

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

MÁRCIA CAROLINE DA SILVA

**AVALIAÇÃO DO TRATAMENTO ANTIMICROBIANO COM
NANOPARTÍCULAS DE PRATA APLICADAS EM SUBSTRATOS
TÊXTEIS**

APUCARANA

2021

MÁRCIA CAROLINE DA SILVA

**AVALIAÇÃO DO TRATAMENTO ANTIMICROBIANO COM
NANOPARTÍCULAS DE PRATA APLICADAS EM
SUBSTRATOS TÊXTEIS**

**Evaluation of antimicrobial treatment with silvernanoparticles
applied on textile substrates**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Têxtil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Valquiria Aparecida Dos Santos Ribeiro
Coorientador: Prof^o. Dr^o. Rafael Block Samulewski

APUCARANA

2021



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos.

Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Apucarana
COENT – Coordenação do curso superior em Engenharia Têxtil



TERMO DE APROVAÇÃO

Título do Trabalho de Conclusão de Curso:

**AVALIAÇÃO DO TRATAMENTO ANTIMICROBIANO COM NANOPARTÍCULAS DE PRATA
APLICADAS EM SUBSTRATOS TÊXTEIS**

Por

MÁRCIA CAROLINE DA SILVA

Monografia apresentada às 18:00 horas do dia 16 de Agosto de 2021, como requisito parcial, para conclusão do Curso de Engenharia Têxtil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Apucarana. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação e conferidas, bem como achadas conforme, as alterações indicadas pela Banca Examinadora, o trabalho de conclusão de curso foi considerado **APROVADO**.

PROFESSORA VALQUÍRIA APARECIDA DOS SANTOS RIBEIRO – ORIENTADORA

PROFESSOR MURILO PEREIRA MOISÉS – EXAMINADOR

PROFESSOR FÁBIO ALEXANDRE PEREIRA SCACCHETTI – EXAMINADOR

*A Folha de aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

Este trabalho é dedicado a minha família, em
especial à minha mãe Sueli e minha irmã
Mariana.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), seus professores e colaboradores. Pela oportunidade de mudar a minha vida através dos estudos.

Ao meu coorientador, Dr. Rafael Block pela disponibilidade e auxílio com toda a parte química envolvida. Sem dúvidas um dos melhores professores que já conheci.

A minha mãe, Sueli Pitta Mourinho da Silva pelo apoio, paciência e amor, ao exemplo de caráter e espírito de luta que permitiu que eu nunca desistisse dos meus objetivos ao longo da minha vida.

Ao meu melhor amigo Braian, por ter me incentivado desde o início a correr atrás dos meus sonhos por mais difíceis que pareçam os obstáculos.

A minha irmã Mariana pelo apoio, amor e por compreender os momentos de ausência.

Aos amigos, Daniel, Jéssica, Raissa, Lucas, Zuri, Jefferson pelo companheirismo e ombro amigo nesses anos de graduação.

As minhas amigas, Marina, Vivían e Alice por me darem todo suporte nessa etapa final do trabalho de conclusão de curso.

À minha orientadora, Dra. Valquiria A.S. Ribeiro, por todo apoio durante os 5 anos de graduação. Foi uma honra ser orientada por você. Agradeço por toda paciência e pelos direcionamentos prestados, essenciais para o desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

A mudança de hábitos cotidianos em função da pandemia do vírus SARS-Cov-2 levou a busca por novas aplicações comerciais das tecnologias que visam minimizar a contaminação e disseminação viral. Nesse contexto, a nanotecnologia e a indústria têxtil podem ser grandes aliadas no combate à vírus e bactérias, visando novas tecnologias contra vetores pandêmicos. Uma frente interessante é a combinação de têxteis e nanopartículas de prata (NPs), partículas essas que apresentam ação antimicrobiana contra cerca de 650 microorganismos patogênicos. Este trabalho teve como objetivo avaliar o tratamento antimicrobiano de nanopartículas de prata de fonte comercial, aplicado diretamente na polimerização da poliamida e, por impregnação via foulard em poliéster utilizando a técnica de *pad-dry-cure* para funcionalização. As caracterizações das nanopartículas e do substrato têxtil foram realizadas através da análise visual, Espectroscopia no Ultravioleta Visível (UV-Vis) e técnicas como a Microscopia eletrônica de Varredura (MEV), Espectrometria de emissão óptica com plasma(ICP-OES). As nanopartículas de prata apresentaram tamanho médio de 25 nm e, em todos os ensaios a incorporação foi satisfatória mostrando a presença das nanopartículas de prata após a aplicação através da análise ICP-OES. Análises microbiológicas preliminares mostraram a eficácia do tratamento antimicrobiano, com resultados de até 99,99% de redução. Já a análise antiviral foi realizada para a aplicação via polimerização *in situ*, a qual teve um resultado de 2 Logs = 99% de inativação, na cepa do SARS-Cov-2, mostrando o potencial das nanopartículas de prata. O estudo mostrou a efetividade da aplicação das nanopartículas em têxteis.

Palavras-chave: Pandemia; Indústria Têxtil; Nanopartículas; Antimicrobiano; Prata.

ABSTRACT

The change in daily habits due to the SARS-Cov-2 virus pandemic has led to the search for new commercial applications of technologies that aim to minimize viral contamination and dissemination. In this context, nanotechnology and the textile industry can be great allies in combating viruses and bacteria, aiming at new technologies against pandemic vectors. An interesting front is the combination of textiles and silver nanoparticles (NPs), these particles have antimicrobial action against about 650 pathogenic microorganisms. This work aims to evaluate the antimicrobial treatment of silver nanoparticles from a commercial source, applied directly in the polymerization of polyamide and, by impregnation via foulard in polyester using the pad-dry-cure technique for functionalization. The characterizations of the textile substrate with nanoparticles were performed through visual analysis, Ultraviolet Visible Spectroscopy (UV-Vis) and techniques such as Scanning Electron Microscopy (SEM), Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES). The silver nanoparticles had an average size of 25 nm and, in all tests the incorporation was satisfactory, showing the presence of silver nanoparticles after application through the ICP-OES analysis. Preliminary microbiological analyzes showed the effectiveness of the antimicrobial treatment, with results up to 99.99% reduction. Antiviral analysis was performed for application via *in situ* polymerization, which had a result of 2 Logs = 99% inactivation, in the SARS-Cov-2 strain, showing the potential of silver nanoparticles. The study revealed the effectiveness of the application of nanoparticles in textiles.

Keywords: Pandemic; Textile Industry; Nanoparticle; Antimicrobial; Silver.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Classificação das fibras têxteis	15
Figura 2 – Polímeros de PES, I politereftalato de etileno (PET), II politereftalato de butileno (PBT), III politereftalato de trimetileno (PTT), IV politereftalato de 1,4-dimetilciclohexano (PDCT) e V poliácido láctico (PLA)	16
Figura 3 – Representação do ligante amida	17
Figura 4 – Reação de esterificação	19
Figura 5 – Representação escala nanométrica	20
Figura 6 – Aplicação da nanotecnologia em têxteis	21
Figura 7 – Esquema de placa de titulação: $TCID_{50}$)	30
Figura 8 – Análise visual do aditivo à base de nanopartícula de prata. A) Aditivo concentrado e B) Aditivo diluído a 13 ppm	31
Figura 9 – Estudo das propriedades ópticas plasmônicas de absorção e espalhamento das NPs de Ag utilizando UV-vis	32
Figura 10 – Espectro de absorção UV/vis para nanopartículas de prata	33
Figura 11 – Espectro de absorção UV/vis para nanopartículas de prata padrão	33
Figura 12 – Tipos de morfologia NPs Ag- imagens representativas de microscopia eletrônica de nanoestruturas de Ag sintetizadas, (A) Nanosfera de prata , (B) Colares de prata, (C) Nanobares de prata, (D) nanocubos, (E) nanoprisma, (F) bipirâmidas , (G) estrela, (H) nanofio, (I) Partícula de sílica incorporada em nanopartículas de prata.	34
Figura 13 – MEV da poliamida no aumento 500x e 2000x	35
Figura 14 – Tamanho das nanopartícula de prata	35
Figura 15 – Relação entre a coloração, UV-vis e a morfologia da NP	36
Figura 16 – Mecanismo de ação das AgNPs em bactérias	40
Figura 17 – Representação gráfica do título viral ($\log_{10} TCID_{50}$) após 15 minutos de contato de amostras de tecido com ou sem tratamento em relação ao controle viral (recuperação viral da solução estoque) de SARS-CoV-2.	40
Figura 18 – Mecanismo de ação das AgNPs em vírus	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais precursores, redutores e estabilizantes de nanopartículas metálicas formadas por redução de sais metálicos	23
Tabela 2 – Estudos utilizando nanopartículas de prata	24
Tabela 3 – Processos de incorporação das Nanopartículas	25
Tabela 4 – Correlação entre o tamanho da partícula e o comprimento de onda	33
Tabela 5 – Resultado da análise ICP-OES - Poliamida	37
Tabela 6 – Resultado da análise ICP-OES - Poliéster	37
Tabela 7 – Resultados bactericidas do PES - <i>Klebsiella pneumoniae</i>	38
Tabela 8 – Resultados bactericidas do PES - <i>Staphylococcus Aureus</i>	38
Tabela 9 – Resultados bactericidas da PA - <i>Klebsiella pneumoniae</i>	38
Tabela 10 – Resultados bactericidas da PA - <i>Staphylococcus Aureus</i>	39
Tabela 11 – Resultados bactericidas PA e PES - <i>Cutibacterium acnes</i>	39
Tabela 12 – Determinação da ação virucida da amostra Tecido Tratado com AgNPs contra o SARS-CoV-2	41

