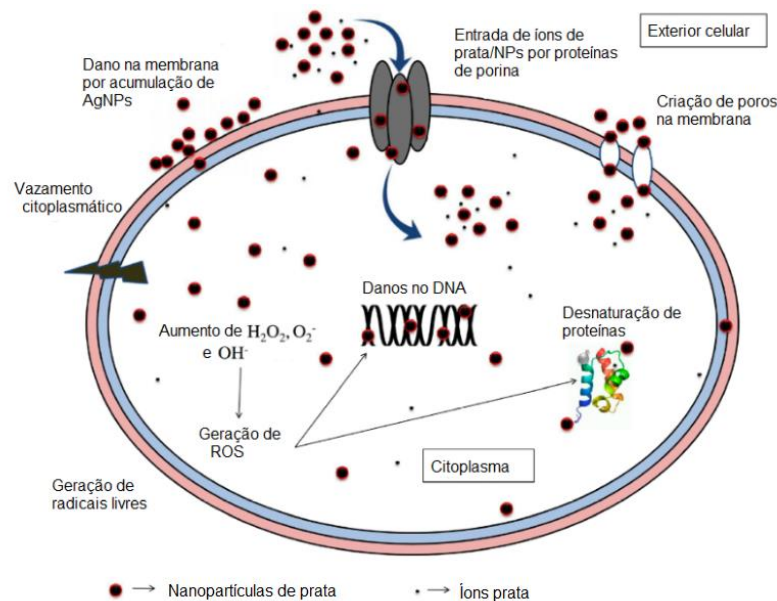
Os agentes antibacterianos podem ser divididos em: agentes bactericidas, que são aqueles responsáveis por matar as bactérias e agentes bacteriostáticos, que tem por finalidade inibir o crescimento bacteriano (EL-ZAHRY et al., 2015). A ação antibacteriana das AgNPs está associada a compostos químicos capazes de matar ou impedir o crescimento das bactérias (KODURO et al., 2018). Por isso, são largamente empregadas na desinfecção de água e alimentos, em produtos de consumo e também no combate a infecções na área de saúde (RAVINDRAN et al., 2013).

A prata em forma de nanopartículas (AgNPs) apresenta inúmeras vantagens como agente antibacteriano, sendo muito utilizada no combate a bactérias resistentes a antibióticos e também a fungos e vírus. Ela possui ótimo desempenho no combate a ação de inúmeros microrganismos e parasitas, mesmo quando utilizada em pequenas doses, sendo que, a inibição total do desenvolvimento de bactérias pode acontecer com apenas alguns mg/ml. Além do baixo custo e do fácil acesso, sabe-se que em pequenas doses a prata apresenta baixa toxicidade à saúde dos seres humanos, o que possibilita a sua utilização em uma grande variedade de materiais (RADZIG et al., 2013; OUAY et al., 2015).

A excelente propriedade antimicrobiana das nanopartículas de prata (AgNPs) está associada à sua extensa área superficial. Em relação ao seu mecanismo de atuação, sabe-se que em contato com as bactérias, elas se ligam a membrana e permeiam com facilidade para seu interior (RAI et al., 2009). Em seguida, os íons Ag^+ , obtidos por meio da dissociação

oxidativa das AgNPs, se ligam aos grupos de proteínas bacterianas, ocasionando danos ao DNA, impedindo a sua replicação e causando a morte da célula. A partir das AgNPs também são geradas espécies reativas de oxigênio (ROS), que podem ocasionar a perturbação das vias bioquímicas da bactéria. A geração de grande quantidade de ROS nas células bacterianas pode ocasionar elevado estresse oxidativo, provocando o mau funcionamento das proteínas presentes em seu interior. O aumento do estresse oxidativo também é o responsável pela inibição do crescimento celular bacteriano. Portanto, o mecanismo antibacteriano das AgNPs, pode ser dividido em duas etapas: a primeira consiste no processo de síntese das nanopartículas (NPs) adicionando-se compostos orgânicos ativos em sua superfície, para assegurar que elas apresentem atividade antibacteriana, já a segunda etapa, corresponde ao processo de ancoragem e penetração das AgNPs na membrana da célula bacteriana, visando inibir o seu desenvolvimento e ocasionar a sua morte (KODURO et al., 2018). O esquema abaixo representa o mecanismo de ação antibacteriana da AgNPs (Figura 7).

Figura 7 - Mecanismo de ação antibacteriana das AgNPs.



Fonte: Adaptado de Liao et al. (2019).

2.5.4 Síntese de AgNPs

A redução química tem sido o método mais empregado para a realização da síntese de grandes quantidades de AgNPs em curtos períodos de tempo. Neste método, NPs com diversas formas, são facilmente produzidas devido à realização do controle das condições da

reação (ZHANG et al., 2007). Entretanto, obter suspensões coloidais estáveis por meio deste processo é uma das maiores dificuldades, visto que as NPs metálicas apresentam elevada energia superficial, o que favorece a sua rápida agregação (MELO et al., 2012). Por isso, o ponto crucial para a aplicação bem-sucedida deste método, seria evitar a aglomeração das NPs ao longo do processo de síntese e preservação (ZHANG et al., 2007). Com o intuito de solucionar este problema, o preparo destes sistemas coloidais é normalmente realizado na presença de agentes conhecidos como estabilizadores ou protetores, que se aderem as superfícies das NPs, produzindo uma camada auto-organizada, que inibe a agregação (MELO et al., 2012).

Os polímeros são os agentes estabilizadores mais empregados durante a síntese de NPs, dentre eles, destacam-se: o polivinilpirrolidona (PVP), o polietilenoglicol (PEG) e o polimetilmetacrilato (PMMA) (ABOU EL-NOUR et al., 2010). A eficiência dos polímeros está relacionada ao fato de possuírem, em sua constituição, sítios básicos de Lewis, com elevada afinidade pelas NPs e também estruturas orgânicas razoavelmente grandes que geram um bloqueio estérico, impedindo a ocorrência de interações entre elas (MELO et al., 2012).

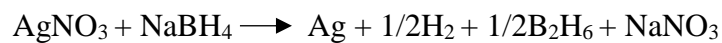
A determinação do agente estabilizador é um dos principais fatores a ser considerado para a realização da síntese de AgNPs, pois devido ao processo de desenvolvimento dos nanocristalitos controlado pelos agentes protetores, pode-se definir o tamanho e o formato das NPs a serem produzidas. No entanto, a grande maioria dos reagentes empregados são considerados altamente tóxicos, podendo gerar riscos ao meio ambiente e à saúde humana. Por isso, compostos como açúcares redutores e citrato de sódio também são geralmente empregados como agentes redutores. Embora o poder de redução destes compostos seja considerado baixo e a reação aconteça em temperaturas mais elevadas, consumindo um maior intervalo de tempo, estes agentes são vantajosos por apresentarem baixo custo, serem leves e não tóxicos (ZHANG et al., 2007).

A estabilidade da solução também pode ser mantida pela presença de íons borohidreto de sódio, que atuam como agente redutor e protetor, se aderindo às faces das NPs, causando repulsão eletrostática entre elas, o que evita a sua agregação. Entretanto, para se obter esta estabilidade, é necessário realizar a adição de grandes quantidades dos agentes redutores durante a síntese das NPs (MELO et al., 2012).

2.5.5 Processo de redução por borohidreto de sódio

Para a redução por borohidreto de sódio utilizam-se como reagentes o nitrato de prata e o borohidreto de sódio em pó. Antes de se iniciar a síntese das AgNPs deve-se realizar a limpeza da vidraria, pois qualquer impureza presente pode ser um potencial sítio de nucleação, ocasionando a agregação das AgNPs, o que conseqüentemente causaria a diminuição de sua atividade antibacteriana (MELO et al., 2012).

O processo de redução ocorre com a adição gota a gota de nitrato de prata sobre a solução de borohidreto de sódio, em agitação constante. A redução por borohidreto de sódio pode ser descrita pela equação a seguir:

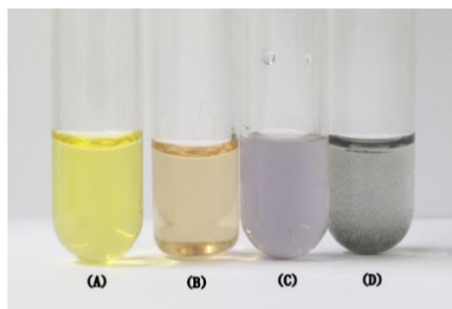


Para a obtenção de uma solução estável é necessário monitorar as condições necessárias para a ocorrência da reação, dentre elas, o tempo de agitação da solução e também a quantidade de reagentes utilizados. Normalmente a concentração de borohidreto de sódio utilizada deve ser o dobro da concentração de nitrato de prata.

É importante ressaltar que, por ser um forte agente redutor, é necessário que o borohidreto seja resfriado através de um banho de gelo antes da adição do nitrato de prata.

Melo et al. (2012) realizaram o teste de estabilidade das nanopartículas de prata, a fim de acompanhar o seu processo de agregação. As soluções com seus respectivos estágios de agregação podem ser observadas na Figura 8 (a), (b), (c) e (d).

Figura 8 - Solução de AgNPs em diferentes estados de agregação.



Fonte: Melo et al. (2012).

O tubo A contém a solução padrão de nanopartículas de prata. Esta solução não foi modificada para servir como comparação das alterações ocorridas nos tubos B, C e D.

Ao tubo B foram adicionadas 5 gotas de uma solução 1,5 mol/L de NaCl, o que contribuiu para a agregação das nanopartículas. Esta situação ocorreu devido ao aumento da força iônica do meio, ocasionada pela adição do NaCl.

Ao tubo C foram adicionadas 5 gotas de uma solução 0,3% de polivinilpirrolidona (PVP) ou poliálcoolvinílico (PVA), que são polímeros estabilizadores. A adsorção de agentes estabilizadores à superfície das NPs criou uma camada protetora que impediu ou até mesmo diminuiu o seu processo de agregação. Em seguida adicionou-se também 5 gotas de solução de NaCl (1,5 mol/L). Entretanto a suspensão permaneceu estável. Para que o processo de agregação acontecesse foi necessário realizar a adição de uma grande quantidade de NaCl, aproximadamente o dobro da que foi utilizada no tubo B.

Ao tubo D adicionou-se uma pequena quantidade de AgNO_3 , e logo em seguida, foi possível observar a agregação das NPs. A adição de AgNO_3 à solução gerou um aumento da concentração de íons Ag^+ . Estes íons reagiram com os íons borohidreto que estavam adsorvidos na superfície das NPs, o que provocou a desestabilização da solução e a agregação das NPs.

A coloração amarelada da solução padrão obtida após o processo de redução se deve a absorção da radiação eletromagnética em sintonia com os plásmons de superfície. Ocorrendo o aumento do tamanho das AgNPs a coloração da solução se transformou em laranja, e em seguida, violeta, até atingir a coloração acinzentada, típica da prata em estado macroscópico, demonstrando que ocorreu a agregação das NPs (MELO et al., 2012).

2.6 Painéis de madeira

A crescente geração de resíduos relacionada ao processamento da madeira resultou na busca por formas de reaproveitamento e agregação destes resíduos em novos produtos, afim de se reduzir o impacto ambiental. Dentre estas formas destaca-se a produção de painéis de madeira reconstituída, materiais com boas propriedades físicas, maior resistência a alterações dimensionais e elevada homogeneidade estrutural, capazes de reduzir as características negativas presentes na madeira maciça, como por exemplo, a presença de nós e originar produtos de boa qualidade (DEMIRKIR et al., 2013; MAHRDT et al., 2017, HASELI et al., 2018; ARAÚJO et al., 2019).

Esses painéis são compostos por material lignocelulósico e adesivos sintéticos, comprimidos sob alta temperatura e pressão. O processo de prensagem apresenta grande relevância na fabricação dos painéis de madeira reconstituída, pois é ao longo deste processo

que serão desenvolvidas a estrutura e a qualidade do produto acabado. Os fatores de prensagem dos painéis de madeira que definem sua qualidade e o seu custo de produção, são a temperatura da prensa, o tempo de prensagem e a pressão utilizada. O tempo de compressão do painel deve ser o menor possível com o intuito de melhorar a eficiência do processo, mas extenso o suficiente para ocorrer o endurecimento do adesivo (YE et al., 2007; BEKHTA et al., 2018).

Além disso, a escolha do adesivo a ser utilizado na produção dos painéis é outro fator de suma importância para uma fabricação mais econômica e para um bom desempenho estrutural. Devido a ótima aderência lignocelulósica, a boa coesão intrínseca, ao fácil manuseio e aplicação, a ausência de cor no produto final e ao menor custo, a ureia-formaldeído é o adesivo mais utilizado para a fabricação de painéis de madeira. Em alguns casos utiliza-se também o fenol-formaldeído, que é o segundo tipo de adesivo mais empregado na produção dos painéis (HE et al., 2012; MAHRDT et al., 2017).

2.7 Painéis de fibras de madeira de média densidade (MDF)

Os painéis de fibras de madeira de média densidade (Figura 9) também conhecidos como MDF, são materiais compósitos, constituídos por fibras de madeira comprimidas com adesivos sintéticos ou algum outro ligante apropriado (ALI et al., 2014). Eles se originaram durante a década de 60, mas só começaram a ser produzidos comercialmente no início da década de 70 (IWAKIRI, 2005).

Figura 9 - Painéis MDF sem revestimento e revestidos com laca



Fonte: Duraték (2019)

Estes painéis são utilizados em uma variedade de aplicações, dentre elas a produção de pisos laminados e revestimentos para carpetes. Entretanto, a sua maior aplicação está

relacionada a fabricação de móveis, principalmente por ser de fácil usinagem, o que o torna capaz de dar origem a formas complexas. Esta gama de aplicações, está relacionada ao fato de o MDF ser livre de nós e não conter anéis, tornando este material mais uniforme e estável quando comparado a madeira maciça (HU et al., 2015; PERISSE et al., 2017).

Os painéis MDF apresentam uma superfície lisa, plana e uniforme, que os tornam um excelente material para aplicações que necessitam de um bom acabamento, como por exemplo pinturas diretas e laminados finos. Em decorrência de suas inúmeras vantagens, como padrões uniformes, lisos e densos, eles têm sido um dos materiais compósitos mais utilizados nos dias atuais. As suas propriedades o tornam um ótimo produto para aplicações que necessitem de uma performance consistente, boa estabilidade e bom acabamento (LI et al., 2013; PRAKASH et al., 2015). Em relação a sua produção, eles são confeccionados com uma espessura que oscila de 3 a 60 mm e densidades variando de 0,5 a 0,8 g/cm³ (IWAKIRI, 2005; SILVA et al., 2007).

2.7.1 Processo de fabricação de painéis MDF

Para a fabricação dos painéis MDF (Figura 10) inicialmente as toras de madeira são descascadas e logo depois reduzidas a cavacos que são aquecidos de 2 a 5 minutos, em um digestor pressurizado, a uma temperatura que oscila entre 170 a 180 °C. Logo depois, as aparas de madeira são classificadas, lavadas e enviadas para o desfibrador, onde serão trituradas por alguns minutos e transformadas em fibras de dimensões adequadas (IWAKIRI, 2005; LANZUTTI et al., 2017).

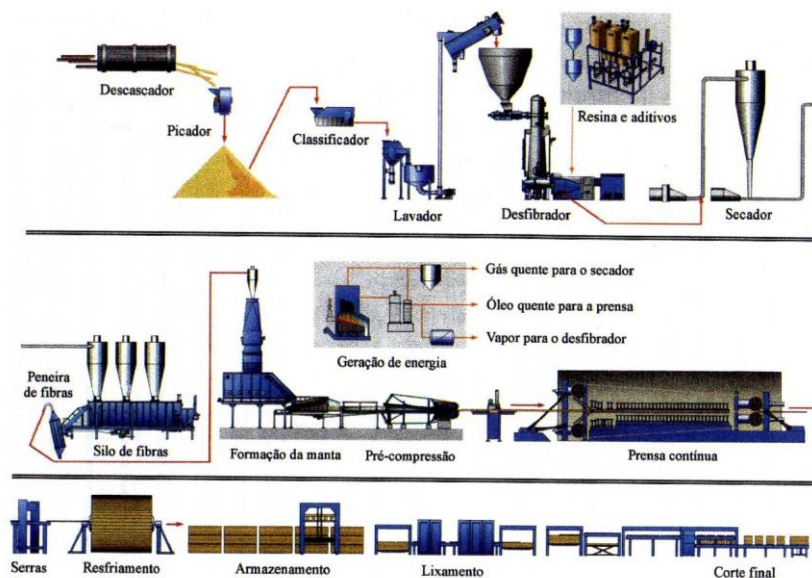
Existem inúmeros processos e equipamentos utilizados para realizar o desfibramento da madeira, entretanto o mais usual é o termomecânico. Este método consiste em um tratamento inicial da madeira, em que ocorre a aplicação de calor, visando diminuir o gasto de energia mecânica e aumentar a qualidade das fibras. Além disso, este procedimento amolece a madeira, melhora a qualidade das fibras e produz um painel de maior qualidade e resistência (IWAKIRI, 2005).

Após o desfibramento da madeira, as fibras são direcionadas para um tubo composto por um sistema de pulverização, onde elas serão misturas ao adesivo, que, neste caso, seria a ureia-formaldeído e em seguida, esta mistura é levada para um secador pneumático, com o intuito de diminuir a sua umidade e secar o material. A umidade é controlada por meio da temperatura e do volume de material que foi colocado no secador e o tempo de secagem é

relativamente pequeno (alguns segundos) (IWAKIRI, 2005; HE et al., 2012; LANZUTTI et al., 2017).

Após a secagem, a mistura composta por fibras de madeira e adesivo é submetida a uma pré-prensagem, para a formação do colchão. Durante este processo ocorre também a separação das fibras que se encontram aglomeradas, para assegurar uma distribuição uniforme. Em seguida, o painel é prensado e transformado em chapas de fibras de média densidade (MDF), através da utilização de uma máquina de prensagem a quente. Após a prensagem e a formação do painel, o MDF é cortado, resfriado e em seguida armazenado em pilhas por um período de tempo suficiente, para que a sua temperatura se estabilize. Em seguida, os painéis são lixados em ambas as faces, com o intuito de se obter superfícies mais lisas que contribuam para um bom acabamento final. Logo depois, os painéis são esquadrejados, para adequar suas medidas ao estipulado pelos padrões comerciais. Por fim empilhados e embalados, conforme a sua classificação (IWAKIRI., 2005; HE et al., 2012).

Figura 10 - Processo de produção do MDF



Fonte: Portal da madeira (2010).

O MDF pode ser vendido de forma natural, sem nenhum tipo de revestimento ou com revestimento superficial. Entretanto, para melhorar a sua aparência e estender sua vida útil, preservando-os contra a ação de alguns fatores externos como a umidade do ar e a temperatura, costuma-se utilizar os revestimentos de laca. A laca confere à superfície do material um acabamento sofisticado, com aspecto liso e uniforme, sendo muito utilizada sobre

móveis fabricados em MDF. Entre as opções disponíveis no mercado estão a laca a base de poliuretano, também conhecida como PU, e a laca a base de nitrocelulose (BEKHTA et al., 2018; MONTEIRO, 2018; SILVA, 2019).

Por apresentar maior resistência e melhor durabilidade, a laca a base de poliuretano é muito utilizada no acabamento de móveis planejados. Conforme o brilho, ela pode ser dividida em fosca e brilhante. A laca fosca apresenta toque acetinado e ausência de brilho, sendo indicada para o uso em móveis de maior utilização como, por exemplo, tampo de mesas e escrivaninhas. Em contrapartida, a laca com acabamento brilhante, apresenta baixa resistência ao risco, se comparada ao acabamento fosco e por isso, é mais indicada para móveis decorativos, como, estantes e aparadores (MONTEIRO et al., 2018).

No entanto, antes da aplicação de qualquer revestimento é necessário preparar a superfície do painel. Para isso são realizados o aplainamento e o lixamento desta superfície, com o intuito de retirar as imperfeições adquiridas ao longo do processo de fabricação do painel como, por exemplo, riscos, fibras rasgadas ou levantadas, marcas de faca, dentre outras. Este procedimento busca obter uma superfície lisa, homogênea e livre de imperfeições (BEKHTA et al., 2018).

2.8 Resina de poliuretano

Os poliuretanos são polímeros muito versáteis no setor industrial, podendo ser utilizados para a fabricação de inúmeros componentes, dentre eles: revestimentos, espumas, adesivos e elastômeros. Eles apresentam em sua constituição isocianatos e polióis. Entretanto, estes dois componentes são materiais não renováveis, geralmente derivados de recursos petrolíferos, e por isso a comunidade científica tem desenvolvido alguns estudos em busca de matérias-primas de fontes renováveis que sejam capazes de substituir estes componentes, em especial os polióis, durante a produção de poliuretano (IONESCU et al., 2016; FENG et al., 2019).

Os poliuretanos à base de óleo vegetal constituem uma classe de materiais muito promissora, devido à maior estabilidade termoxidativa, a hidrofobicidade e ao menor custo. O óleo de mamona é um dos polióis naturais mais importantes na indústria de polímeros, especialmente para a produção de poliuretanos. Ele é obtido a partir da extração da semente da planta chamada *Ricinus communis* e conhecida popularmente como mamona (Figura 11) ou mamoneira (OGUNNIYI et al., 2006; PETROVIC et al., 2007; IONESCU et al., 2016).

Figura 11 - Mamoneira.



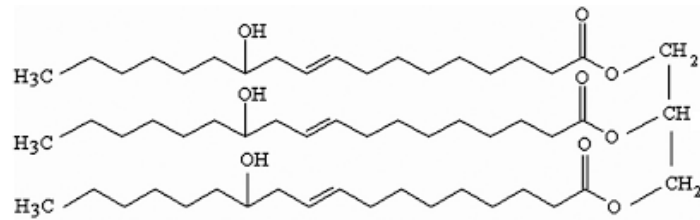
Fonte: Milani (2019).

A mamona foi importada da Índia, no século 16, para se obter um óleo de menor custo, em substituição ao óleo de baleia, muito utilizado naquela época, como combustível para lamparinas. Desde então, o Brasil se destacou como um grande produtor de mamona, em decorrência de sua fácil adaptação as condições climáticas do país. O seu cultivo ocorre principalmente na região nordeste, devido a sua boa resistência à longos períodos sem chuvas (ROCHA et al., 2013).

O óleo de mamona apresenta um forte odor e coloração amarelada. Na produção de poliuretanos, ele tem sido utilizado em várias aplicações, como: espumas poliméricas, revestimentos, tintas e adesivos (ROCHA et al., 2013).

Quando comparado aos demais óleos vegetais, o óleo de mamona possui propriedades únicas, pois apresenta em sua constituição o triglicerídeo do ácido ricinoléico, um ácido graxo hidroxilado, pouco frequente nos demais óleos vegetais. Ele está presente em cerca de 84% a 91% de sua composição. A figura 12 apresenta a fórmula estrutural do triglicerídeo do ácido ricinoléico. Ele possui em sua estrutura química três grupos funcionais altamente reativos, sendo eles: o grupo carbonila, localizado no primeiro carbono, a insaturação, presente no nono carbono e o grupo hidroxila, localizado no décimo segundo carbono. Devido à presença destes grupos funcionais, o óleo de mamona pode ser submetido a uma série de processos químicos, dos quais pode se obter uma ampla variedade de produtos (CANGEMI et al., 2010).

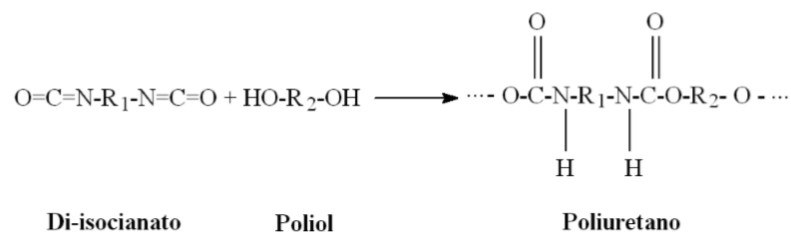
Figura 12 - Fórmula estrutural do triglicerídeo do ácido ricinoléico.



Fonte: Cangemi et al. (2010).

O poliuretano (Figura 13) é obtido por meio da reação de poliadição de um isocianato com um poliálcool. A reação química do poliuretano acontece em duas fases. A primeira fase é referente a sua mudança de estado físico, de líquido para sólido, neste momento o produto passa a exercer um comportamento termoplástico. Já na segunda fase o grupo químico isocianato do produto reage com o grupo hidroxílico (OH) do substrato e também com a umidade do ar, formando uma estrutura reticular. Neste momento o produto apresenta alta resistência ao calor, ao frio e também a solventes (GARCIA et al., 2011).

Figura 13 - Reação para formação do poliuretano.



Fonte: Cangemi et al. (2010).

Com relação as suas características, o poliuretano apresenta elevada resistência mecânica em locais com alta umidade e temperatura. Além disso, não prejudica o meio ambiente, por ser livre de solventes, necessita de um baixo consumo de água e atende as normas internacionais de resistência e qualidade (CUNHA et al., 2011).

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio da revisão apresentada neste capítulo, obteve-se informações relevantes para o desenvolvimento deste trabalho e demonstrou-se que a associação entre nanopartículas de prata e painéis de madeira, para a confecção de móveis hospitalares, é algo de grande relevância dentro do contexto médico-hospitalar. É importante ressaltar que não foi encontrado nada na literatura relacionado a revestimentos com propriedades antibacterianas para aplicação em móveis de uso hospitalar. Portanto, este estudo é promissor, visto que, a contaminação superficial contribui diretamente para a disseminação de microrganismos patogênicos no ambiente hospitalar, o que pode levar ao aumento do número de infecções entre os pacientes hospitalizados e consequentemente a elevação do número de mortes associadas a estas infecções.

REFERÊNCIAS

- AHMED, A. A. H.; MAHARIK, N. M. S.; VALERO, A.; KAMAL, S. M. Incidence of enterotoxigenic *Staphylococcus aureus* in milk and Egyptian artisanal dairy products. **Food Control**, v. 104, p. 20-27, 2019.
- ALI, I.; JAYARAMAN, K.; BHATTACHARYYA, D. Effects of resin and moisture content on the properties of medium density fibreboards made from kenaf bast fibres. **Industrial Crops and Products**, v. 52, p. 191–198, 2014.
- ARAÚJO, C.K.C.; CAMPOS, C. I. de; CAMARGO, S. K. de C. A.; CAMARGO, B. S. Caracterização mecânica de painéis particulados de média densidade produzidos a partir de resíduos de madeira. **Revista Gestão Industrial**, v. 15, n.1, p. 197-211, 2019.
- ARCHER, J. **Study challenges long-held evolutionary theory**. 2017. Disponível em <http://www.sci-news.com/biology/evolutionary-theory-e-coli-long-term-evolution-experiment-05354.html>. Acessado em 19 de junho de 2018 às 19:44.
- ATKI, Y. E.; AOUAM, I.; KAMARI, F.E.; TAROQ, A.; LYOUSSE, B.; OUMOKHTAR, B.; ABDELLAOUI, A. Phytochemistry, antioxidant and antibacterial activities of two Moroccan *Teucrium polium* L. subspecies: Preventive approach against nosocomial infections. **Arabian Journal of Chemistry**, disponível online, 2019.
- BAKER, C. A.; RUBINELLI, P. M.; PARK, S. H.; CARBONERO, F.; RICKE, S. C. Shiga toxin-producing *Escherichia coli* in food: Incidence, ecology, and detection strategies. **Food Control**, v. 59, p. 407-419, 2016.
- BAPAT, R. A.; CHAUBAL, T. V.; JOSHI, C. P.; BAPAT, P. R.; CHOUDHURY, H.; PANDEY, M.; GORAIN, B.; KESHARWANI, P. An overview of application of silver nanoparticles for biomaterials in dentistry. **Materials Science and Engineering: C**, 2018.
- BEKHTA, P.; KRYSIOFIK, T.; PROSZYK, S.; LIS, B. Surface gloss of lacquered medium density fibreboard panels veneered with thermally compressed birch wood. **Progress in Organic Coatings**, v. 117, p. 10–19, 2018.
- BENCARDINO, D.; VITALI, L. A. *Staphylococcus aureus* carriage among food handlers in a pasta company: pattern of virulence and resistance to linezolid. **Food Control**, v. 96, p. 351-356, 2019.
- BENYETTOU, F.; REZGUI, R.; RAVAUX, F.; JABER, T.; BLUMER, K.; JOUIAD, M.; MOTTE, L.; OLSEN, J.-C.; PLATAS-IGLESIAS, C.; MAGZOU, M.; TRABOLSI, A. Synthesis of silver nanoparticles for the dual delivery of doxorubicin and alendronate to cancer cells. **Journal of Materials Chemistry B**, v. 3, n.36, p. 7237-7245, 2015.
- BRISOLA, M. C.; CRECENCIO, R. B.; BITNER, D. S.; FRIGO, A. RAMPAZZO, L. STEFANI, L. M. FARIA, G. A. *Escherichia coli* used as a biomarker of antimicrobial resistance in pig farms of Southern Brazil. **Science of the Total Environment**, v. 647, p. 362-368, 2019.

BRUHWASSER, C.; HEINRICH, H.; LASS-FLORL, C.; MAYR, A. Self-disinfecting surfaces and activity against *Staphylococcus aureus* ATCC 6538 under real-life conditions. **Journal of Hospital Infection**, v. 97, n.2, p. 196-199, 2017.

CAAR, J. H.; WONG, C. ***S aureus* infection associated with higher mortality in RA**. 2017. Disponível em: <https://www.infectiousdiseaseadvisor.com/home/topics/nosocomial-infections/s-aureus-infection-associated-with-higher-mortality-in-ra/> . Acessado em 19 de junho de 2019 às 19:14.