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

Ag	Prata
AgNPs	Nanopartículas de prata
Au	Ouro
ANVISA	Agência Nacional da Vigilância Sanitária
BHET	Tereftalato debis-hidroxietila
CD	Ciclodextrina
DMT	Dimetil tereftalato
ICP-OES	Espectrometria de emissão óptica com plasma
ISI	Instituto Senai de Inovação em Eletroquímica
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
NP	Nanopartícula
PA	Poliamida
PES	Poliéster
PET	Poli tereftalato de etila
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
TA	Ácido tereftalico
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS	13
2.1	OBJETIVO GERAL	13
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3	JUSTIFICATIVA	14
4	REFERENCIAL TEÓRICO	15
4.1	FIBRAS TÊXTEIS	15
4.2	POLIÉSTER	16
4.3	POLIAMIDA	17
4.4	POLIMERIZAÇÃO	18
4.5	ACABAMENTOS	19
4.6	NANOTECNOLOGIA	20
4.7	PRATA	22
4.7.1	Aplicações	23
4.7.2	Incorporação das NPs	24
5	METODOLOGIA	27
5.1	MATERIAIS	27
5.2	MÉTODOS	27
5.2.1	Preparação das amostras	27
5.2.2	Funcionalização do substrato têxtil	27
5.2.2.1	Impregnação	27
5.3	CARACTERIZAÇÕES	27
5.3.1	Análise Visual	28
5.3.2	Espectroscopia no Ultravioleta Visível (UV-Vis)	28
5.3.3	Microscopia eletrônica de varredura	28
5.3.4	Espectrometria de emissão óptica com plasma	28
5.3.5	Análises Microbiológicas	29
5.3.5.1	Análise Biológica	29
5.3.5.2	Análise Antiviral	29
6	RESULTADOS	31
6.1	ANÁLISE VISUAL	31
6.2	UV-VIS	32
6.3	MORFOLOGIA	34
6.4	QUANTIFICAÇÃO DAS NANOPARTÍCULAS DE PRATA	36
6.5	ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS	37
6.5.1	Análise antibacteriana	37
6.5.2	Análise antiviral	40
7	CONCLUSÕES	42

8	SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	43
	REFERÊNCIAS	44

1 INTRODUÇÃO

Nos dias de hoje é imprescindível não pensar em um ambiente seguro e protegido da contaminação por microrganismos patogênicos. A demanda por têxteis funcionais cresce tanto para uso médico hospitalar quanto para uso cotidiano. A pandemia do coronavírus (COVID 19), causou um impacto catastrófico no sistema de saúde pública. Testando os nossos limites, exigindo comprometimento e união de diversas áreas da ciência visando o controle da infecção. Em decorrência da atual situação, estudos voltados para proteção antimicrobiana têm uma atenção ainda maior (MARCOMINI, 2021).

O uso de nanotecnologia como suporte nesse cenário pandêmico (TANG *et al.*, 2021), vem ganhando espaço de maneira exponencial nos mais variados campos da ciência (VHANNABATTE *et al.*, 2017). A aplicação da nanotecnologia na indústria têxtil se dá no processo de fiação, seja na polimerização ou extrusão ou no processo de beneficiamento, que tem por finalidade adicionar, funcionalizar ou até mesmo melhorar características do artigo têxtil (CARUZI, 2017)(YETISEN *et al.*, 2016).

Existem diversos elementos que podem ser utilizados na produção de Nanopartículas (NPs), como por exemplo a prata, o cobre e a quitosana (RANGAYASAMI *et al.*, 2021). Em especial as nanopartículas metálicas exibem inúmeras propriedades benéficas, como atividade antibacteriana, antifúngica, antiviral e resistência UV (BUTOLA *et al.*, 2019).

Segundo Scacchetti (2017), muitos estudos abordam a respeito de têxteis funcionalizados, aproveitando da extensa área efetiva e também da possibilidade de produzir têxteis com uma vasta aplicabilidade. O desenvolvimento desse estudo visa avaliar a aplicação de nanopartículas de prata, aplicadas no processamento como no acabamento dos substratos têxteis.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o tratamento antimicrobiano com nanopartículas de prata em tecidos de poliamida e poliéster.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para atingir o objetivo geral proposto é necessário satisfazer os seguintes objetivos específicos:

- Funcionalizar/impregnar o tecido de poliéster;
- Avaliar a aplicação das nanopartículas no processamento da poliamida fornecida pela empresa Beta;
- Aplicar nanopartículas de prata por impregnação via *foulard* no poliéster;
- Avaliar a aplicação das nanopartículas no processo de impregnação via *foulard* do Poliéster
- Caracterizar as nanopartículas de prata, através de análise visual, Espectroscopia no Ultravioleta Visível (UV-Vis) e caracterizar as amostras de tecido com acabamento por Microscopia eletrônica de Varredura (MEV), Espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES);
- Analisar o efeito do tratamento antibacteriano e antiviral na poliamida e no poliéster, de acordo com a AATCC 100 e a ISO 18184.

3 JUSTIFICATIVA

A atual pandemia do COVID-19, causada pela síndrome respiratória aguda grave do coronavírus (SARS-CoV-2) é considerada uma infecção viral altamente contagiosa e patogênica (DASHRAATH *et al.*, 2020). O SARS-COV-2 é transmitido principalmente por meio de gotículas na escala entre 5-10 μm . A transmissão ocorre a partir do momento que um indivíduo infectado emite gotículas contendo o vírus, seja ao espirrar, tossir ou falar. Essas gotas também podem se alojar em objetos fixos ou móveis, podendo assim ser transferida para o indivíduo que entrar em contato com essa superfície (OMER *et al.*, 2020).

Os estudos voltados para proteção diante desse cenário, é a utilização de têxteis funcionalizados com ação antimicrobiana MARCOMINI (2021). A funcionalização ocorre com a utilização de princípios ativos que tem por objetivo proteger tanto o artigo têxtil do crescimento microbiano, como também uma proteção extra ao indivíduo contra microrganismos patogênicos (VAZ *et al.*, 2013).

De acordo com (DURÁN *et al.*, 2007) as nanopartículas de prata são confiáveis para conferir propriedades antibacterianas e outras propriedades funcionais em comparação com outras nanopartículas.

Com o intuito de reduzir a contaminação cruzada¹, e por sua vez a propagação do SARS-COV-2 se faz importante estudar meios eficazes de prevenir a transmissão viral e reduzir seus efeitos devastadores. A indústria têxtil pode ser uma grande aliada no combate ao corona vírus. Sendo assim, esse trabalho visa estudar a atividade antimicrobiana da prata, e verificar a ação quando incorporado na polimerização da poliamida que é a fibra sintética com ampla aplicação em artigos esportivos e na impregnação de tecido de poliéster que trata-se da fibra mais utilizada no mundo.

¹ De acordo com a Agência Nacional da Vigilância Sanitária (Anvisa), contaminação cruzada é um processo que ocorre quando os agentes contaminantes que estão em um local ou superfície são transferidos para produtos, alimentos, mãos e/ou superfícies para propagação dos microrganismos.

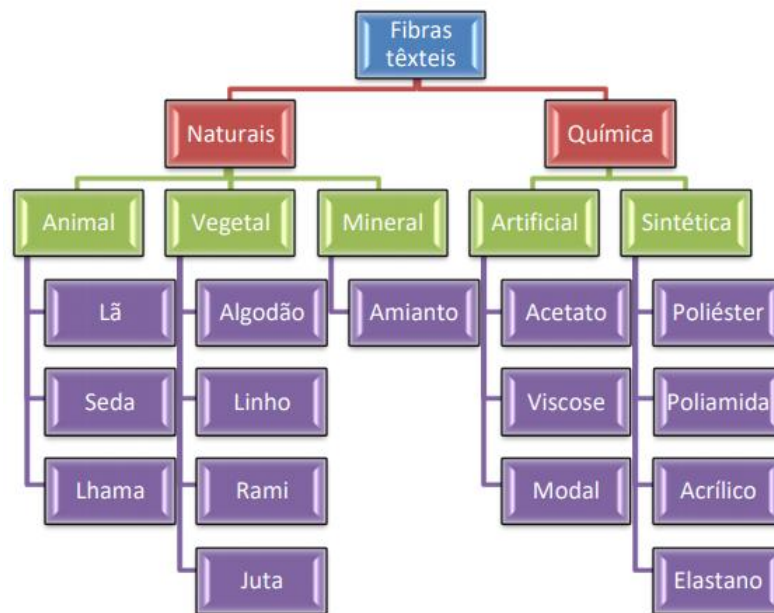
4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 FIBRAS TÊXTEIS

As fibras têxteis são constituídas por átomos ligados entre si, formando extensas cadeias moleculares. A formação dessas cadeias ocorre por meio da polimerização, processo que dá origem a formação de polímeros. Por se tratar de um polímero, as fibras possuem regiões amorfas e cristalinas, de acordo com seu grau de orientação (CARUZI, 2017).

As fibras têxteis são classificadas em dois grandes grupos: naturais e químicas. Sendo as fibras naturais de origem vegetal ou animal, enquanto as químicas podem ser divididas em artificiais regeneradas ou sintéticas (BURKINSHAW, 2016). A Figura 1, mostra uma representação da classificação das fibras.

Figura 1 – Classificação das fibras têxteis



Fonte: Coutinho (2018)

Dentro das fibras sintéticas, destaca-se as duas fibras, poliéster e poliamida, que serão abordadas nesse estudo. A fibra de poliéster, que é a fibra mais produzida e consumida no mundo. As razões para o sucesso do poliéster é devido ao baixo custo, fácil processabilidade, excelente desempenho e extensa aplicabilidade (LEWIN, 2006).

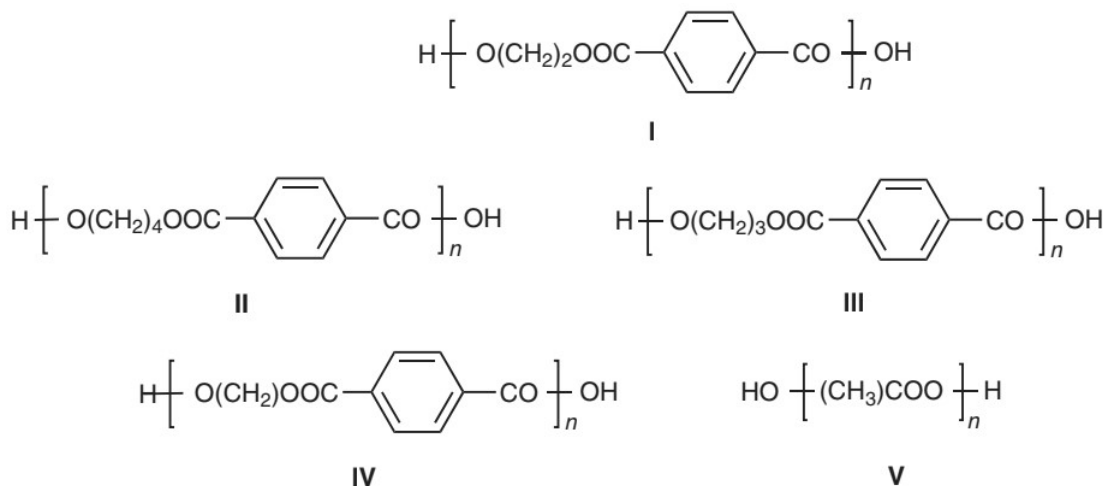
O desenvolvimento da fibra de poliamida, segundo (LEWIN, 2006) é intrigante, ela foi sintetizada pela primeira vez em 1931 pela Dupont. Utilizada inicialmente para produção de

meia calça feminina teve destaque devido as suas características que se assemelham as fibras naturais, como toque, elasticidade e conforto por conta da sua respirabilidade. Atualmente, é muito utilizada na fabricação de lingerie e artigos esportivos.

4.2 POLIÉSTER

O termo poliéster (PES) se refere a família de polímeros que contém o grupo éster (-O-CO-) como principal constituinte de sua cadeia polimérica. Os poliésteres utilizados como fibras têxteis possuem uma cadeia linear, são conhecidos como termoplásticos saturados, já os poliésteres insaturados de baixa massa molar são polímeros termofixos (BURKINSHAW, 2016). Na Figura 2 podemos observar algumas representações de poliésteres.

Figura 2 – Polímeros de PES, I politereftalato de etileno (PET), II politereftalato de butileno (PBT), III politereftalato de trimetileno (PTT), IV politereftalato de 1,4-dimetilciclohexano (PDCT) e V poliácido láctico (PLA)



Fonte: Burkinshaw (2016)

Esta fibra é obtida pela condensação do ácido tereftálico (TA) e do etileno glicol. Um ponto chave para o sucesso na polimerização deste polímero é a pureza do monômero e a ausência de umidade no reator. O avanço tecnológico que permitiu a polimerização a baixo custo do PES foi o desenvolvimento de um processo de obtenção ácido tereftálico puro a partir de xilenos mistos. O dimetil tereftalato (DMT) aparece como uma opção de monômero, embora o TA seja a escolha ideal, o DMT aparece como alternativa por ser um produto da reciclagem do PES (LEWIN, 2006).

A primeira etapa da polimerização do PES é basicamente a produção de tereftalato de bis-hidroxietila (BHET). A reação de esterificação direta do TA resulta em uma mistura de

baixa concentração de BHET livre, com uma variedade de oligômeros de politereftalato de etila (PET). Durante essa etapa a retirada de umidade é de extrema importância para se obter alto peso molecular (EICHHORN *et al.*, 2009).

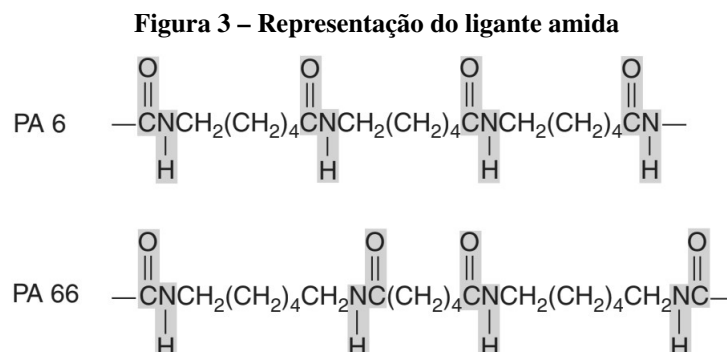
A próxima etapa é a polimerização por fundição, nessa fase ocorre uma reação de troca entre duas moléculas de BHET, dividindo uma molécula de glicol e aumentando o peso molecular do polímero. A reação precisa ser catalisada, sendo o reagente mais comum o trióxido de antimônio. Buscando elevar o peso molecular, a reação ocorre em vácuo intenso à temperaturas de 285 °C ou superiores (LEWIN, 2006).

Após atingir o peso molecular alvo, o polímero pode ser extrudado e cortado em chips, para poder ser utilizado em processos de fiação (*melt spinning*), ou ser fiado diretamente. No caso do polímero em chips, o peso molecular ainda pode ser aumentado pelo processo de polimerização em estado sólido (EICHHORN *et al.*, 2009).

4.3 POLIAMIDA

O termo poliamida (PA) se refere a família de polímeros que contém o grupo amida como principal constituinte de sua cadeia polimérica. Existem três grandes subdivisões das fibras de poliamida sendo elas os grupos das poliamidas alifáticas, poliamidas semi-aromáticas e as poliamidas aromáticas. Sendo o primeiro grupo o de maior relevância no mercado têxtil, em especial dois de seus representantes a PA 6 e a PA 66, também são conhecidas pelo termo náilon (BURKINSHAW, 2016).

As poliamidas alifáticas são macromoléculas caracterizadas pela ligação do ligante amida com suas unidades estruturais, sendo derivadas predominantemente por monômeros alifáticos (LEWIN, 2006), isto é, monômeros lineares. Na Figura 3, é possível observar os ligantes da PA 6 e da PA 66.



Fonte: Burkinshaw (2016)

Ambas as poliamidas 6 e 66 são parcialmente orientadas e homopolímeros semi cristalinos que por consequência possuem regiões amorfas e regiões de alto ordenamento cristalino. A cadeia polimérica possui grupos amida (-CONH-) separados por sequências de metilenos ($-(CH_2)_n-$) com terminações de grupos carboxílicos (-COOH) e aminos (-NH₂) ou acetilaminos (COCH₃NH-) (BURKINSHAW, 2016).