CALDORIN, M.; ALMEIDA, I. A. Z. C. de; PERESI, J. T. M.; ALVES, E. C. Ocorrência de *Escherichia coli* produtora de toxina Shiga (STEC) no Brasil e sua importância em saúde pública. **BEPA**, v. 10, p. 4-20, 2013.

CANGEMI, J. M.; SANTOS, A. M. dos; NETO, S. C. A Revolução Verde da Mamona. **Química nova na escola**, v. 32, n. 1, p. 3-8, 2010.

CHANG, Y.C.; YANG, C.Y.; SUN, R.L.; CHENG, Y.F.; KAO,W.C.;YANG,P.C. Rapid single cell detection of *Staphylococcus aureus* by aptamer-conjugated gold nanoparticles. **Scientific Reports**, v. 3, p. 1-7, 2013.

COSTA, C.; CONTE, A.; BUONOCORE, G. G.; DEL NOBILE, M. A. Antimicrobial silver-montmorillonite nanoparticles to prolong the shelf life of fresh fruit salad. **International Journal of Food Microbiology**, v. 148, n. 3, 164-167, 2011.

CUNHA, A.; MATOS, J. Avaliação da rigidez de vigas estruturais de madeira laminada colada unidas por adesivo poliuretano. **Cerne**, v. 17, n. 4, p. 593-600, 2011.

DEMIRKIR, C.; COLAK, S.; AYDIN, I. Some technological properties of wood-styrofoam composite panels. **Composites Part B: Engineering**, v. 55, p. 513–517, 2013.

DOLL, M.; STEVENS, M.; BEARMAN, G. Environmental cleaning and disinfection of patient areas. **International Journal of Infectious Diseases**, v. 67, p. 52-57, 2018.

DUNNE, S. S.; AHONEN, M.; MODIC, M.; CRIJNS, F. R. L.; KEINÄNEN-TOIVOLA, M.M.; MEINKE, R.; KEEVIL, C. W.; GRAY, J.; O'CONNELL, N. H.; DUNNE, C. P. Specialized cleaning associated with antimicrobial coatings for reduction of hospital-acquired infection: opinion of the COST Action Network AMiCI (CA15114). **Journal of Hospital Infection**, v. 99, n. 3, p. 250-255, 2018.

DURATEX. Painéis MDF. Disponível em: <<https://www.duratexmadeira.com.br/category/paineis/paineis-mdf/>> Acessado em 24 de junho de 2019 às 05:52

EDWARDSON, S.; CAIRNS, C. Nosocomial Infections in the ICU. **Anaesthesia and Intensive Care Medicine**, v. 20, n. 1, p. 14-18, 2019.

EL-ZAHRY, M. R.; MAHMOUD, A.; REFAAT, I. H.; MOHAMED, H. A.; BOHLMANN, H.; LENDL, B. Antibacterial effect of various shapes of silver nanoparticles monitored by SERS. **Talanta**, v. 138, p. 183–189, 2015.

FARROKH, C.; JORDAN, K.; AUVRAY, F.; GLASS, K.; OPPEGAARD, H.; RAYNAUD, S.; THEVENOT, D.; CONDRON, R.; DE REU, K.; GOVARIS, A.; HEGGUM, K.; HEYNDRICKX, M.; HUMMERJOHANN, J.; LINDSAY, D.; MISZCZYCHA, S.; MOUSSEGT, S.; VERSTRAETE, K.; CERF, O. Review of Shiga-toxin-producing *Escherichia coli* (STEC) and their significance in dairy production. **International Journal of Food Microbiology**, v. 162, n. 2, p. 190-212, 2013.

FENG, Y.; MAN, L.; HU, Y.; CHEN, L.; XIE, B.; ZHANG, C.; YUAN, T.; YANG, Z. One-pot synthesis of polyurethane-imides with tailored performance from castor and tung oil. **Progress in Organic Coatings**, v. 132, p. 62-69, 2019.

FOPPEN, J. W. A.; SCHIJVEN, J. F. Evaluation of data from the literature on the transport and survival of *Escherichia coli* and thermotolerant coliforms in aquifers under saturated conditions. **Water Research**, v. 40, n. 3, p. 401-426, 2006.

GARCIA, A.; RECH, M.; Adesivos para a madeira e móveis. **Revista da Madeira**, n. 128, 2011.

GAO, F.; WANG, P.; YANG, H.; MIAO, Q.; MA, L.; LU, G. Recent developments of quinolone-based derivatives and their activities against *Escherichia coli*. **European Journal of Medicinal Chemistry**, v. 157, p. 1223 – 1248, 2018.

GONÇALVES, E. S.; MARQUES, M. L. M.; LUCCA, P. S. R. A segurança alimentar e os consumidores: um breve estudo sobre a *Escherichia coli*. **Revista CESUMAR – Ciências humanas e sociais aplicadas**, v. 7, n. 1, p. 7-28, 2002.

GUNPUTH, U. F.; LE, H.; HANDY, R. D.; TREDWIN, C. Anodised TiO₂ nanotubes as a scaffold for antibacterial silver nanoparticles on titanium implants. **Materials Science & Engineering C**, v. 91, p. 638 – 644, 2018.

GUO, L.; YUAN, W.; LU, Z.; LI, C. M. Polymer/nanosilver composite coatings for antibacterial applications. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 439, p. 69-83, 2013.

GUILLOU, M. L. J. *Escherichia coli* revisité, ami ou ennemi? **Revue Francophone des Laboratoires**, v. 486, p. 27 – 33, 2016.

HAJIPOUR, M. J.; FROMM, K. Min.; AKBAR ASHKARRAN, A.; JIMENEZ DE ABERASTURI, D.; LARRAMENDI, I. R. DE; ROJO, T.; SERPOOSHAN, V.; PARAK, W. J.; MAHMOUDI, M. Antibacterial properties of nanoparticles. **Trends in Biotechnology**, v. 30, n. 10, p. 499-511, 2012.

HAN, J. H.; SULLIVAN, N.; LEAS, B. F.; PEGUES, D. A.; KACZMAREK, J. L.; UMSCHIED, C. A. Cleaning hospital room surfaces to prevent health care-associated infections: A technical brief. **Annals of Internal Medicine**, v. 163, n.8, p. 598-607, 2015.

HASAN, J.; CRAWFORD, R. J.; IVANOVA, E. P. Antibacterial surfaces: the quest for a new generation of biomaterials. **Trends in Biotechnology**, v. 31, n. 5, p. 295-304, 2013.

HASELI, M.; LAYEGHI, M.; ZAREA HOSSEINABADI, H. Characterization of blockboard and battenboard sandwich panels from date palm waste trunks. **Measurement: Journal of the International Measurement Confederation**, v. 124, p. 329–337, 2018.

HEKMATI, M.; HASANIRAD, S.; KHALEDI, A.; ESMAEILI, D. Green synthesis of silver nanoparticles using extracts of *Allium rotundum* L., *Falcaria vulgaris* Bernh, and *Ferulago angulata* Boiss, and their antimicrobial effects in vitro. **Gene Reports**, v. 19, p. 100589, 2020.

HE, Z.; ZHANG, Y.; WEI, W. Formaldehyde and VOC emissions at different manufacturing stages of wood-based panels. **Building and Environment**, v. 47, n. 1, p. 197–204, 2012.

HU, J. PENG; GUO, M. HUI. Influence of ammonium lignosulfonate on the mechanical and dimensional properties of wood fiber biocomposites reinforced with polylactic acid. **Industrial Crops and Products**, v. 78, p. 48–57, 2015.

IONESCU, M.; RADOJCIC, D.; WAN, X.; SHRESTHA, M. L.; PETROVIC, Z. S.; UPSHAW, T. A. Highly functional polyols from castor oil for rigid polyurethanes. **European Polymer Journal**, v. 84, p. 736-749, 2016.

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba. FUPEF, 2005, 247 p.

KAUR, R.; LIU, S. Antibacterial surface design – Contact Kill. **Progress in Surface Science**, v.91, n.3, p. 136-153, 2016.

KHAN, H. A.; AHMAD, A.; MEHBOOB, R. Nosocomial infections and their control strategies. **Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine**, v. 5, n. 7, p. 509-514, 2015.

KHAN, H. A.; BAIG, F. K.; MEHBOOB, R. Nosocomial infections: Epidemiology, prevention, control and surveillance. **Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine**, v. 7, n. 5, p. 478-482, 2017.

KOTANEN, S.; LAAKSONEN, T. SARLIN, E. Feasibility of polyamines and cyclic carbonate terminated prepolymers in polyurethane/polyhydroxyurethane synthesis. **Materials Today Communications**, v. 23, p. 100863, 2020.

KODURU, J. R.; KAILASA, S. K.; BHAMORE, J. R.; KIM, K. H.; DUTTA, T.; VELLINGIRI, K. Phytochemical-assisted synthetic approaches for silver nanoparticles antimicrobial applications: A review. **Advances in Colloid and Interface Science**, 2018.

KOKURA, S.; HANDA, O.; TAKAGI, T.; ISHIKAWA, T.; NAITO, Y.; YOSHIKAWA, T. Silver nanoparticles as a safe preservative for use in cosmetics. **Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine**, v. 6, n. 4, 570-574, 2010.

LANZUTTI, A.; ANDREATTA, F.; RAFFAELLI, A.; MAGNAN, M.; ZULIANI, L.; FANTONI, M.; FEDRIZZI, L. Failure analysis of a continuous press component in MDF production plant. **Engineering Failure Analysis**, v. 82, p. 493–500, 2017.

LAROUI, H.; RAKHYA, P.; XIAO, B.; VIENNOIS, E.; MERLIN, D. Nanotechnology in diagnostics and therapeutics for gastrointestinal disorders. **Digestive and Liver Disease**, v. 45, n. 12, p. 995-1002, 2013.

LAU, H. C.; YU, M.; NGUYEN, Q. P. Nanotechnology for oilfield applications: Challenges and impact. **Journal of Petroleum Science and Engineering**, v. 157, p. 1160–1169, 2017.

LI, K. Y.; FLEISCHMANN, C. M.; SPEARPOINT, M. J. Determining thermal physical properties of pyrolyzing New Zealand medium density fibreboard (MDF). **Chemical Engineering Science**, v. 95, p. 211–220, 2013.

LIAO, C.; LI, Y.; TJONG, S. C. Bactericidal and cytotoxic properties of silver nanoparticles. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 20, n. 2, p. 1-47, 2019.

MACOCINSCHI, D.; FILIP, D.; ZALTARIOV, M. F.; VARGANICI, C. D. Thermal and hydrolytic stability of silver nanoparticle polyurethane biocomposites for medical applications. **Polymer Degradation and Stability**, v. 121, p. 238-246, 2015.

MAHRDT, E.; HERWIJNEN, H. W. G. VAN; KANTNER, W.; MOSER, J.; GIESSWEIN, J.; MITTER, R.; MÜLLER, U.; GINDL-ALTMUTTER, W. Adhesive distribution related to mechanical performance of high density wood fibre board. **International Journal of Adhesion and Adhesives**, v. 78, p. 23–27, 2017.

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.

MILANI, M. Características da planta. **Agência Embrapa de Informação Tecnológica**. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/mamona/arvore/CONT000h4rb0y9002wx7ha0awynty4m52beo.html>. Acesso em: 23 de junho de 2019 às 18:30.

MOHAMMADI, A.; DOCTORSFAEAI, A. H.; BURUJENY, S. B.; RUDBARI, H. A.; KORDESTANI, N.; NAJAFABADI, S. A. A. Silver (I) complex with a Schiff base ligand extended waterborne polyurethane: A developed strategy to obtain a highly stable antibacterial dispersion impregnated with in situ formed silver nanoparticles. **Chemical Engineering Journal**, v. 381, p. 122776, 2020.

MONTAZER, M.; SHAMEI, A.; ALIMOHAMMADI, F. Stabilized nanosilver loaded nylon knitted fabric using BTCA without yellowing. **Progress in Organic Coatings**, v. 74, n. 1, 270-276, 2012.

MONTEIRO, J. P. Afinal, o que é Laca? Disponível em: <https://www.aegrupo.com.br/single-post/AFINAL-O-QUE-E-LACA> Acessado em 27 de janeiro de 2020 às 22:40.

MORITZ, M.; GESZKE-MORITZ, M. The newest achievements in synthesis, immobilization and practical applications of antibacterial nanoparticles. **Chemical Engineering Journal**, v. 228, p. 596-613, 2013.

NEETHU, S.; MIDHUN, S. J.; RADHAKRISHNAN, E. K.; JYOTHIS, M. Surface functionalization of central venous cateter with mycofabricated silver nanoparticles and its antibiofilm activity on multidrug resistant *Acinetobacter baumannii*. **Microbial Pathogenesis**, v. 138, p. 103832, 2020.

NGUYENOVA, H. Y.; VOKATA, B.; ZARUBA, K.; SIEGEL, J.; KOLSKA, Z.; SVORCIK, V.; SLEPICKA, P.; REZNICKOVA, A. Silver nanoparticles grafted onto PET: Effect of preparation method on antibacterial activity. **Reactive and Functional Polymers**, v. 145, p. 104376, 2019.

ODENIYI, M. A.; OKUMAH, V. C.; ADEBAYO-TAYO, B. C.; ODENIYI, O. A. Green synthesis and cream formulations of silver nanoparticles of *Nauclea latifolia* (African peach) fruit extracts and evaluation of antimicrobial and antioxidant activities. **Sustainable Chemistry and Pharmacy**, v. 15, 2020.

OGUNNIYI, D. S. Castor oil: A vital industrial raw material. **Bioresource Technology**, v. 97, n. 9, p. 1086-1091, 2006.

OMWENGA, I.; ABOGE, G. O.; MITEMA, E. S.; OBIERO, G.; NGAYWA, C.; NGWILL, N.; WAMWERE, G.; WAINAINA, M.; BETT, B. Staphylococcus aureus enterotoxin genes detected in milk from various livestock species in northern pastoral region of Kenya. **Food Control**, v. 103, p. 126-132, 2019.

OPAS/OMS. **Cuidados de saúde de baixa qualidade estão aumentando a carga de doenças e custos em nível mundial**. 2018. Disponível em: http://www.paho.org/bra/index.php?option=com_content&view=article&id=5709:cuidados-de-saude-de-baixa-qualidade-estao-aumentando-a-carga-de-doencas-e-custos-em-nivel-mundial&Itemid=844 Acessado em: 08 de fevereiro de 2020 às 13:51

OUAY, B. LE; STELLACCI, F. Antibacterial activity of silver nanoparticles: A surface science insight. **Nano Today**, v. 10, n. 3, p. 339-354, 2015.

PANT, H. J.; PANDEYA, D. R.; NAM, K. T.; BAEK, W-I.; HONG, S. T.; KIM, H. Y. Photocatalytic and antibacterial properties of a TiO₂/nylon-6 electrospun nanocomposite mat containing silver nanoparticles. **Journal of Hazardous Materials**, v. 189, n. 1-2, p. 465-471, 2011.