Esses grupamentos químicos, em especial os grupos amidas tem grande influência nas propriedades químicas e físicas da fibra. Em consequência da intensa força intermolecular das ligações de hidrogênio entre os -NH e os -CO das cadeias moleculares adjacentes (BURKINSHAW, 2016).

Essas fibras possuem uma elevada temperatura de fusão, rigidez molecular e interações intramoleculares de ligações de hidrogênio. Essas ligações tem grande relevância no processo de formação da fibra PA. As poliamidas alifáticas geralmente são fiadas por fusão, posteriormente passando por um processo de biestiramento, sendo o primeiro a ar e o segundo em um banho de água (EICHHORN *et al.*, 2009).

Quando se deseja obter fibras com elevada resistência mecânica, o processo de fiação mais indicado é a fiação a seco. Sendo possível alcançar valores duas a três vezes maiores do que as fibras obtidas pela fiação por fusão. Esses valores são obtidos com o controle de velocidade, peso molecular, concentração do polímero e a relação de solvente (EICHHORN *et al.*, 2009).

4.4 POLIMERIZAÇÃO

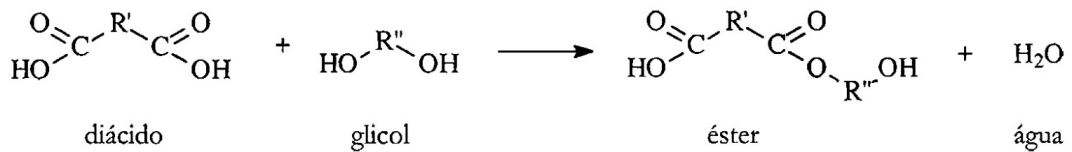
A polimerização é o processo pelo qual os monômeros são ligados por unidades de repetição com a finalidade de gerar longas cadeias. As matérias-primas para polímeros sintéticos são normalmente derivadas de carvão, gás natural e petróleo. O processo de polimerização pode ocorrer através de dois processos, sendo eles o da adição e o da condensação (CALLISTER; RETHWISCH, 2018).

Ainda segundo Callister e Rethwisch (2018), o processo por adição, também conhecido como reação em cadeia, é um processo onde as unidades monoméricas são ligadas uma a uma, formando uma estrutura em cadeia que resulta em uma macromolécula linear. A composição dessa macromolécula produto é o monômero original.

A polimerização por condensação ou reação em etapas é a formação de polímeros por reações químicas intermoleculares entre os grupos funcionais reativos, que podem envolver mais de um monômero. Geralmente, há um subproduto de pequeno peso molecular, como a água, que

é eliminado ou condensada, como podemos observar na Figura 4.

Figura 4 – Reação de esterificação



Fonte: CANEVAROLO JR (2002)

É pela reação acima representada que se dá a formação do poliéster, vale notar que como o produto se dá pela junção de dois reagentes a fórmula molecular do polímero não pode ser representada pelos monômeros de origem (CALLISTER; RETHWISCH, 2018; CANEVAROLO JR, 2002).

4.5 ACABAMENTOS

Segundo os autores Schindler e Hauser (2004), processos de acabamentos têxteis são descritos como uma série de operações aplicadas em tecidos com a finalidade de melhorar suas propriedades. O acabamento pode ser físico, químico e biológico, as técnicas utilizadas variam de acordo com a estrutura e tipo de fibra a ser utilizada.

As fibras têxteis são comumente utilizadas no mundo, desempenhando diversas funcionalidades. Propriedades intrínsecas das fibras podem favorecer o crescimento de microrganismos. Acarretando no surgimento de odores indesejáveis, manchas e diminuição das suas propriedades mecânicas (VAZ *et al.*, 2013). De acordo com a autora alguns fatores, podem propiciar o surgimento dos microrganismos, como umidade, proteínas e temperatura. As proteínas presentes nas fibras naturais favorecem o crescimento bacteriano.

No atual cenário, vemos a importância da prevenção contra as infecções causadas por microrganismos, sendo este vírus, bactéria ou fungo. Segundo Souza (2018), os artigos têxteis que possuem acabamento antimicrobiano, conseguem inativar os microrganismos quando em contato com os mesmos.

Existem diversas tecnologias antimicrobianas disponíveis para utilização no acabamento têxtil. Vão desde compostos orgânicos como, por exemplo, o triclosan; metais como a prata e o cobre e sais metálicos; substâncias derivadas de materiais naturais como a quitosana (SOUZA, 2018). A nanotecnologia veio para contribuir e abrir uma gama de possibilidades inovadoras, assim como novas técnicas de aplicação (VHANBATTE *et al.*, 2017).

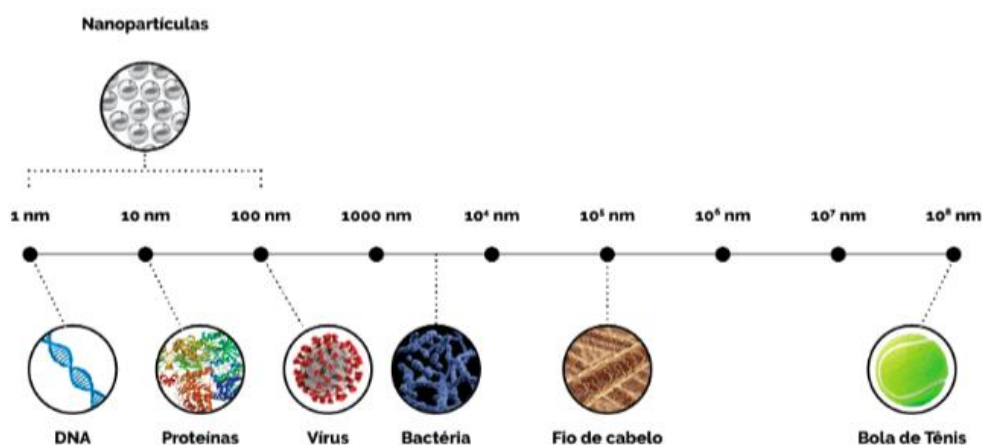
4.6 NANOTECNOLOGIA

A nanociência é o estudo da natureza em escala nanométrica, quando se aplica esses conhecimentos para obtenção de novos produtos e/ou serviços, dizemos nanotecnologia. Para Martins *et al.* (2013) a nanotecnologia é considerada um dos ramos mais promissores de tecnologia, onde é possível trabalhar em níveis celulares e moleculares com intuito de produzir maiores avanços na ciência (MAMANI, 2009). Materiais nanométricos apresentam propriedades físicas e químicas incomuns, se comparados com materiais em escala micro e macroscópica (MELO; PIMENTA, 2010). Os nanocompósitos são considerados materiais híbridos, sendo que pelo menos um de seus componentes possui dimensões nanométricas.

Para Assis *et al.* (2012), a razão para as diferenças no comportamento entre materiais compósitos e nanocompósitos está relacionada com a elevada área efetiva, o que resulta na intensa interação entre a matriz na qual estão inseridos e as nanopartículas.

Pimenta e Melo (2007), descrevem que a alteração das propriedades de uma material nanométrico ocorre por dois fatores: os efeitos quânticos e os efeitos de superfícies. O primeiro fator diz respeito a dimensão que se trabalha faz com que os efeitos quânticos se tornem mais evidentes. Já o segundo fator, mostra que quanto menor for o tamanho da amostra, melhor será o efeito, resultado do aumento da proporção entre a área e o volume. De acordo com a ASTM (2012), devem ser consideradas nanopartículas aquelas estruturas que apresentam ao menos duas dimensões na faixa entre 1 nm e 100 nm. Na Figura 5, é possível analisar a escala nanométrica, comparando o tamanho das nanopartículas com outros elementos.

Figura 5 – Representação escala nanométrica



Fonte: TNSNANO (2020)

As nanopartículas podem ser produzidas a partir de uma vasta disponibilidade de materiais como metais, polímeros entre outros (MAMANI, 2009). Segundo Ramos (2018), as nanopartículas poliméricas são estruturas sólidas e esféricas que podem ser obtidas a partir de polímeros naturais ou sintéticos.

A utilização de nanopartículas, podem melhorar o acabamento químico, funcionalizar os substratos têxteis e ainda torná-los mais duráveis (VHANBATTE *et al.*, 2017). A Figura 6 mostra exemplos de aplicação da nanotecnologia em materiais têxteis, como a propriedade antibacteriana, condutividade, hidrofobicidade, etc. (YETISEN *et al.*, 2016).

Figura 6 – Aplicação da nanotecnologia em têxteis



Fonte: Adaptado (YETISEN *et al.*, 2016)

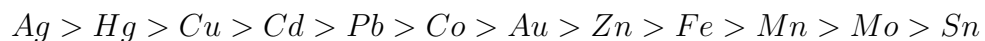
4.7 PRATA

A prata é um elemento químico de símbolo Ag, encontrado no estado sólido à temperatura ambiente. É considerada um metal maleável, dúctil, brilhante, utilizada em processos industriais como a fotografia, desinfecção de frutas, de material ortodôntico e outras diversas aplicações (SOUZA *et al.*, 2013).