PRAKASH, S.; MERCY, J. L.; SALUGU, M. K.; VINEETH, K. S. M. Optimization of Drilling Characteristics using Grey Relational Analysis (GRA) in Medium Density Fiber Board (MDF). **Materials Today: Proceedings**, v. 02, n. 4-5, p. 1541-1551, 2015.

PERISSE, F.; MENECHIER, S.; DUFFOUR, E.; VACHER, D.; MONIER, G.; DESTREBECQ, J. F.; CZARNIAK, P.; GÓRSKI, J.; WILKOWSKI, J. MDF treatment with a Dielectric Barrier Discharge (DBD) torch. **International Journal of Adhesion and Adhesives**, v. 79, p. 18–22, 2017.

PETROVIC, Z. S.; YANG, L.; ZLATANIC, A.; ZHANG, W.; JAVNI, I. Network Structure and Properties of Polyurethanes from Soybean Oil. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 105, p. 2717-2727, 2007.

PORTAL DA MADEIRA. **Etapas do processo de fabricação**. 2010. Disponível em <http://portaldamadeira.blogspot.com/2010/05/mdf-processo-de-fabrico.html> Acessado em 24 de junho de 2019 às 05:56.

PULIGUNDLA, P.; LEE, T.; MOK, C. Inactivation effect of dielectric barrier discharge

plasma against foodborne pathogens on the surfaces of different packaging materials. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 36, p. 221-227, 2016.

QUERIDO, M. M.; AGUIAR, L.; NEVES, P.; PEREIRA, C. C.; TEIXEIRA, J. P. Self-disinfecting surfaces and infection control. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 178, n. August 2018, p. 8-21, 2019.

RADZIG, M. A.; NADTOCHENKO, V. A.; KOKSHAROVA, O. A.; KIWI, J.; LIPASOVA, V. A.; KHMEL, I. A. Antibacterial effects of silver nanoparticles on gram-negative bacteria: Influence on the growth and biofilms formation, mechanisms of action. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 102, p. 300–306, 2013.

RAI, M.; YADAV, A.; GADE, A. Silver nanoparticles as a new generation of antimicrobials. **Biotechnology Advances**, v. 27, n. 1, p. 76-83, 2009.

RAVINDRAN, A.; CHANDRAN, P.; KHAN, S. S. Biofunctionalized silver nanoparticles: Advances and prospects. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 105, p. 342-352, 2013.

ROCHA, R. J.; LIMA, J. E. S.; GOMES, S. R.; IHA, K.; ROCCO, J. A. F. F. Síntese de poliuretanos modificados por óleo de mamona empregados em materiais energéticos. **Química Nova**, v. 36, n. 6, p. 793-799, 2013.

RUBAB, M.; SHAHBAZ, H. M.; OLAIMAT, A. N.; OH, D. H. Biosensors for rapid and sensitive detection of *Staphylococcus aureus* in food. **Biosensors and Bioelectronics**, v. 105, p. 49-57, 2018.

RUSSO, T. A.; JOHNSON, J. R. Medical and economic impact of extraintestinal infections due to *Escherichia coli*: Focus on an increasingly important endemic problem. **Microbes and Infection**, v. 5, n. 3, p. 449-456, 2003.

RUTALA, W. A.; WEBER, D. J. Best practices for disinfection of noncritical environmental surfaces and equipment in health care facilities: A bundle approach. **American Journal of Infection Control**, v. 47, p. 96-105, 2019.

SADEGHI, B.; GARMAROUDI, F. S.; HASHEMI, M.; NEZHAD, H. R.; NASROLLAHI, A.; ARDALAN, S.; ARDALAN, S. Comparison of the anti-bacterial activity on the nanosilver shapes: Nanoparticles, nanorods and nanoplates. **Advanced Powder Technology**, v. 23, n.1, p. 22-26, 2012.

SANTOS, A. L. dos; SANTOS, D. O.; FREITAS, C. C. de; FERREIRA, B. L. A.; AFONSO, I. F.; RODRIGUES, C. R.; CASTRO, H. C. *Staphylococcus aureus*: visitando uma cepa de importância hospitalar. **Jornal Brasileiro de Patologia e Medicina Laboratorial**, v. 43, n. 6, p. 413-423, 2007.

SERVINÇ, B. A.; HANLEY, L.; Antibacterial activity of dental composites containing zinc oxide nanoparticles. **Journal of Biomedical Materials Research**, v. 94B, n. 1, p. 22-31, 2010.

SILVA, S. A. M. de; GONÇALVES, R. Avaliação da distribuição da densidade em MDFa partir da técnica da onda de ultra-som. **Scientia Florestalis**, n. 74, p. 19 – 26, 2007.

SILVA, V. T. G. O que é laca? Quais os tipos de laca? Como cuidar do seu móvel laqueado? 2019. Disponível em: <https://www.sauimrecia.com.br/blog/o-que-e-laca-quais-os-tipos-de-laca-como-cuidar-do-seu-movel-laqueado> Acessado em 27 de janeiro de 2020 às 22:44.

TAN, S.; WAN, C.; HONGREN, W.; ZHOU, W.; SHU, M. Relationship between nasal Carrier isolates and clinical isolates in children with Staphylococcus aureus infections. **Microbial Pathogenesis**, v. 127, p. 233-238, 2019.

TRIPATHY, A.; SEM, P.; SU, B.; BRISCOE, W. H. Natural and bioinspired nanostructured bactericidal surfaces. **Advances in Colloid and Interface and Science**, v. 248, p.85-104, 2017.

WEBER, D. J.; RUTALA, W. A. Self-disinfecting surfaces: Review of current methodologies and future prospects. **American Journal of Infection Control**, v. 41, n. 5, p. S31 – S35, 2013.

ZHANG, W.; QIAO, X.; CHEN, J. Synthesis of silver nanoparticles-Effects of concerned parameters in water/oil microemulsion. **Materials Science and Engineering B: Solid-State Materials for Advanced Technology**, v.142, n. 1, p. 1-15, 2007.

ZHENG, K.; SETYAWATI, M. I.; LEONG, D. T.; XIE, J. Antimicrobial silver nanomaterials. **Coordination Chemistry Reviews**, v. 357, p. 1-17, 2018.

YE, X. P.; JULSON, J.; KUO, M.; WOMAC, A.; MYERS, D. Properties of medium density fiberboards made from renewable biomass. **Bioresource Technology**, v. 98, n. 5, p. 1077–1084, 2007.

YU, Q.; WU, Z.; CHEIN, H. Dual-function antibacterial surfaces for biomedical applications. **Acta Biomaterialia**, v.16, n. 1, p. 1-13, 2015.

SEGUNDA PARTE – ARTIGO

DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DE REVESTIMENTO POLIMÉRICO A BASE DE NANOPARTÍCULAS DE PRATA (AgNPs) APLICADO NA SUPERFÍCIE DE PAINÉIS DE MADEIRA

RESUMO

As infecções hospitalares são uma das principais causas associadas ao aumento do índice de mortalidade entre os pacientes hospitalizados. As bactérias são os principais agentes responsáveis por estas infecções. Superfícies contaminadas contribuem diretamente para a disseminação de infecções dentro do ambiente médico-hospitalar. A prata é utilizada como agente antibacteriano desde a antiguidade. Em escala nanométrica estas propriedades se tornam ainda mais evidentes, o que contribui para a sua utilização no combate a diversos microrganismos patogênicos. No entanto, devido a sua fácil aglomeração, é necessário a utilização de agentes estabilizadores, afim de preservar suas marcantes propriedades como agente antibacteriano. Neste contexto, surgem os materiais poliméricos, em especial os poliuretanos, compostos versáteis que contribuem para a estabilização das nanopartículas e para a manutenção de sua atividade antibacteriana. Portanto, o objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento de um revestimento com propriedades antibacterianas, a base de nanopartículas de prata e poliuretano, que possa ser aplicado em superfícies de móveis utilizados em ambiente médico-hospitalar, afim de impedir a disseminação das células bacterianas e reduzir o índice de infecções hospitalares. As nanopartículas de prata (AgNPs) foram sintetizadas pelo processo de redução por borohidreto de sódio. A solução de AgNPs teve o seu espectro medido, por meio da técnica de espectroscopia UV-Vis, o qual apresentou um pico de máxima absorvância em torno de 393 nm. As AgNPs foram aplicadas de forma direta sobre a superfície dos painéis com e sem revestimento de poliuretano e por meio da sua adição na resina de poliuretano, nas concentrações de 10 e 20%, antes de sua aplicação nos painéis MDF. Foi avaliada a atividade antibacteriana dos revestimentos em relação a *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus*. Para avaliar as propriedades das superfícies dos painéis MDF após a modificação foi realizada a microscopia eletrônica de varredura (MEV), a espectroscopia por energia dispersiva (EDS) e a avaliação do ângulo de contato. Os resultados obtidos demonstraram que os revestimentos compostos pela aplicação direta de AgNPs nas superfícies dos painéis MDF com e sem recobrimento de poliuretano não demonstraram eficiência no combate as células bacterianas. Isso se deve a ausência de um agente estabilizador, que contribuiu diretamente para a agregação das NPs e reduziu sua atividade antibacteriana. Em contrapartida, os revestimentos compostos por nanopartículas de prata adicionadas na poliuretano, nas concentrações de 10% e 20% foram eficientes no combate as células de *E. coli* e *S. aureus*, pois nestes tratamentos a resina de poliuretano atuou como um agente estabilizador para as AgNPs, impedindo a sua agregação e mantendo sua eficiência como agente antibacteriano.

Palavras-chave: Modificação superficial. Poliuretano. *Escherichia coli*. *Staphylococcus aureus*.

ABSTRACT

Hospital infections are one of the main causes associated with the increase in the mortality rate among hospitalized patients. Bacteria are the main agents responsible for these infections. Contaminated surfaces directly contribute to the spread of infections within the medical and hospital environment. Silver has been used as an antibacterial agent since antiquity. On a nanometric scale, these properties become even more evident, which contributes to their use in combating several pathogenic microorganisms. However, due to its easy agglomeration, it is necessary to use stabilizing agents, in order to preserve its remarkable properties as an antibacterial agent. In this context, polymeric materials appear, especially polyurethanes, versatile compounds that contribute to the stabilization of nanoparticles and to the maintenance of their antibacterial activity. Therefore, the objective of this work was the development of a coating with antibacterial properties, based on silver and polyurethane nanoparticles, which can be applied to furniture surfaces used in a medical-hospital environment, in order to prevent the spread of bacterial cells, and reduce the rate of nosocomial infections. The silver nanoparticles (AgNPs) were synthesized by the sodium borohydride reduction process. The AgNPs solution had its spectrum measured, using the UV-Vis spectroscopy technique, which showed a peak of maximum absorbance around 393 nm. The AgNPs were applied directly on the surface of the panels with and without polyurethane coating and through their addition to the polyurethane resin, in concentrations of 10 and 20%, before their application on the MDF panels. The antibacterial activity of the coatings in relation to *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* was evaluated. Scanning electron microscopy (SEM), dispersive energy spectroscopy (EDS) and contact angle evaluation were performed to evaluate the surface properties of MDF panels after modification. The results obtained showed that the coatings composed by the direct application of AgNPs on the surfaces of MDF panels with and without polyurethane coating did not demonstrate efficiency in combating bacterial cells. This is due to the absence of a stabilizing agent, which directly contributed to the aggregation of NPs and reduced its antibacterial activity. In contrast, the coatings composed of silver nanoparticles added to the polyurethane, in concentrations of 10% and 20% were efficient in combating the *E. coli* and *S. aureus* cells, as in these treatments the polyurethane resin acted as a stabilizing agent for AgNPs, preventing their aggregation and maintaining their efficiency as an antibacterial agent.

Keywords: Surface modification. Polyurethane. *Escherichia coli*. *Staphylococcus aureus*.

1 INTRODUÇÃO

As infecções hospitalares também designadas por infecções associadas aos cuidados com a saúde, representam qualquer infecção adquirida pelo paciente durante o seu período de internação. Cerca de 90% destas infecções são causadas por bactérias. Dentre os principais patógenos associados a estas infecções, estão *Staphylococcus aureus*, pertencente a classe de bactérias gram-positivas e *Escherichia coli*, pertencente a classe de bactérias gram-negativas (KHAN et al., 2015; KHAN et al., 2017; RUTALA et al., 2019).

Entre as principais consequências geradas por infecções adquiridas em ambientes médico-hospitalares estão o aumento do índice de mortalidade entre os pacientes hospitalizados, a prolongação do tempo de internação e consequente elevação dos custos médicos e também a elevação da morbidade, ou seja, do número de pessoas contaminadas. As superfícies desempenham um importante papel na transmissão de infecções pois ao serem colonizadas por microrganismos patogênicos, podem causar surtos de infecções dentro dos hospitais (LABI et al., 2019, QUERIDO et al., 2019; PAZ et al., 2020).

Com relação aos meios de transmissão, sabe-se que a contaminação das mãos ou luvas dos profissionais de saúde, ao entrar em contato com pacientes infectados ou superfícies e equipamentos contaminados, constitui-se como uma importante forma de transmissão de microrganismos patogênicos aos demais pacientes hospitalizados. Além disso, o contato direto entre pacientes suscetíveis e ambientes contaminados também contribui diretamente para a transmissão destes microrganismos (DONSKEY, 2013).

Nesse contexto, para se alcançar a redução do índice de contaminação presente nas superfícies hospitalares, são adotadas técnicas de desinfecção, através da utilização de produtos com ação germicida. Entretanto, a limpeza inadequada, assim como a capacidade de sobrevivência de determinadas bactérias em superfícies secas, sem fonte de nutrientes, por um longo intervalo de tempo, dificulta o processo de desinfecção (OTTER et al., 2013; BRUHWASSER et al., 2017).

Em busca de técnicas mais eficientes para a limpeza destes ambientes, surgiram novos métodos de descontaminação os quais podem ser representados pela aplicação de luz UV ou pela vaporização de peróxido de hidrogênio no ambiente. No entanto, apesar de eficientes, eles apresentam certas limitações que dificultam sua utilização, dentre elas, está o fato de só poderem ser aplicados em ambientes vazios, o que gera a necessidade de remoção dos

pacientes e o elevado custo principalmente para a aplicação de luz UV (WEBER et al., 2013, DOLL et al., 2018).

Diante destas limitações surge a modificação superficial, técnica muito utilizada para conceder propriedades antibacterianas às superfícies dos materiais. Esta técnica apresenta inúmeras vantagens, dentre elas, a de permanecer em constante atividade, e por isso ser capaz de reduzir imediatamente a quantidade de agentes patogênicos presentes na superfície do material, impedindo a sua disseminação dentro do ambiente hospitalar. Além disso, pode ser aplicada em ambientes populosos, pois não causa prejuízos à saúde. Entre as superfícies que desempenham ação antibacteriana estão as que apresentam prata (Ag) em sua composição (HASAN et al., 2013; QUERIDO et al., 2019).

As nanopartículas de prata apresentam excelentes propriedades antibacterianas e por isso têm sido largamente utilizadas na área médica. A estabilização das nanopartículas é algo imprescindível para impedir a sua agregação e preservar suas propriedades antibacterianas. Entre os agentes estabilizadores, estão os poliuretanos, polímeros muito utilizados nos setores médico e industrial para a produção de revestimentos poliméricos, devido ao seu bom desempenho mecânico, durabilidade, flexibilidade e ótima adesão (MACOCINSCHI et al., 2015; SU et al., 2017; PATIL et al., 2019; ZHOU et al., 2019).

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi produzir um revestimento com características antimicrobianas, a partir da utilização de nanopartículas de prata e resina de poliuretano, que posteriormente possa ser aplicado em superfícies de móveis utilizados em ambientes médico-hospitalares, afim de impedir a proliferação de células bacterianas nestes locais e contribuir para a redução da taxa de infecções presentes nestes ambientes.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Matérias-primas

2.1.1 Painéis de madeira e resina poliuretano

Utilizou-se painéis de fibras de madeira de média densidade (MDF) recobertos com laca fosca, produzidos com resina ureia-formaldeído e confeccionados com densidade aparente de 0,73 g/cm³. Também foi utilizada a resina de poliuretano bi-componente. A escolha dessa resina ocorreu, principalmente, pela boa aderência e bom acabamento final que ela proporciona ao material e também por ela ser proveniente de um composto natural, o que a torna um produto biodegradável.

2.1.2 Nanopartículas de prata (AgNPs)

Nanopartículas de prata (AgNPs) foram sintetizadas, utilizando os reagentes borohidreto de sódio 98% (Nox Lab Solutions) (NaBH₄) e nitrato de prata 99,8 % (Alphatec) (AgNO₃).

Inicialmente as vidrarias foram devidamente lavadas com água e detergente, e, em seguida, limpas com solução de potassa alcoólica (250 mL de etanol 95% (Alphatec), 30 ml de água deionizada e 30 g de hidróxido de potássio 85% (Synth) (KOH)).

Para realizar a síntese de nanopartículas de prata (AgNPs) utilizou-se 150 mL de solução 2,0 x 10⁻³ mol/L de borohidreto de sódio (NaBH₄), mantida em banho de gelo, ao abrigo da luz e sob agitação constante, por 15 minutos. Transcorrido este intervalo de tempo, 50 mL de solução 1,0 x 10⁻³ mol/L de nitrato de prata (AgNO₃), foi gotejada lentamente sobre a solução de borohidreto de sódio (NaBH₄), a uma taxa de 1 gota por segundo. Esta solução atuou como o precursor metálico da reação. Ao término deste procedimento, foi possível observar o surgimento de uma solução com tonalidade amarela, condizente ao que está descrito na literatura.

2.2 Caracterização das nanopartículas de prata (AgNPs)

Para constatar a formação das nanopartículas de prata (AgNPs), através de sua banda de ressonância, foi realizada a análise de espectroscopia nas regiões das radiações ultravioleta

e visível (UV-Vis.). As diluições utilizadas foram 1:3, 1:5, 1:10, 1:25 e 1:50. Os espectros eletrônicos foram obtidos em espectrofotômetro Shimadzu UV-1800, utilizando-se cubetas de quartzo com caminho óptico de 1 cm e uma faixa de varredura entre 200 e 500 nm. Foram utilizadas como fontes de iluminação as lâmpadas de deutério (Lâmpada UV) e tungstênio (Lâmpada Visível). Esta análise foi realizada no Laboratório de Bioquímica, do Departamento de Química da UFLA.

2.3 Tratamentos das superfícies de MDF

Posteriormente, a solução foi pincelada na superfície de painéis *in natura* e em painéis revestidos com resina de poliuretano. Para tanto, foram utilizados blocos de MDF com dimensões 1,5 x 1,5 x 1,5 cm (Figura 1). Foi desenvolvido outro grupo de testes a partir da inserção da solução de nanopartículas de prata na resina de poliuretano, seguida da sua aplicação na superfície dos painéis. Além disso, amostras sem qualquer tratamento - amostras controle - foram separadas de forma a possibilitar o acompanhamento da modificação das propriedades dos painéis, a partir dos tratamentos estabelecidos.

Figura 1 - Blocos de MDF utilizados no experimento.



Fonte: Da autora (2020).

Na Tabela 1, encontram-se a nomenclatura adotada para cada tratamento. Observa-se que foram adotados dois controles, um para o tratamento em que se utilizou apenas o recobrimento com AgNPs e o outro para os demais tratamentos onde utilizou-se também a resina de poliuretano. Após os tratamentos, os blocos permaneceram em temperatura ambiente para secagem por 72 horas. Foram utilizadas, aproximadamente, 80 amostras para cada tratamento.

Tabela 1 - Tratamentos realizados

Nomenclatura	Tratamentos
MDF – T1	MDF (Controle)
AgNPs – T2	MDF pincelado com AgNPs
Poliuretana – T3	MDF revestido com resina de poliuretana (Controle)
P e AgNPs – T4	MDF revestido com poliuretana e pincelado com AgNPs
P + 10% AgNPs – T5	MDF revestido com 10 % de AgNPs inseridas na poliuretana
P + 20% AgNPs – T6	MDF revestido com 20% de AgNPs inseridas na poliuretana

Fonte: Da autora (2020).

2.4 Caracterização dos tratamentos

2.4.1 Análises microbiológicas

2.4.1.1 Microrganismos, manutenção e padronização dos inóculos

As cepas utilizadas foram *Escherichia coli* ATCC 25922 e *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 pertencentes ao Laboratório de Microbiologia de Alimentos, localizado no Departamento de Ciência dos Alimentos da Universidade Federal de Lavras. As culturas estoques foram mantidas em meio de congelamento (15 mL de glicerol, 0,5 g de peptona bacteriológica, 0,3 g de extrato de levedura, 0,5 g de NaCl e 100 mL de água destilada) a -18° C.

Para a ativação das cepas, alíquotas de 100 µL das culturas estoques foram transferidas para 100 mL de BHI (Caldo Infusão Cérebro e Coração) e incubadas a 37° C por 24 h. A padronização das culturas foi realizada por meio da sua curva de crescimento. Alíquotas de 20 µL das culturas ativadas foram inoculadas em 300 mL de caldo BHI e incubadas a 37° C. Alíquotas das culturas foram retiradas, periodicamente, e sua absorbância (DO 600 nm) determinada em espectrofotômetro (BEL SP-2000), seguido pelo plaqueamento em ágar para contagem padrão (PCA) e incubação a 37° C por 24 h. As culturas foram padronizadas em aproximadamente 10⁸ UFC.mL⁻¹ (Unidades formadoras de colônia por mL de cultura).

2.4.1.2 Avaliação da ação bactericida

A ação bactericida dos revestimentos foi avaliada empregando a técnica do esfregaço de superfície (SILVA et al., 2016). Alíquotas de 20 µL das culturas padronizadas foram espalhadas sobre a superfície do MDF e recobertas com ágar-ágar com o objetivo de impedir

a morte das bactérias por dessecação. A viabilidade dos microrganismos foi avaliada após 0, 3 e 6 horas de incubação à 37°C e 25° C. As análises foram realizadas em triplicatas com duas repetições para *Escherichia coli* e três para *Staphylococcus aureus*.

Os esfregaços foram realizados com *swabs* de algodão estéreis que foram imersos em 10 mL de água peptonada (0,1 % m/v) contidos em tubos de ensaio e agitados em agitador tipo vórtex por 5 min. Alíquotas de 100 µL das diluições adequadas foram plaqueadas em PCA e incubadas a 37° C por 36 h. Após o período de incubação, o número de colônias foi quantificado e os resultados expressos em log UFC.cm⁻².

2.4.2 Microscopia eletrônica de varredura e Espectroscopia por Energia Dispersiva (MEV/EDS)

Para analisar a morfologia e o mapeamento químico da superfície dos painéis foi utilizado o microscópio eletrônico de varredura LEO EVO 40 XVP, com filamento de tungstênio, operando a uma tensão de 15 KV e sistemas EDS XFlash 6160 – Bruker. As amostras foram metalizadas com ouro (Au) para a realização da microscopia eletrônica de varredura (MEV) e com carbono (C) para a realização da espectroscopia por energia dispersiva (EDS). Estas análises foram realizadas no Laboratório de Microscopia, do Departamento de Fitopatologia da UFLA.

2.4.3 Análise do ângulo de contato e energia de superfície

Para verificar a eficiência da modificação superficial, foram medidos o ângulo de contato e a energia de superfície dos painéis com e sem modificação. Nesta análise foram utilizados um líquido apolar, diiodometano e dois líquidos polares, glicerol e água destilada. O glicerol e o diiodometano foram utilizados para obter informações relacionadas a energia de superfície e a água para obter dados a respeito do ângulo de contato, molhabilidade e hidrofobicidade das superfícies avaliadas. Para a realização destas análises, foi utilizado um goniômetro da marca Kruss conectado a um computador com Software Advance. Esta análise foi desenvolvida no Laboratório de Nanotecnologia da Unidade Experimental de Painéis de Madeira (UEPAM).

2.4.4 Análises estatísticas

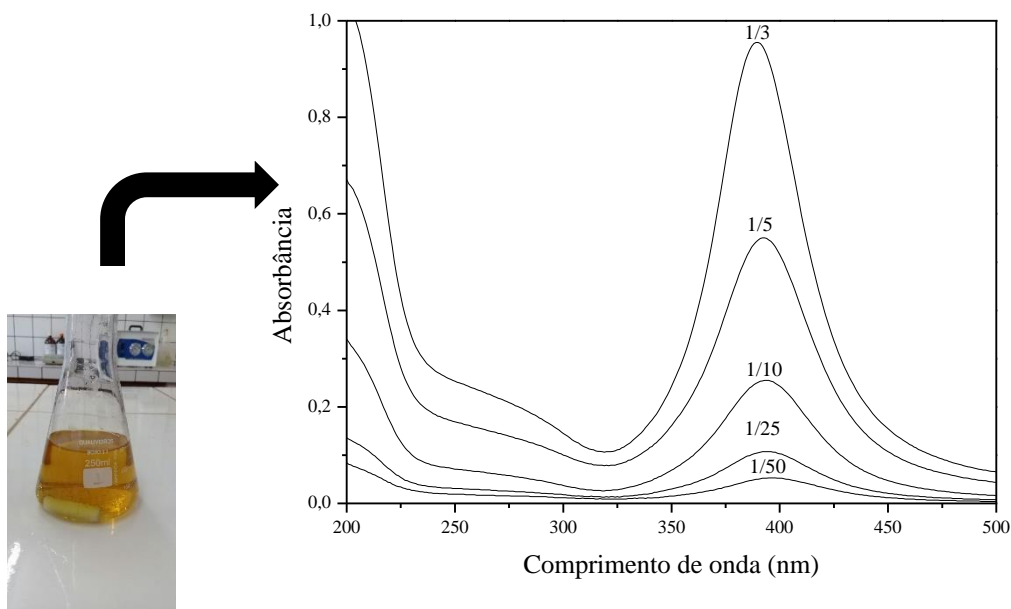
Os experimentos foram realizados em um esquema fatorial 6 x 3 x 2, sendo seis tratamentos, em três tempos de contagem de células (0, 3 e 6 horas) e duas temperaturas de cultivo, 37°C e 25° C. Os resultados da contagem de células (log UFC/cm²) foram submetidos à análise de variância (ANAVA), com o software SISVAR versão 5.6, sendo a comparação entre as médias estabelecidas pelo teste Scott-Knott, adotando o nível de 5% de significância.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização das nanopartículas de prata (AgNPs) por Espectroscopia UV-Vis

A Figura 2 apresenta os espectros eletrônicos obtidos a partir das diluições da solução de nanopartículas de prata (AgNPs).

Figura 2 - Espectros eletrônicos obtidos a partir das diluições da solução de AgNPs.



Fonte: Da autora (2020).

Os espectros eletrônicos para a solução de nanopartículas de prata (AgNPs) indicaram picos de máxima absorvância em torno de 393 nm. Melo et al. (2012) relataram, em seu trabalho, um comprimento de onda, em torno de 396 ± 5 nm, na máxima absorvância, para nanopartículas de prata esféricas com diâmetro médio de 20 nm, semelhante ao que foi obtido neste trabalho, comprovando que a solução analisada apresentou um comportamento característico de nanopartículas de prata (AgNPs). Dados encontrados na literatura, reforçam estes resultados, ao mencionar que picos de máxima absorvância em torno de 400 nm indicam a formação de nanopartículas de prata esféricas com tamanho entre 10 e 30 nm (KHAN et al., 2011).

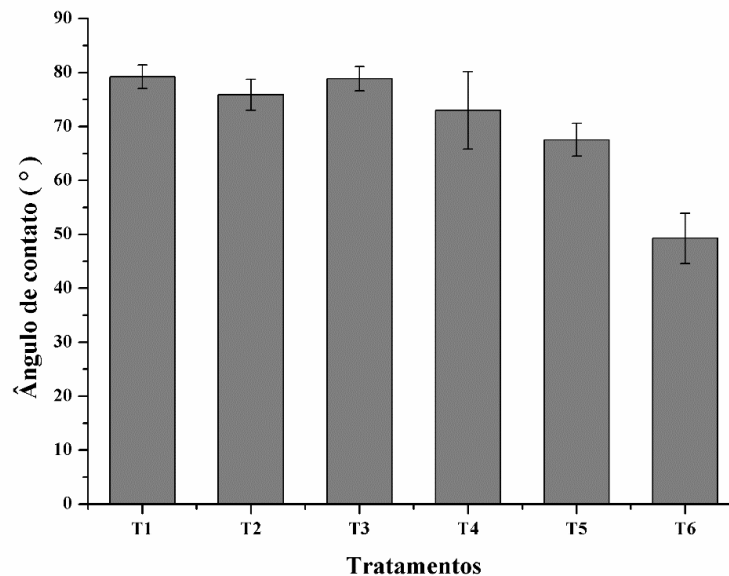
Fhatima e Mujeeb (2020) encontraram resultados semelhantes em seu trabalho ao realizarem a síntese de nanopartículas de prata (AgNPs), sem a adição de agentes estabilizadores, obtendo um comprimento de onda em torno de 398 nm para a máxima absorbância. Panicker et al. (2020) encontraram um pico de máxima absorbância em torno de 390 nm, para a síntese de nanopartículas de prata (AgNPs) através do processo de redução por borohidreto de sódio (NaBH_4).

É importante ressaltar que o tamanho das nanopartículas é um fator que está diretamente relacionado a localização da banda de absorção. Dessa forma, partículas menores, apresentam máxima absorção em menores comprimentos de onda, e partículas maiores causam o alargamento e o deslocamento da banda de absorção para comprimentos de onda maiores (MELO et al., 2012; KAHNOUJI et al., 2019).