A propriedade bacterida da prata é conhecida desde a antiguidade, usada na medicina por sua potente ação antimicrobiana (SILVER; PHUNG, 1996). A prata na forma metálica, assim como na sua forma iônica apresenta essa propriedade (NETO *et al.*, 2008). Na forma de nanopartículas, essas propriedades são intensificadas devido ao aumento da superfície de contato (GARCIA *et al.*, 2011).

Segundo McDonnell e Russell (1999), os mecanismos de ação bactericida são designados a reação entre a prata e grupos tiol, prata e aminoácidos e prata com grupos funcionais de enzimas. A eficácia da prata de acordo com Schreurs e Rosenberg (1982), é a capacidade de inibir a cadeia respiratória celular e a inibição de transporte de fosfatos. Atua na retirada de cátions Ca^{2+} e Zn^{2+} das células bacterianas por efeito de substituição. O seu efeito antimicrobiano é associado diretamente à concentração de íons Ag^+ , logo quanto maior a concentração de prata entende-se que maior será o efeito. Além disso, também inibi o crescimento e a permanência de microrganismos.

Garcia *et al.* (2011), descreve a ampla faixa de ação da prata coloidal, que abrange bactérias (gram-positivas/ negativas), fungos e vírus. Não é só a prata que apresenta propriedades bactericidas, outros metais também possuem essa característica como é possível observar a escala decrescente abaixo:



São diversos os agentes redutores e estabilizadores que são usados para a preparação e aplicação de AgNPs. A Tabela 1 apresenta alguns exemplos. A prata pode ser reduzida a partir do nitrato de prata através de várias substâncias orgânicas como álcoois, carboidratos, ácido tartárico, etc.

Tabela 1 – Principais precursores, redutores e estabilizantes de nanopartículas metálicas formadas por redução de sais metálicos

Precursos	Formula
Anodo metálico	Pt, Ni, Co
Cloreto de paládio	PdCl ₄
Ácido Hexacloroplatínico	H ₂ PtCl ₆
Tetracloroplatinato de potássio	K ₂ PtCl ₄
Nitrato de prata	AgNO ₃
Cloreto de ródio	RhCl ₃
Redutores	
Hidrogênio	H ₂
Citrato de sódio	Na ₃ C ₆ H ₅ O ₇
Ácido cítrico	C ₆ H ₈ O ₇
Monóxido de carbono	CO
Fósforo	P
Metanol	CH ₃ OH
Peróxido de hidrogênio	H ₂ O ₂
Estabilizadores poliméricos	
Poli(vinilpirrolidona) PVP	
Poli (vinil álcool) PVA	
Poli (fosfato de sódio)	
Poli (estearato de etilenoglicol) PEG	
Carboximetilcelulose sódica CMC	

Fonte: Cao (2004)

De acordo com Garcia *et al.* (2011):

Os métodos de redução podem variar tanto do tipo do agente redutor como da quantidade e concentração destes, bem como a temperatura de reação, velocidade de agitação e duração do processo de redução. Os diâmetros das partículas de prata resultantes da síntese dependem dessas condições.

As nanopartículas de prata utilizadas nesse estudo, são sintetizadas a partir da redução química do nitrato de prata, utilizando um agente redutor que é confidencial, pois se trata de processo de produção comercial, patentado e que faz parte do setor de pesquisa e desenvolvimento da empresa Alfa.

4.7.1 Aplicações

Como mencionado, a vantagem da utilização das nanopartículas é a necessidade da aplicação em pequenas quantidades, o que pode ser corroborado com os estudos Lee e Jeong (2005), que indicaram que com concentrações de 10, 20 e 30 ppm de nanopartículas de prata impregnadas no tecido de algodão, o número de colônias de bactérias pode ser reduzido em 99,99%.

Alguns autores como Butola *et al.* (2019) e Xue *et al.* (2012), também utilizaram as nanopartículas de prata e obtiveram excelentes resultados. Na Tabela 2, apresenta alguns dos estudos utilizando a prata, o processo utilizado e os resultados obtidos.

Tabela 2 – Estudos utilizando nanopartículas de prata

Agente Aplicador	Funcionalização	Resultados	Referência
$[Ag(NH_3)_2]^+$	Esgotamento	- 99,99% Inibição eficaz do crescimento de <i>Escherichia Coli</i> em tecidos de algodão; Além da propriedade antimicrobiana, também apresentou condutividade elétrica e hidrofobicidade.	(XUE <i>et al.</i> , 2012)
AgNO ₃ / Quitosana	Esgotamento	- Tecido de linho tratado com NPs de prata com uma base de quitosana apresenta redução do crescimento microbiano das bactérias <i>Staphylococcus Aureus</i> e <i>Escherichia Coli</i> , de 98 e 99,68 % respectivamente. - Apresentou características antioxidantes por conta da quitosana.	(BUTOLA <i>et al.</i> , 2019)
NPs de Ag	Impregnação Pad -dry-cure	- Tecidos de algodão funcionalizados com NPs de prata apresentaram um bom resultado contra <i>Staphylococcus Aureus</i> , utilizando 10 ppm e 20 ppm com redução do crescimento de 98,86% e 99,94% respectivamente. - Utilizando resina acrílica, obteve-se uma melhora na ancoragem das nanopartículas.	(LEMA <i>et al.</i> , 2017)
NPs de Ag em (PVP), e βCD	Polimerização	- A presença das NPs não alterou a estabilidade térmica, aumentou o caráter hidrofílico; - Apresentou até 100% de inibição de <i>E. Coli</i> .	(ANDRADE <i>et al.</i> , 2013)

Fonte: Autoria própria (2021)



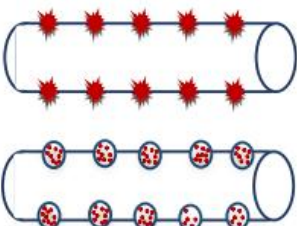
McDonnell e Russell (1999), abordam sobre AgNPs antimicrobianas, aplicadas em poliamida e seda. Realizaram imersão das fibras em uma diluição de poli (cloreto de dialildimetilamônio) e as Nps com poli (ácido metacrílico), resultando na formação de filme antimicrobiano.

4.7.2 Incorporação das NPs

Scacchetti (2017), menciona que os tratamentos antimicrobianos em substratos têxteis pode ocorrer através de métodos que promovam eficiência e durabilidade do efeito pretendido, sem alterar as propriedades dos materiais. Enfatizando a importância de levar em consideração o tipo de fibra e o agente ativo para realizar a aplicação.

A Tabela 3, aborda as formas mais comuns de incorporação de agentes antimicrobianos nos substratos têxteis. Os processos de aplicação variam de acordo com a forma de como o agente ativo é incorporado na fibra ou matriz polimérica. Podem ser adicionados diretamente na matriz polimérica (polimerização *in situ*), ou no processo de extrusão (GAO; CRANSTON, 2008). Assim como nos processos de impregnação, seja via foulard ou esgotamento.

Tabela 3 – Processos de incorporação das Nanopartículas

<i>Processos mais comuns</i>	<i>Ligação agente antimicrobiano-estrutura têxtil</i>
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Adição de compostos ativos à matriz polimérica ✓ Microencapsulamento do princípio activo e adição à matriz polimérica 	<p>(Adsorvido no substrato)</p> 
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Impregnação dos agentes ativos e fixação com resinas ✓ Aplicação por revestimento ✓ Aplicação <i>layer-by-layer</i> 	<p>(Adsorvido à superfície)</p> 
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Modificação química da fibra por introdução de grupos reactivos e reação com os agentes ativos ✓ Modificação química da fibra por copolimerização de enxerto ✓ Microencapsulamento do princípio activo e fixação a fibra 	<p>(Ligado quimicamente)</p> 

Fonte: Ristić *et al.* (2011)

Para Anton *et al.* (2008) a aplicação de nanopartículas na polimerização *in situ*², tem a vantagem de controlar a síntese do polímero na presença do agente ativo inorgânicos (metais e/ou óxidos metálicos), possibilita um controle rigoroso sobre as propriedades físicas/químicas da matriz. Permite ainda obter uma boa dispersão das cargas, originando nanocompósitos homogêneos de fácil processamento e baixo custo de produção. Além disso, a propriedade buscada ao utilizar a incorporação de AgNPs, se torna intrínseca a fibra.

A aplicação de NPs no substrato têxtil pode ser realizada pela incorporação direta na fibra no processo de extrusão ou polimerização como mencionado, que é o processo de fiação de

² Neste processo, a nanopartícula, o iniciador de polimerização/catalisador e o monômero são colocados diretamente no reator de polimerização. A inserção da nanopartícula ocorre enquanto o monômero ainda está líquido, em seguida, a polimerização começa por calor, radiação, difusão de iniciadores (ANTON *et al.*, 2008).

fibras sintéticas, ou pode ser adicionada durante o processo de acabamento, de forma contínua (CARRERAS et al., 2013).