3.2 Avaliação da modificação superficial dos painéis através das análises de ângulo de contato e energia de superfície

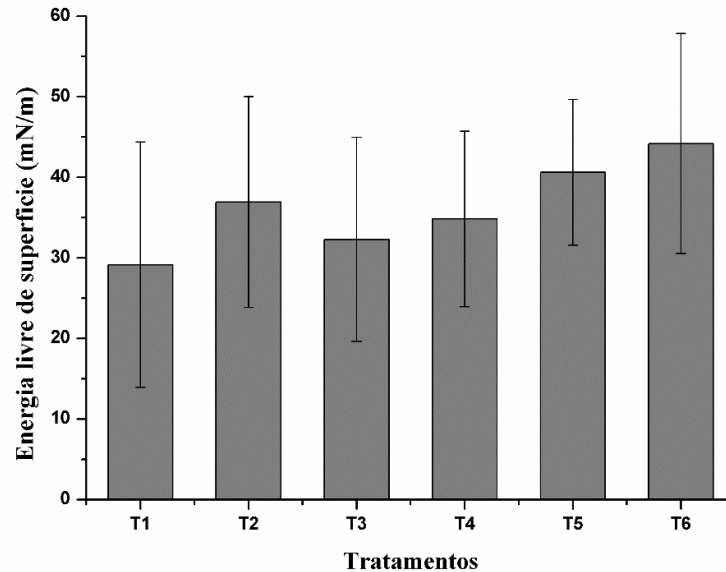
As Figuras 3 e 4 mostram as variações do ângulo de contato e da energia de superfície após a modificação superficial.

Figura 3 – Molhabilidade dos painéis compostos por: (T1) MDF puro; (T2) AgNPs; (T3) Poliuretana; (T4) P e AgNPs; (T5) P +10% AgNPs; (T6) P + 20% AgNPs.



Fonte: Da autora (2020).

Figura 4 – Energia livre de superfície dos painéis compostos por: (T1) MDF puro; (T2) AgNPs; (T3) Poliuretana; (T4) P e AgNPs; (T5) P + 10% AgNPs; (T6) P + 20% AgNPs.



Fonte: Da autora (2020).

Observou-se que os painéis revestidos com nanopartículas de prata misturadas na poliuretana nas concentrações de 10% e 20% (T5 e T6) apresentaram aumento da energia superficial e redução do ângulo de contato, se comparados aos painéis recobertos apenas com poliuretana (T3). Este efeito pode ser explicado pela relação existente entre a energia livre de superfície e o ângulo de contato, em que, o aumento da energia superficial, permite o melhor espalhamento do líquido sobre a superfície, o que contribui para o aumento da sua molhabilidade e também da sua hidrofiliçidade, causando a redução do ângulo de contato. Em decorrência do desvio apresentado, os painéis revestidos com nanopartículas (T2) e recobertos com nanopartículas após o revestimento com poliuretana (T4) não apresentaram redução significativa do ângulo de contato se comparados aos seus respectivos controles, painéis MDF puro (T1) e painéis revestidos com resina de poliuretano (T3).

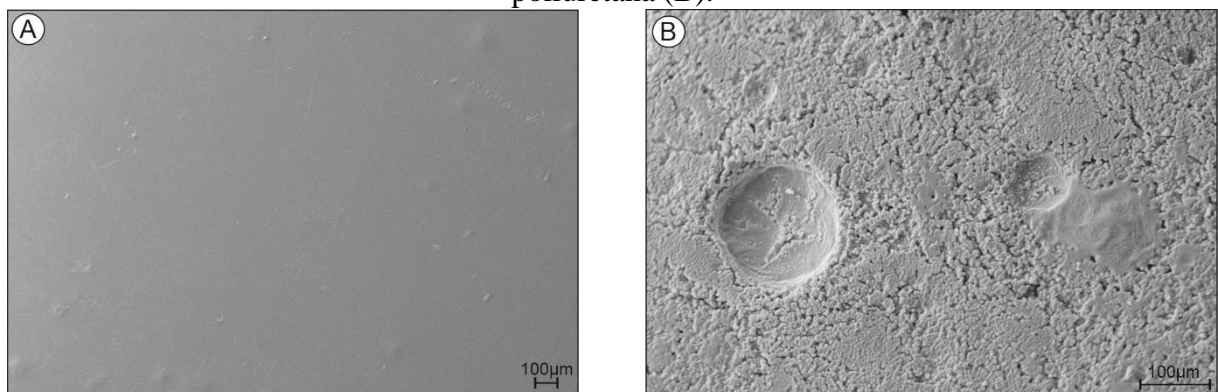
Os resultados demonstraram que a inserção de nanopartículas de prata (AgNPs) na resina de poliuretano para a modificação superficial de painéis MDF aumentou a sua hidrofiliçidade. Um fator que pode ter contribuído para este resultado seria o aumento da polaridade das superfícies dos painéis após a adição dos revestimentos com nanopartículas de prata, o que possivelmente, contribuiu para a melhor interação entre estas superfícies e a água, que também é um componente polar, causando o aumento da hidrofiliçidade do material.

Nguyenova et al. (2019) obtiveram resultado semelhante ao adicionarem nanopartículas de prata em tereftalato de polietileno (PET) para o desenvolvimento de um polímero antibacteriano. Neste estudo, eles utilizaram nanopartículas de prata sintetizadas por processos químico, eletroquímico e físico, respectivamente. Em todas os casos houve a redução do ângulo de contato e o aumento da energia superficial das amostras após a adição das AgNPs, em relação ao tratamento controle.

Dentre todos os revestimentos analisados, os que possuíam nanopartículas inseridas na poliuretana, nas concentrações de 10% e 20%, foram os que demonstraram a maior molhabilidade, o que pode ser justificado pela polaridade apresentada pelas nanopartículas de prata, que ocasionou a introdução de grupos polares na resina de poliuretano e contribuiu para melhorar a sua interação com a água (composto polar), reduzindo o ângulo de contato e aumentando a molhabilidade das superfícies. Observou-se também que o aumento da concentração de nanopartículas contribuiu para elevar, ainda mais, a molhabilidade das superfícies, em decorrência de sua maior polarização.

Outro fator que pode estar relacionado ao aumento da molhabilidade é o aumento da porosidade da superfície dos painéis após a aplicação destes tratamentos, se comparados aos painéis revestidos apenas com poliuretana (Figuras 5 A e 5 B).

Figura 5 – Microscopia eletrônica de varredura (MEV) para painéis revestidos com poliuretana (A) e painéis revestidos com 10% de nanopartículas de prata inseridas na poliuretana (B).



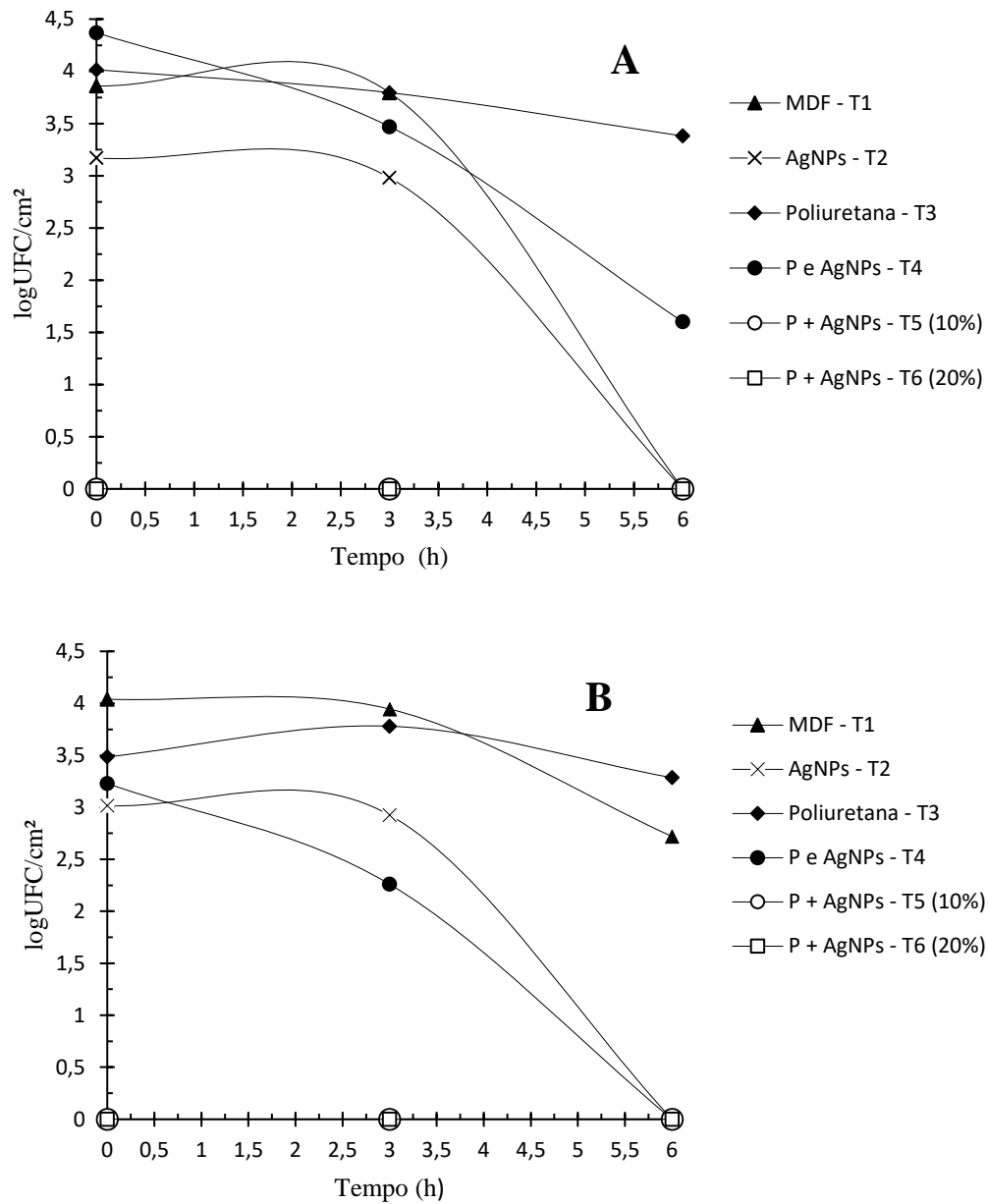
Fonte: Da autora (2020).

3.3 Efeito antimicrobiano dos revestimentos sobre *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus*

As Figuras 6 e 7 mostram a influência dos diferentes tratamentos aplicados sobre as superfícies e da temperatura de incubação sobre *E. coli* e *S. aureus*, respectivamente.

Na Figura 6 observa-se que os tratamentos compostos por nanopartículas de prata inseridas na resina de poliuretano nas concentrações de 10 e 20% (T5 e T6), antes de sua aplicação na superfície dos painéis, se mostraram muito eficientes no combate a *E. coli*, ao causar a morte de todas as células bacterianas nas duas temperaturas avaliadas. Já os demais tratamentos, compostos por painéis revestidos com nanopartículas de prata (T2) e recobertos com nanopartículas de prata após o revestimento com poliuretano (T4) não apresentaram eficiência no combate a *E. coli*, pois se comparados aos seus respectivos controles MDF puro (T1) e MDF revestido com poliuretano (T3) demonstraram baixa redução no número de células bacterianas.

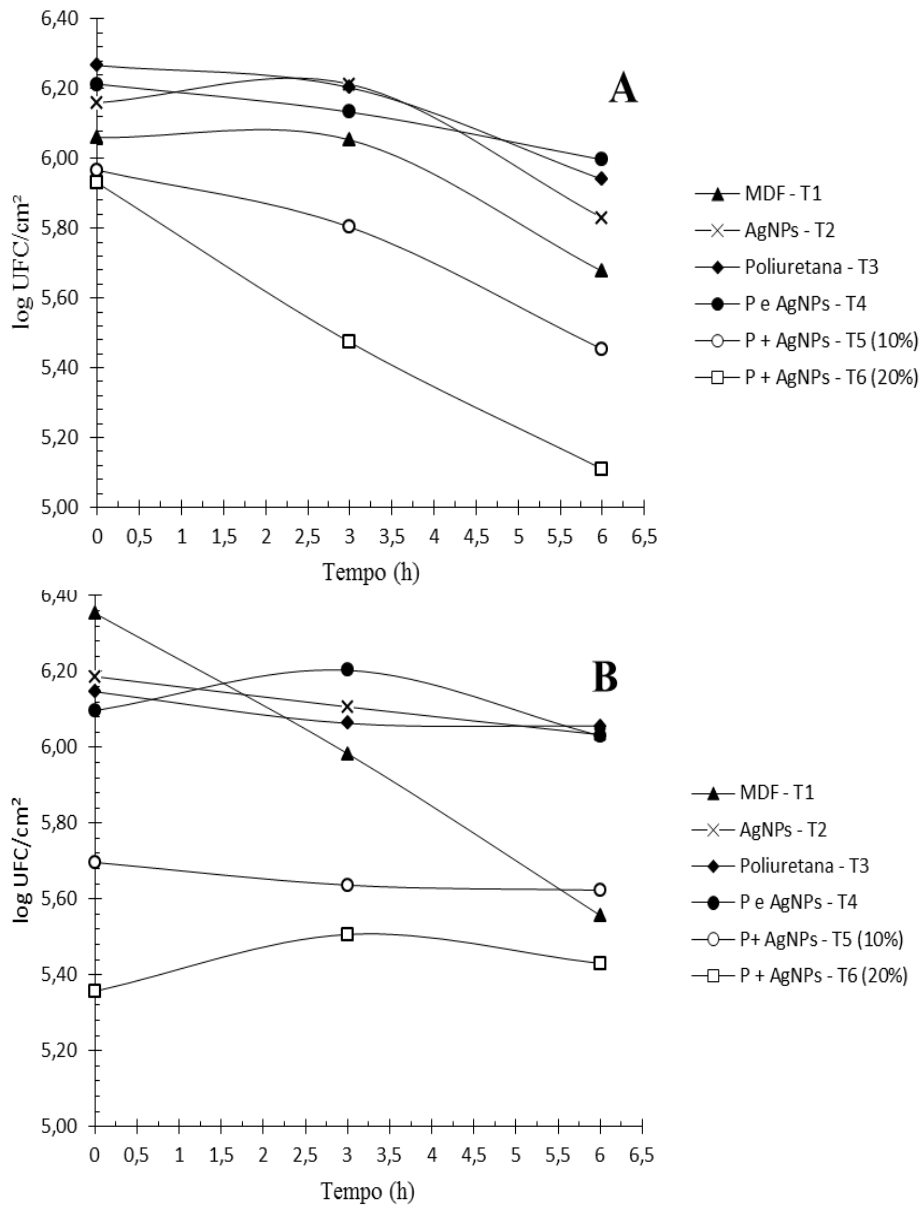
Figura 6 - Curva de morte de *Escherichia coli* inoculada sobre painéis MDF com e sem modificação superficial e incubados à (A) 37° C e (B) 25°C.



Fonte: Da autora (2020)

Na Figura 7 observa-se que os tratamentos compostos por 10 e 20% de nanopartículas de prata inseridas na resina de poliuretano (T5 e T6) antes de sua aplicação na superfície dos painéis MDF, também foram os mais eficientes no combate a *Staphylococcus aureus*, dando destaque para o tratamento 6, que apresentou a maior eficiência nas duas temperaturas analisadas. Já os demais tratamentos, T2 e T4, não demonstraram eficiência na redução do número de células bacterianas de *S. aureus*.