Segundo Bezerra (2016),

O processo contínuo ou por impregnação consiste na passagem contínua do artigo têxtil por um banho estacionário, seguido de uma espremedura mecânica, em foulard. O substrato têxtil, ao passar através do banho, é saturado com a solução contendo produtos químicos, em seguida, é espremido. Durante a espremedura, uma parte do banho volta ao foulard e a outra é forçada para dentro do material têxtil.

A distribuição uniforme do produto químico sobre a superfície do substrato têxtil é de extrema importância, para garantir a uniformidade do acabamento no produto têxtil. Existem vários sistemas contínuos, algumas instalações são: *Pad-dry-cure*, *Pad-dry-steam*, *Pad-termofix* e outras (LOCKUÁN, 2013). No presente trabalho será avaliado a incorporação no processo de polimerização da poliamida e também o processo *Pad-dry-cure* do poliéster.

A aplicação do nanoacabamento, não altera o processo produtivo. A desvantagem da aplicação nesse processo é que diferente da aplicação na polimerização, a propriedade antimicrobiana não será intrínseca a fibra, neste caso é um acabamento que fica na superfície do artigo e após lavagens vai perdendo suas propriedades.

Um artigo têxtil funcionalizado com tratamento antimicrobiano, seja no processamento ou no acabamento, é definido como higiênico. Portanto, deve ter os seguintes requisitos (GAO; CRANSTON, 2008)(PAVLIDOU, 2005)(HASHEM *et al.*, 2009):

- inibição eficaz contra um amplo espectro de espécies bacterianas, fúngicas e virais;
- não toxicidade para o consumidor, fabricante e meio ambiente;
- durabilidade;
- compatibilidade com a microbiota da pele e com outros processos de acabamento;
- evita irritações e alergias;
- aplicabilidade sem efeitos adversos na qualidade ou aparência do tecido.

5 METODOLOGIA

5.1 MATERIAIS

Utilizou-se um tecido de malha 100% PES de gramatura 210 g/m^2 e 100% PA de gramatura 170 g/m^2 . As nanopartículas de prata utilizadas para funcionalização são da Empresa Alfa e a amostra de poliamida funcionalizada no processo de polimerização foi fornecida pela Empresa Beta. Todo processo foi realizado em quadruplicata.

5.2 MÉTODOS

5.2.1 Preparação das amostras

As amostras de tecido foram cortadas no tamanho $80 \times 80 \text{ cm}$, em seguida foi realizado um enxágue nas amostras, utilizando 1 ml/L de detergente não iônico, em uma relação de banho 1:40 (m:v), por 10 minutos a $40 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$.

5.2.2 Funcionalização do substrato têxtil

5.2.2.1 Impregnação

A aplicação das nanopartículas foi realizada por foulardagem pela técnica *pad-dry-cure* seguindo uma adaptação El-Tahlawy *et al.* (2005), durante 1 min em solução de 25 gL^{-1} aditivo contendo nanopartículas, a temperatura ambiente e pH 6, com *pick-up* de 80%. Após isso, o tecido foi seco a temperatura de $85 \text{ }^\circ\text{C}$ por 5 minutos e curado a $160 \text{ }^\circ\text{C}$. O equipamento utilizado é o foulard Mathis, modelo VFL.

5.3 CARACTERIZAÇÕES

Para caracterizar as AgNPs foi realizado análise visual, Espectroscopia no Ultravioleta Visível (UV-Vis). E para caracterizar os substratos têxteis funcionalizados, realizou-se Microscopia eletrônica de varredura (MEV), Espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplada (ICP-OES) e análises microbiológicas.

5.3.1 Análise Visual

Verificou-se a coloração da amostra concentrada (1000 ppm) e diluída (13g do produto em 10 mL de água).

5.3.2 Espectroscopia no Ultravioleta Visível (UV-Vis)

Para caracterização das partículas de prata nanométrica foi usado um espectrômetro UV-Vis marca Shimadzu UV-1900, faixa de 300 - 700 nm.

5.3.3 Microscopia eletrônica de varredura

Para análise morfológica realizou-se uma Microscopia eletrônica de varredura (MEV), utilizando o equipamento Hitachi TM3000 com o *sample stage* motorizado acoplado, para movimentação da amostra e o módulo para EDS, onde utilizou-se o software QUANTAX da Bruker para análise.

Prendeu-se as amostras em um suporte com uma fita de carbono, para realizar o aumento da dissipação de carga e condutividade. Utilizou-se também, fitas de cobre aderidas na superfície em regiões próximas a área de análise com a mesma intenção.

Utilizou-se as imagens geradas para verificar a morfologia e a quantidade de nanopartículas na superfície. A análise foi realizada no Instituto Senai de Inovação em Eletroquímica (ISI).

5.3.4 Espectrometria de emissão óptica com plasma

Para avaliar o teor de prata presente no aditivo à base de nanopartículas de prata, realizou-se o método ICP-OES, que consiste na digestão do material têxtil empregando ácido nítrico assistido por microondas e posterior leitura direta no equipamento ICP-OES Agium 720. A análise foi realizada no Instituto SENAI de Tecnologia Ambiental - Blumenau.

5.3.5 Análises Microbiológicas

5.3.5.1 Análise Biológica

A atividade antibacteriana foi avaliada quantitativamente, através da norma AATCC 100:2019 (*Antibacterial Parallel Streak Test Method*). Este método prevê procedimentos quantitativos para avaliação do grau de atividade antibacteriana depois de 24 horas de exposição das amostras testes aos microrganismos, comparando-as diretamente com as amostras de controle (sem tratamento antimicrobiano). Após incubação, as bactérias foram recuperadas das amostras, seguidas de procedimentos de plaqueamento e contagem. Após contagem, o percentual de redução para a amostra teste foi calculado.

$$R = \frac{(B - A)}{B} \times 100$$

sendo:

R: % de redução;

B: Contagem após 24 horas (Amostra sem tratamento);

A: Contagem após 24 horas (Amostra com tratamento).

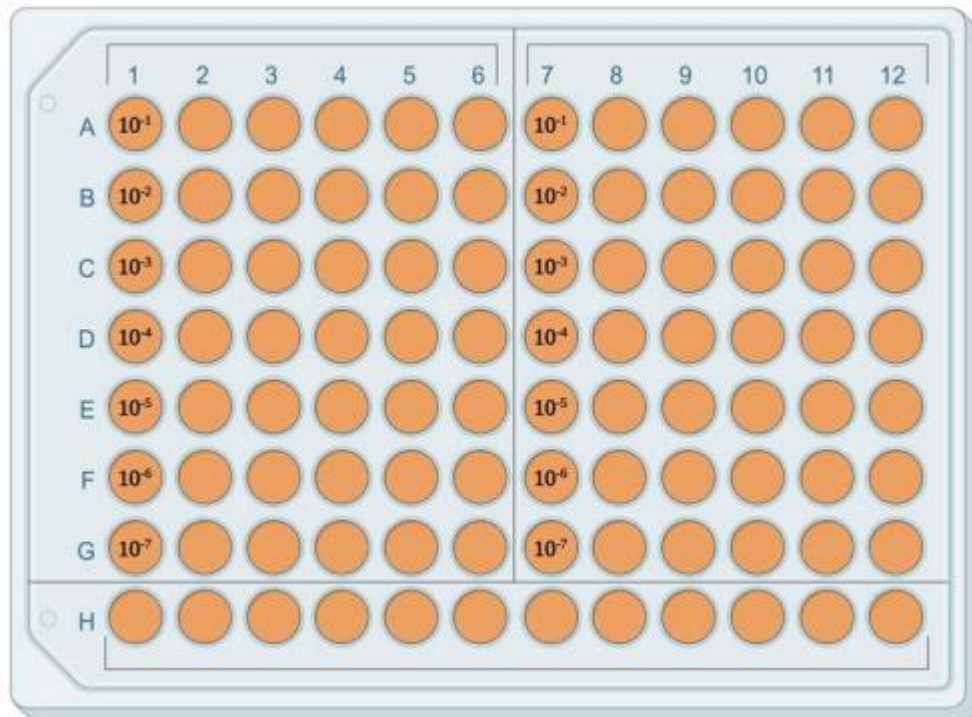
As bactérias utilizadas para o teste foram a *Staphylococcus aureus* e a *Escherichia coli* e a *Cutibacterium acnes*. A análise foi realizada no laboratório da empresa Alfa.