Figura 7 - Curva de morte de *Staphylococcus aureus* inoculado sobre painéis MDF com e sem modificação superficial e incubados à (A) 37° C e (B) 25°C.



Fonte: Da autora (2020).

3.3.1 *Escherichia coli*

A partir dos resultados obtidos após a realização de análises estatísticas, para os dados relativos a *Escherichia coli*, observou-se que não houve interação entre as variáveis tratamentos, temperatura e tempo, sendo observado apenas interação entre tratamentos e temperaturas e também entre tratamentos e tempos.

A Tabela 2 representa a média dos valores observados nos gráficos de *Escherichia coli* (Figura 6), para cada tratamento nas temperaturas de 25 e 37° C. Os resultados demonstraram que houve interação significativa entre os tratamentos nas temperaturas de armazenamento avaliadas, entretanto, não houve diferenciação entre as duas temperaturas dentro de cada tratamento.

Tabela 2 - Valores médios e desvio padrão da contagem de *E. coli* (log UFC/cm²) para cada tratamento realizado nas temperaturas de cultivo avaliadas.

Tratamento	Temperaturas	
	25° C	37° C
MDF – T1	3,568 (0,644) Ba	2,552 (1,701) Ba
AgNPs – T2	1,980 (1,320) Ba	2,050 (1,367) Ba
Poliuretana – T3	3,517 (0,291) Ba	3,730 (0,243) Ba
P e AgNPs – T4	1,830 (1,220) Ba	3,147 (1,064) Ba
P + 10% AgNPs – T5	0,000 (0,000) Aa	0,000 (0,000) Aa
P + 20% AgNPs – T6	0,000 (0,000) Aa	0,000 (0,000) Aa

*Médias de uma mesma coluna, seguidas de letras maiúsculas idênticas ou em uma mesma linha seguidas por letras minúsculas idênticas, não diferem entre si ao nível de 5% de significância pelo teste Scott-Knott

Os tratamentos compostos por nanoparículas de prata misturadas na resina de poliuretano, nas concentrações de 10% e 20% (T5 e T6), antes de sua aplicação na superfície dos painéis, apresentaram efeitos idênticos, e demonstraram grande eficiência no combate a *Escherichia coli*, ao causar a morte de todas as células bacterianas e não permitir a sua proliferação. Com relação ao mecanismo de atuação das nanopartículas de prata, estudos demonstraram que a adesão e o acúmulo de AgNPs na superfície de células bacterianas de *Escherichia coli*, criam lacunas em sua membrana celular e danificam a sua estrutura, levando ao aumento da permeabilidade e a morte da célula (FRANCI et al., 2015).

Os painéis recobertos por nanopartículas de prata (T2) e recobertos com nanopartículas de prata após o revestimento com poliuretana (T4), não diferiram estatisticamente dos seus respectivos controles, compostos por painéis sem modificação (T1) e painéis revestidos com poliuretana (T3), se mostrando ineficientes na redução das colônias de *Escherichia coli*, em cada temperatura de cultivo avaliada.

Na Tabela 3 estão representadas as médias dos valores observados para *Escherichia coli* (Figura 6), para cada tratamento nos tempos 0, 3 e 6 h. Observa-se que houve interação significativa entre os tratamentos nos tempos 0 e 3h, mas não houve diferenciação entre os tratamentos no tempo 6h. Além disso, observa-se que houve interação significativa entre os tempos de contagem de células dentro do tratamento 2.

Tabela 3 - Valores médios e desvio padrão da contagem de *E. coli* (log UFC/cm²) para os tratamentos realizados nos tempos de contagem de células analisados.

Tratamento	Tempo		
	0h	3h	6h
MDF – T1	3,950 (0,600) Ba	3,870 (0,650) Ba	1,360 (0,080) Aa
AgNPs – T2	3,093 (0,077) Bb	2,953 (0,183) Bb	0,000 (0,000) Aa
Poliuretana – T3	3,750 (0,325) Ba	3,788 (0,113) Ba	3,333 (0,278) Aa
P e AgNPs – T4	3,800 (0,095) Ba	2,865 (0,195) Ba	0,800 (0,800) Aa
P + 10% AgNPs – T5	0,000 (0,000) Aa	0,000 (0,000) Aa	0,000 (0,000) Aa
P + 20% AgNPs – T6	0,000 (0,000) Aa	0,000 (0,000) Aa	0,000 (0,000) Aa

*Médias de uma mesma coluna, seguidas de letras maiúsculas idênticas, ou em uma mesma linha seguidas por letras minúsculas idênticas, não diferem entre si ao nível de 5% de significância pelo teste Scott-Knott

Os tratamentos com mistura de 10% e 20% de solução de AgNPs na resina de poliuretano, antes da aplicação na superfície dos painéis MDF (T5 e T6) resultaram em redução significativa da população microbiana, quando analisados nos períodos de 0 e 3 h, causando a morte de todas as células bacterianas. Os painéis revestidos com nanopartículas de prata (T2) e recobertos com nanopartículas de prata após o revestimento com poliuretano (T4) não demonstraram eficiência antibacteriana neste período.

Quando analisado no período de 6 h, não houve diferença significativa entre os tratamentos realizados (T2, T4, T5 e T6) e seus respectivos controles (T1 e T3), demonstrando que após 6 horas o risco de contaminação superficial foi reduzido. No entanto analisando a Tabela 3 observa-se que a efetividade no combate as células bacterianas não foi observada em todos os tratamentos, visto que, a superfície dos painéis recobertos com nanopartículas de prata após o revestimento com poliuretano (T4) ainda apresentou células bacterianas, o mesmo aconteceu, com as superfícies dos controle MDF puro (T1) e revestido com poliuretano (T3), demonstrando que somente os tratamentos 5 e 6, compostos pela mistura de nanopartículas de prata na resina de poliuretano, apresentaram real eficiência no combate a *Escherichia coli* ao impedir a sua proliferação e garantir a descontaminação da superfície em todos os tempos avaliados.

Observou-se também que para os painéis recobertos com nanopartículas de prata (T2) houve diferença estatística entre os tempos 6 h e os tempos 0 e 3 h, decorrente da redução do número de células bacterianas no tempo de 6 h. Entretanto, este tratamento não demonstrou eficiência no combate a *Escherichia coli*, devido a ocorrência da agregação das nanopartículas de prata que ocasionou a redução de suas propriedades antibacterianas. Neste caso, acredita-se que a morte das células bacterianas esteja associada a fatores externos, como por exemplo, a escassez de nutrientes.

3.3.2 *Staphylococcus aureus*

Para *Staphylococcus aureus* observou-se que não houve interação significativa entre nenhuma das três variáveis analisadas (tratamentos, temperaturas de armazenamento e tempos de contagem de células). Dessa forma, foi realizada a análise estatística para cada um dos parâmetros avaliados, de forma individual.

A Tabela 4 mostra a influência de cada tratamento na contagem da população bacteriana. Nela estão expressos os valores médios de log UFC.cm⁻², obtidos a partir dos dados representados nos gráficos de *S. aureus* (Figura 7) para cada um dos tratamentos realizados.

Tabela 4 - Valores médios (desvio padrão) do número de unidades formadoras de colônias por centímetro quadrado (log UFC/cm²) para os tratamentos realizados.

Tratamentos	log UFC/cm ²
MDF – T1	5,947 (0,288) C
AgNPs – T2	6,088 (0,250) C
Poliuretana – T3	6,113 (0,122) C
P e AgNPs – T4	6,112 (0,095) C
P + 10% AgNPs – T5	5,697 (0,179) B
P + 20% AgNPs – T6	5,468 (0,326) A

*Médias seguidas das mesmas letras na mesma coluna, não diferem entre si, ao nível de 5% de significância pelo teste Scott-Knott

Os painéis revestidos com nanopartículas de prata (T2) e recobertos com nanopartículas de prata após serem revestidos com poliuretana (T4) não se diferiram estatisticamente dos seus respectivos controles, MDF sem modificação (T1) e MDF revestido apenas com poliuretana (T3), demonstrando a ineficiência destes tratamentos para o controle das colônias de *Staphylococcus aureus*. No entanto, quando a solução de nanopartículas de prata foi misturada a poliuretana, nas concentrações de 10% e 20%, antes de sua aplicação na superfície dos painéis, observou-se uma melhora significativa para estes tratamentos no combate as células bacterianas, dando destaque para o tratamento com 20% de nanopartículas de prata, que obteve o menor valor de contagem de colônias.

A Tabela 5 apresenta os valores médios de log UFC.cm⁻² obtidos a partir dos dados apresentados nos gráficos de *S. aureus* (Figura 7) para cada temperatura avaliada.

Tabela 5 - Valores médios (desvio padrão) do número de unidades formadoras de colônias por centímetro quadrado (log UFC/cm²) para as temperaturas de cultivo avaliadas

Temperatura	log UFC/cm ²
25° C	5,893 (0,197) A
37° C	5,916 (0,218) A

*Médias seguidas das mesmas letras na mesma coluna, não diferem entre si, ao nível de 5% de significância pelo teste Scott-Knott

Não houve efeito significativo na redução do número de unidade formadoras de colônia, para as temperaturas de cultivo avaliadas, demonstrando que a variação de temperatura, nesta faixa (25° e 37° C) não causou alterações na permeabilidade da membrana da célula bacteriana.

Na Tabela 6 estão representados os valores médio de log UFC.cm⁻² obtidos a partir dos dados apresentados nos gráficos de *S. aureus* (Figura 7) para os tempos 0, 3 e 6 h.

Tabela 6 - Valores médios (desvio padrão) do número de unidades formadoras de colônias por centímetro quadrado (log UFC/cm²) para os tempos de contagem de células analisados

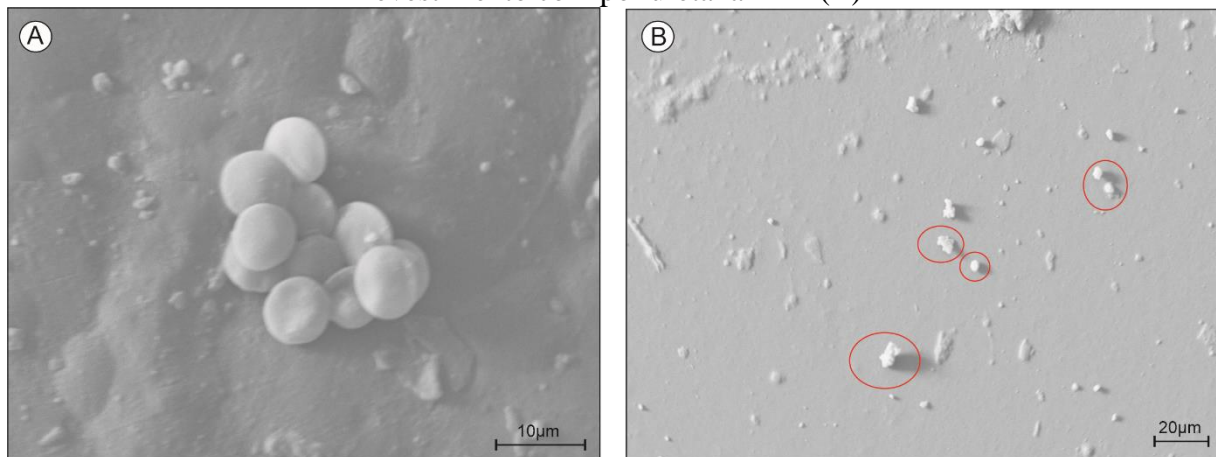
Tempo	log UFC/cm ²
0h	6,036 (0,132) B
3h	5,948 (0,174) B
6h	5,728 (0,169) A

*Médias seguidas das mesmas letras na mesma coluna, não diferem entre si, ao nível de 5% de significância pelo teste Scott-Knott

Observou-se diferença significativa entre o tempo 6 h e os tempos 0 e 3 h, demonstrando que no tempo 6 h houve maior redução do número de unidades formadoras de colônias presentes nas superfícies, se comparado aos demais tempos analisados. Portanto, este tempo se mostrou mais eficiente para a redução do número de células de *Staphylococcus aureus*. Um dos fatores que pode justificar este resultado é o aumento do tempo de contato entre as células bacterianas e o agente antimicrobiano, nos tratamentos 5 e 6, o que contribui diretamente para melhorar a sua eficiência, ao permitir que uma maior quantidade de nanopartículas de prata penetrasse no interior das bactérias e ocasionasse a sua morte. Além disso, a partir das curvas de morte apresentadas na Figura 7 observou-se que os tratamentos 2 e 4 e os controles 1 e 3, também contribuíram, de certa forma, para a morte das células bacterianas no tempo 6. Nestes casos, a morte das células bacterianas pode ser justificada pelas condições ambientais desfavoráveis a que elas foram submetidas, como por exemplo, a escassez de nutrientes.

A ineficiência demonstrada pelos tratamentos compostos por painéis revestidos com nanopartículas de prata (T2) e recobertos com nanopartículas de prata após o revestimento com poliuretana (T4) no combate a *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus*, pode ser justificada pela ocorrência da agregação das nanopartículas de prata nestes tratamentos, o que contribuiu para a redução de sua atividade antibacteriana. Esta agregação foi confirmada por micrografias obtidas após a microscopia eletrônica de varredura (MEV) (Figuras 8 A e B). A agregação das nanopartículas ocorreu devido à ausência de um agente estabilizante durante a realização da síntese de nanopartículas de prata. Optou-se pela não utilização de agentes estabilizadores para reduzir o custo do produto final.

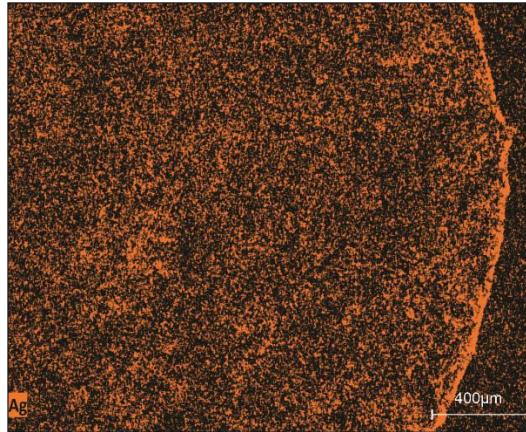
Figuras 8 (A) e (B) – Microscopia eletrônica de varredura (MEV) em painéis revestidos com nanopartículas de prata – T2 (A) e recobertos com nanopartículas de prata após o revestimento com poliuretana – T4 (B)



Fonte: Da autora (2020).

Na Figura 9, obtida após a realização da análise de espectroscopia por energia dispersiva (EDS), observou-se a região central do painel recoberto com nanopartículas de prata, por ela é possível perceber que a região onde ocorreu a aglomeração das nanopartículas de prata está bem delimitada e apresenta maior intensidade de prata se comparado as demais regiões.