5.3.5.2 Análise Antiviral

A atividade antiviral foi avaliada de maneira quantitativa, através de uma adaptação da ISO 18184:2019 *Textiles — Determination of antiviral activity of textile products*, utilizando a cepa do *SARS-CoV-2*.

As amostras com dimensões padronizadas em 50 mm x 50 mm e aproximadamente 0,35g, foram acondicionadas individualmente em placas de petri, com posterior inoculação da solução viral durante o tempo de exposição, após o tempo de exposição as amostras foram transferidas para tubos Falcon. Posteriormente, ocorreu a neutralização, diluição em série e o título viral foi determinado em microplacas de 96 poços por meio da metodologia *Tissue culture infectious dose 50 (TCID₅₀)*.

Figura 7 – Esquema de placa de titulação: $TCID_{50}$



Fonte: Autoria própria (2021)

Para obtenção do percentual de redução viral, é identificado primeiramente a titulação viral de cada microplaca em Logaritmos (Log) de base 10. Posteriormente, é realizado a diferença de Log entre o grupo de controle (branco) e a amostra com atividade viral.

$$Mv = \text{Log}(Vb) - \text{Log}(Vc)$$

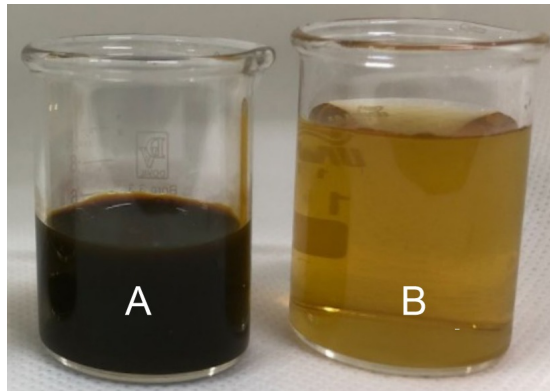
A cepa utilizada foi do vírus *SARS-Cov-2* e a análise foi realizado por CROP em parceria com o Laboratório de Biologia Molecular Unidade Especial do Laboratório de Biotecnologia Aplicada. Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina de Botucatu – UNESP (cedente da infraestrutura laboratorial para execução experimental) e no laboratório Núcleo Vitro.

6 RESULTADOS

6.1 ANÁLISE VISUAL

A coloração forte das dispersões coloidais, de acordo com Garcia *et al.* (2011) é característico de metais nobres como a prata. Isso ocorre devido a ressonância plasmônica³ na superfície. Ao realizar a análise visual, percebe-se que a coloração do aditivo à base de NPs de Ag concentrado é escura, e diluído a 13 ppm apresenta uma coloração amarelada como mostra a Figura 8.

Figura 8 – Análise visual do aditivo à base de nanopartícula de prata. A) Aditivo concentrado e B) Aditivo diluído a 13 ppm



Fonte: Autoria própria (2021)

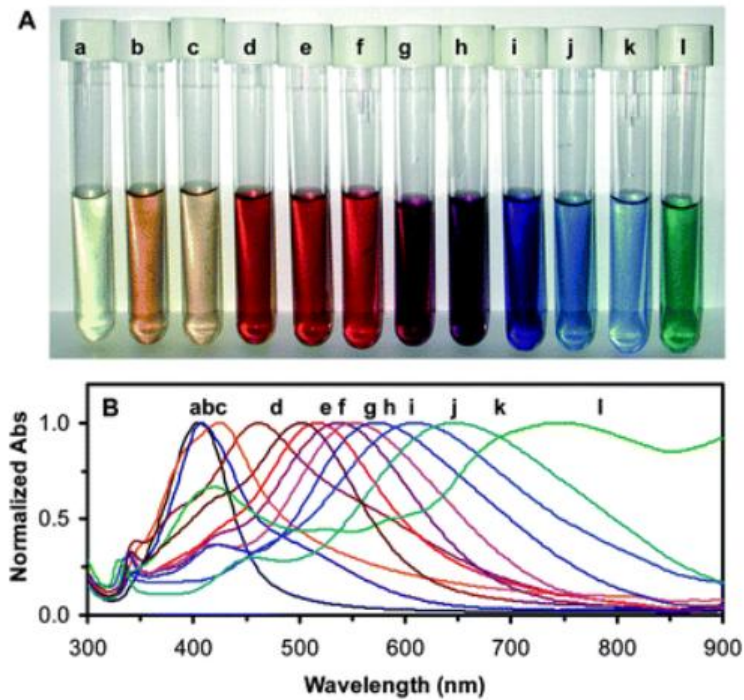
Segundo Mulfinger *et al.* (2007), a análise da coloração dos colóides de prata é uma análise inicial para verificar o estado de agregação das partículas. E ainda afirma,

"Pequenos agregados mostram uma coloração amarelo-pálida e sua posterior agregação produz mudanças desta coloração que podem variar até altos estado de agregação com coloração cinzenta."

Pastoriza-Santos e Liz-Marzán (2008) reforçam que as NPs de metais nobres, como a prata (Ag) e o ouro (Au), possuem propriedades óticas, eletrônicas e catalíticas que variam de acordo com a sua forma e tamanho. As AgNPs exibem espectros de ressonância de plasmon de superfície localizada (LSPR) (cores) que dependem diretamente do seu tamanho, forma e ambientes que se encontram (SONG *et al.*, 2010) Kelly *et al.* (2003). A Figura 9, mostra a relação da coloração com a banda.

³ É um fenômeno de alteração de cor com o tamanho que ocorre em nanopartículas de metais nobres (como o ouro, prata e cobre). Os elétrons interagem coletivamente com o campo elétrico gerando impulsos que se propagam como ondas, denominadas plasmônicas (HUANG; XU, 2010)

Figura 9 – Estudo das propriedades ópticas plasmônicas de absorção e espalhamento das NPs de Ag utilizando UV-vis



Fonte: Huang e Xu (2010)

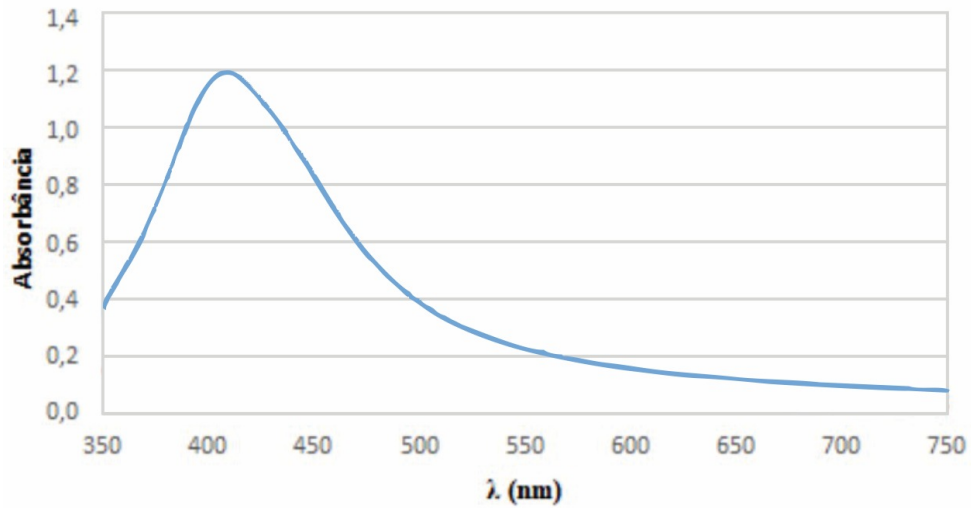
6.2 UV-VIS

A análise da espectroscopia UV-Vis (Espectroscopia no Ultravioleta Visível) das NPs avaliadas Figura 10, apresentam banda no comprimento de onda entre 400 e 420 nm, de acordo com a literatura as bandas entre 380 e 450 nm no comprimento de onda caracterizam nanopartículas de prata (MULFINGER *et al.*, 2007), (PILLAI; KAMAT, 2004), (GUZMÁN *et al.*, 2009).

De acordo com Mulfinger *et al.* (2007) a Figura 11, mostra um padrão de absorbância para colóides de prata. Sendo possível observar que a espectroscopia do aditivo analisado está dentro da mesma banda, indicando a presença de nanopartículas de prata.