Figuras 9 – Distribuição química da Ag em painéis revestidos com nanopartículas de prata (T2)

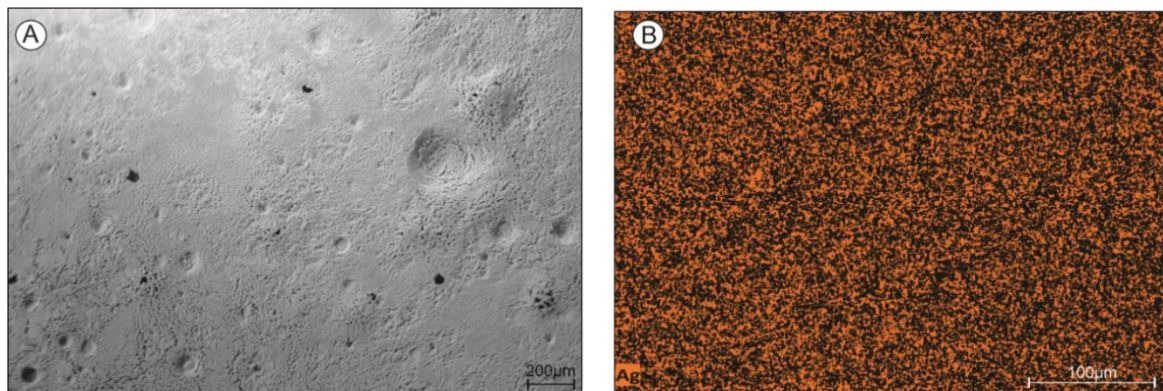


Fonte: Da autora (2020).

Em contrapartida, os painéis revestidos com 10% e 20% de nanopartículas de prata (AgNPs) inseridas na poliuretano (T5 e T6) foram os que apresentaram a maior eficiência antibacteriana na redução do número de células bacterianas, tanto para *Escherichia coli* quanto para *Staphylococcus aureus*. Este resultado se deve a estabilização das nanopartículas pela resina de poliuretano, que impediu a sua agregação e manteve sua eficiência como agente antibacteriano. Além disso, a utilização da resina de poliuretano permitiu uma distribuição mais uniforme das nanopartículas de prata sobre a superfície dos painéis e ampliou sua região de atuação, permitindo o seu contato com um maior número de células bacterianas.

A Figura 10 apresenta a micrografia da superfície dos painéis MDF após a adição do revestimento contendo 10% de nanopartículas de prata inseridas na resina de poliuretano (A) sendo possível verificar a distribuição química da Ag para este tratamento (B), após a realização da espectroscopia por energia dispersiva (EDS).

Figuras 10 – Microscopia eletrônica de varredura – MEV (A) e distribuição química de Ag (B) para painéis revestidos com 10% de AgNPs inseridas na resina de poliuretano.



Fonte: Da autora (2020).

Outro fator que também contribuiu para melhorar o desempenho antibacteriano apresentado pelos painéis revestidos com nanopartículas de prata misturadas na poliuretana nas concentrações de 10% e 20% (T5 e T6) foi o aumento da hidrofiliçidade, verificado através do ângulo de contato e da energia livre de superfície (Item 3.2), que ocasionou um melhor espalhamento das células bacterianas sobre a superfície destes painéis e permitiu que elas estivessem em contato com uma maior quantidade de AgNPs. O melhor espalhamento das células bacterianas sobre a superfície dos painéis é decorrente do aumento da energia superficial, que contribuiu para que houvesse maior interação (energia) entre as superfície e as células bacterianas.

Os resultados obtidos neste trabalho demonstraram que bactérias do gênero *Escherichia coli* (gram-negativa) apresentam maior sensibilidade a atividade antibacteriana desempenhada pelas nanopartículas de prata, se comparadas a bactérias do gênero *Staphylococcus aureus* (gram-positiva). Estes resultados podem ser justificados pela diferença existente na composição da parede celular em bactérias gram-positivas e gram-negativas.

Bactérias gram-positivas apresentam uma parede celular composta por uma espessa camada de peptidoglicano, com cerca de 20 a 80 nm, formada por polissacarídeos e peptídeos, que lhes confere maior rigidez e dificulta a penetração das nanopartículas de prata, tornando-as mais resistentes. Em contrapartida, em bactérias gram-negativas, a parede celular é composta, por duas membranas, sendo uma delas formada por lipossacarídeos e a outra por uma pequena camada de peptidoglicano, com espessura em torno de 7 a 8 nm, que lhes confere baixa rigidez e as tornam mais suscetíveis a ação das nanopartículas de prata (SIDDHARTHA et al., 2007).

Jalilian et al. (2020) encontraram resultados semelhantes ao analisarem a atividade antibacteriana de nanopartículas de prata biossintetizadas com extrato aquoso de *Allium ampeloprasum*, contra bactérias gram-negativas (*Escherichia coli* e *Pseudomonas aeruginosa*) e bactérias gram-positiva (*Staphylococcus aureus*). Neste estudo eles observaram que a bactéria gram-positiva (*S. aureus*) apresentou menos zona de inibição de crescimento, se comparadas as bactérias gram-negativa, confirmando que AgNPs tem maior atividade antibacteriana contra bactérias gram-negativas.

Mosaviniya et al. (2019) ao avaliarem a eficiência antibacteriana das nanopartículas de prata sintetizadas com extrato de *Crocus Haussknechtti* Bois, contra *S. aureus* (gram-positiva) e *P. aereginosa* (gram-negativo), relataram um maior efeito antibacteriano sob a bactéria gram-negativa se comparado gram-positiva, condizente aos dados encontrados na literatura.

4 CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos com este trabalho observou-se que os revestimentos antibacterianos produzidos a partir da inserção de 10% e 20% de nanopartículas de prata na resina de poliuretano foram eficientes no combate a *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus*, bactérias responsáveis por grande parte do surto de infecções existentes dentro de ambientes médico-hospitalares.

Foi observado que a aplicação direta de nanopartículas de prata na superfície dos painéis MDF, com e sem recobrimento de poliuretano, não demonstrou eficiência no combate as duas bactérias avaliadas, pois a ausência de um agente estabilizador permitiu a agregação das nanopartículas e comprometeu sua atividade antibacteriana.

Em relação as temperaturas avaliadas, 25° e 37° C, observou-se que a variação da temperatura não interferiu na morte das células bacterianas. Já em relação aos tempos analisados (0, 3 e 6 h), observou-se que para *Escherichia coli*, os tratamentos compostos pela mistura de AgNPs e resina de poliuretano demonstraram sua eficiência desde o primeiro contato (tempo 0 h) com as células bacterianas. Já para *Staphylococcus aureus*, a maior eficiência foi demonstrada somente após 6 h de tratamento.

De forma geral, os tratamentos compostos pela adição de 10% e 20% de nanopartículas de prata na resina de poliuretano foram muito eficientes no combate a *Escherichia coli*, ao causar a morte de todas as células bacterianas presentes na superfície, e que a adição de 10% de AgNPs é o suficiente para ocasionar a morte de todas as células de *E. coli* e impedir a sua proliferação, a partir do tempo 0 h, nas temperaturas de 25° e 37° C.

Estes tratamentos também foram eficientes no combate a *Staphylococcus aureus* ao causar a redução do número de células bacterianas presentes nas superfícies dos painéis. No entanto, neste caso, a adição de 20% de AgNPs é a mais indicada, pois foi a que demonstrou a maior redução do número de células de *S. aureus*, após 6 h de tratamento nas temperaturas de 25° e 37° C.

Portanto, os resultados obtidos com este trabalho são muito promissores para o setor de saúde pública, ao comprovar a eficiência dos revestimentos antibacterianos compostos por nanopartículas de prata e resina de poliuretano, no combate a microrganismos patogênicos presente em ambientes médico-hospitalares.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Biomateriais, ao Laboratório de Microbiologia de Alimentos, ao Laboratório de Nanotecnologia, ao Laboratório de Microscopia Eletrônica e ao Departamento de Química. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRUHWASSER, C.; HEINRICH, H.; LASS-FLORL, C.; MAYR, A. Self-disinfecting surfaces and activity against *Staphylococcus aureus* ATCC 6538 under real-life conditions. **Journal of Hospital Infection**, v. 97, n.2, p. 196-199, 2017.
- DONSKEY, C. J. Does improving surface cleaning and disinfection reduce health care-associated infections? **American Journal of Infection Control**, v. 41, n. 5, S12 – S19, 2013.
- DOLL, M.; STEVENS, M.; BEARMAN, G. Environmental cleaning and disinfection of patient areas. **International Journal of Infectious Diseases**, v. 67, p. 52-57, 2018
- FATHIMA, R.; MUJEEB, A. Tailoring thermo-optical properties of eosin B dye using surfactant-free gold-silver alloy nanoparticles. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, v. 228, p. 117713, 2020.
- FRANCI, G.; FALANGA, A.; GALDIERO, S.; PALOMBA, L.; RAI, M.; MORELLI, G.; GALDIERO, M. Silver nanoparticles as Potential Antibacterial Agents. **Molecules**, v. 20, p. 8856-8874, 2015.
- HASAN, J.; CRAWFORD, R. J.; IVANOVA, E. P. Antibacterial surfaces: the quest for a new generation of biomaterials. **Trends in Biotechnology**, v. 31, n. 5, p. 295-304, 2013.
- JALILIAN, F.; CHAHARDOLI, A.; SADRJAVADI, K.; FATTAHI, A.; SHOKOOHINIA, Y. Green synthesized silver nanoparticle from *Allium ampeloprasum* aqueous extract: Characterization, antioxidant activities, antibacterial and cytotoxicity effects. **Advanced Powder Technology**, disponível online em 22 de janeiro de 2020.
- KAHNOUJI, Y. A.; MOSADDEGH, E.; BOLORIZADEH, M. A. Detailed analysis of size-separation of silver nanoparticles by density gradient centrifugation method. **Materials Science & Engineering C**, v. 103, p. 109817, 2019.
- KHAN, Z.; AL-THABAITI, S. A.; OBAID, A. Y.; AL-YOUBI, A. O. Preparation and characterization of silver nanoparticles by chemical reduction method. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 82, n. 2, p. 513-517, 2011.
- KHAN, H. A.; AHMAD, A.; MEHBOOB, R. Nosocomial infections and their control strategies. **Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine**, v. 5, n. 7, p. 509-514, 2015.
- KHAN, H. A.; BAIG, F. K.; MEHBOOB, R. Nosocomial infections: Epidemiology, prevention, control and surveillance. **Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine**, v. 7, n .5, p. 478-482, 2017.
- LABI, A-K.; NKRUHMAH, O.; OWUSU, E.; BJERRUM, S.; BEDIAKO-BOWAN, A.; SUNKWA-MILLS, G.; AKUFO, C.; FENNY, A. P.; OPINTAN, J. A.; ENWERONU-LARYEA, C.; DEBRAH, S.; DAMALE, N.; BANNERMAN, C.; NEWMAN, M. J. Multi-centre point-prevalence survey of hospital-acquired infections in Ghana. **Journal of Hospital Infections**, v. 101, n. 1, p. 60-68, 2019.

MACOCINSCHI, D.; FILIP, D.; ZALTARIOV, M. F.; VARGANICI, C. D. Thermal and hydrolytic stability of silver nanoparticle polyurethane biocomposites for medical applications. **Polymer Degradation and Stability**, v. 121, p. 238-246, 2015.

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.

MOSAVINIYA, M.; KIKHAVANI, T.; TANZIFI, M.; YARAKI, M. T.; TAJBAKHSI, P.; LAJEVARDI, A. Facile green synthesis of silver nanoparticles using *Crocus Haussknechtii* Bois bulb extract: Catalytic activity and antibacterial properties. **Colloid and Interface Science Communications**, v. 33, p. 100211, 2019.

NGUYENOVA, H. Y.; VOKATA, B.; ZARUBA, K.; SIEGEL, J.; KOLSKA, Z.; SVORCIK, V.; SLEPICKA, P.; REZNICKOVA, A. Silver nanoparticles grafted onto PET: Effect of preparation method on antibacterial activity. **Reactive and Functional Polymers**, v. 145, p. 104376, 2019.

OTTER, J. A.; YEZLI, S.; SALKELD, J. A. G.; FRENCH, G.L. Evidence that contaminated surfaces contribute to the transmission of hospital pathogens and an overview of strategies to address contaminated surfaces in hospital settings. **American Journal of Infection Control**, v. 41, n. 5, p. S6 – S11, 2013.

PAZ, V.; PANIAGUA, M.; SANTILLÁN, A.; ALANIZ, M.; D'AGOSTINO, L.; ORELLANA, R.; RODRIGUEZ, C. Hospital environment hygiene nurse: a key player to reduce healthcare associated infections by multi-resistant organisms. **Infection Prevention in Practice**, v. 2, n. 1, 2020.

PANICKER, S.; AHMADY, I. M.; HAN, C.; CHEHIMI, M.; MOHAMED, A. A. On demand release of ionic silver from gold-silver alloy nanoparticles: fundamental antibacterial mechanisms study. **Materials Today Chemistry**, v. 16, p. 100237, 2020.

PATIL, C. K.; JIRIMALI, H. D.; PARADESHI, J. S.; CHAUDHARI, B. L.; GITE, V. V. Functional antimicrobial and anticorrosive polyurethane composite coatings from algae oil and silver doped egg shell hydroxyapatite for sustainable development. **Progress in Organic Coatings**, v. 128, p. 127-136, 2019.

QUERIDO, M. M.; AGUIAR, L.; NEVES, P.; PEREIRA, C. C.; TEIXEIRA, J. P. Self-disinfecting surfaces and infection control. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 178, n. August 2018, p. 8-21, 2019.

RUTALA, W. A.; WEBER, D. J. Best practices for disinfection of noncritical environmental surfaces and equipment in health care facilities: A bundle approach. **American Journal of Infection Control**, v. 47, p. 96-105, 2019.

SIDDHARTHA, S.; BERA, T.; ROY, A.; SINGH, G.; RAMACHANDRARAO, P.; DASH, D. Characterization of enhanced antibacterial effects of novel silver nanoparticles. **Nanotechnology**, v. 18, n. 22, 2007.

SU, Y.; ZHAO, L.; MENG, F.; WANG, Q.; YAO, Y.; LUO, J. Silver nanoparticles decorated lipase-sensitive polyurethane micelles for on-demand release of silver nanoparticles. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 152, p. 238-244, 2017.

SILVA, Neusely da et al., **Manual de métodos de análise microbiológica de alimentos e água**. 4 ed. São Paulo, SP: Varela, 2016. 624 p.

WEBER, D. J.; RUTALA, W. A. Self-disinfecting surfaces: Review of current methodologies and future prospects. **American Journal of Infection Control**, v. 41, n. 5, p. S31 – S35, 2013.

ZHOU, H.; WANG, X.; WANG, T.; ZENG, J.; YUAN, Z.; JIAN, J.; ZHOU, Z.; ZENG, L.; YANG, H. In situ decoration of AgAgCl nanoparticles on polyurethane/silk fibroin composite porous films for photocatalytic and antibacterial applications. **European Polymer Journal**, v. 118, p. 153-162, 2019.