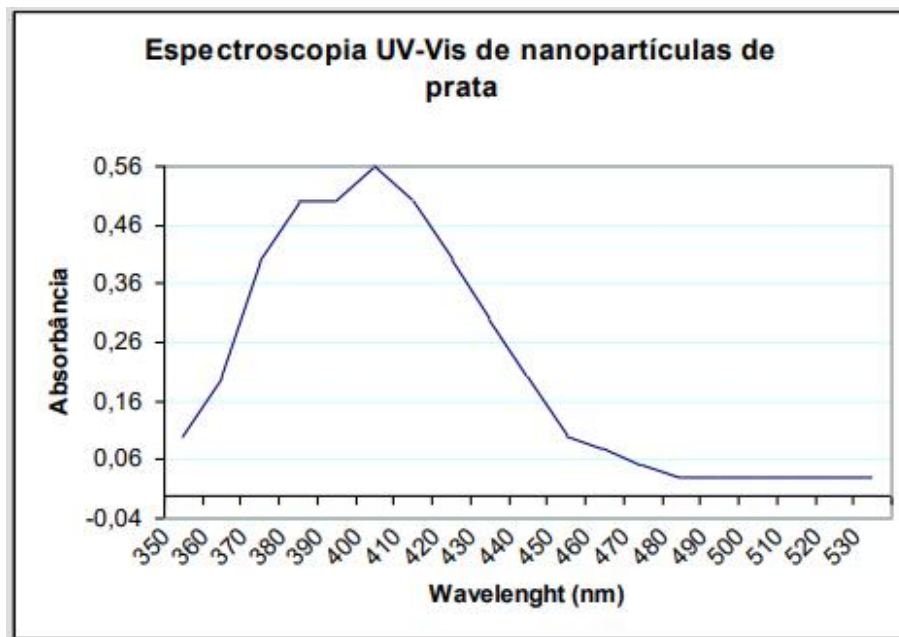
Ao analisarmos o comprimento de onda obtido, que foi entre 400-420 nm e após realizar a correlação de acordo com a Tabela 4, temos um indicativo que o tamanho das NPs está entre 14-35 nm.

Figura 10 – Espectro de absorção UV/vis para nanopartículas de prata



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 11 – Espectro de absorção UV/vis para nanopartículas de prata padrão



Fonte: Mulfinger *et al.* (2007)

Tabela 4 – Correlação entre o tamanho da partícula e o comprimento de onda

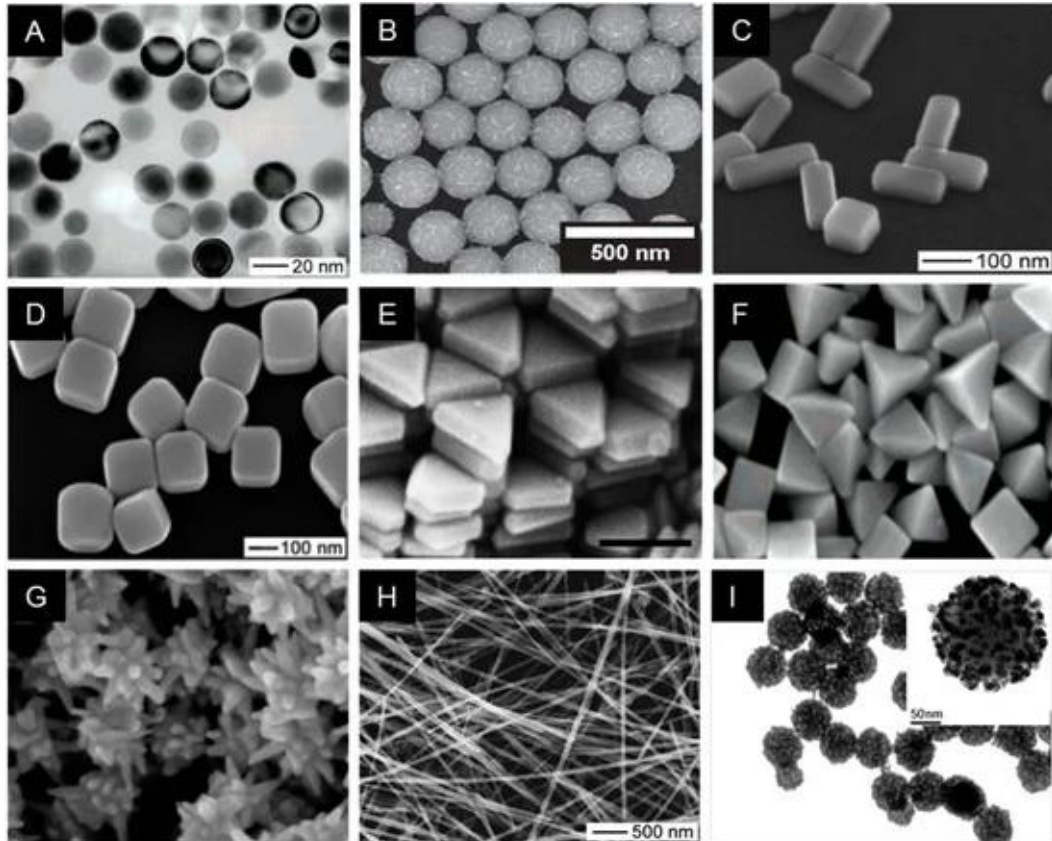
Tamanho da partícula (nm)	Comprimento de onda (nm)
5 - 10	380 - 390
10 - 14	395 - 405
35 - 50	420 - 435
60 - 80	438 - 450

Fonte: Adaptado (GARCIA *et al.*, 2011)

6.3 MORFOLOGIA

Segundo Lee e Jun (2019), através do controle da reação química é possível obter diversos tamanhos e morfologias como mostra a Figura 12.

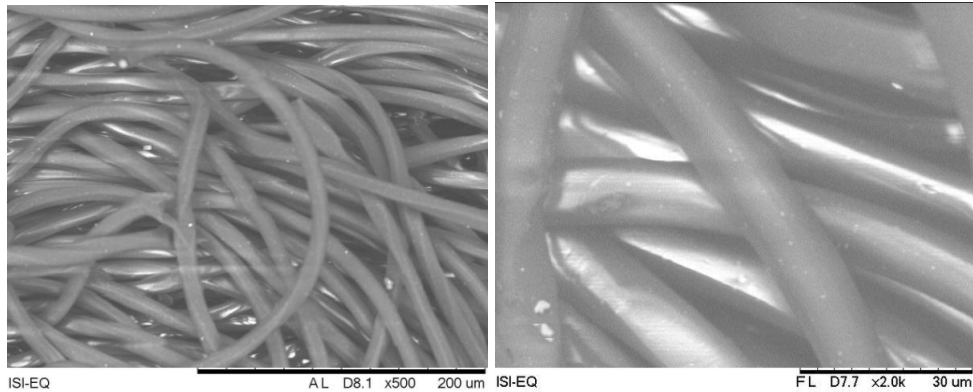
Figura 12 – Tipos de morfologia NPs Ag- imagens representativas de microscopia eletrônica de nanoestruturas de Ag sintetizadas, (A) Nanosfera de prata, (B) Colares de prata, (C) Nanobares de prata, (D) nanocubos, (E) nanoprisma, (F) bipiramidas, (G) estrela, (H) nanofio, (I) Partícula de sílica incorporada em nanopartículas de prata.



Fonte: Lee e Jun (2019)

Não foi possível identificar a morfologia através do MEV, pois durante a análise das amostras, ocorreu degradação devido ao intenso feixe de elétrons focalizado na mesma região. Na ampliação em que foi realizado o ensaio de EDS, a amostra começa queimar em análises de 500x e se degradar na ampliação 2000x. A Figura 13 é possível observar o MEV resultante da fibra de poliamida.

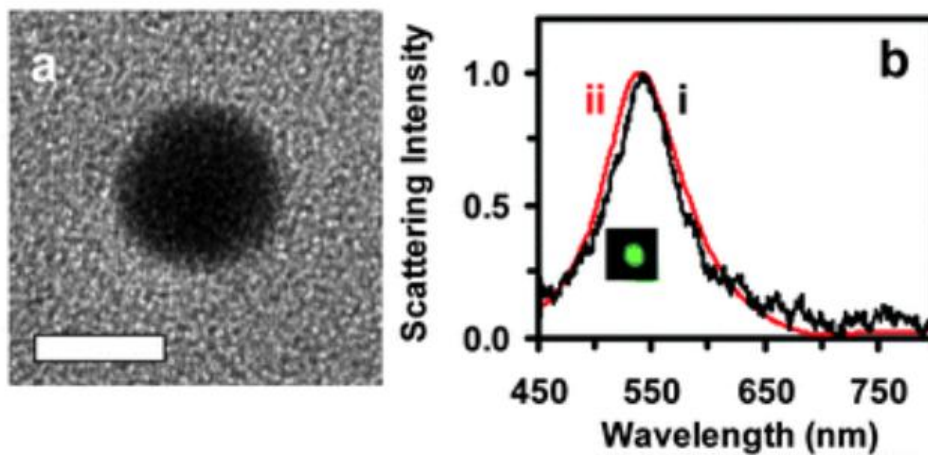
Figura 13 – MEV da poliamida no aumento 500x e 2000x



Fonte: Autoria própria (2021)

Huang e Xu (2010) apresenta a morfologia da NP e compara com a análise UV-vis, Figura 14. Com base nisso, percebe-se a similaridade da banda encontrada pelo autor, com a obtida nesse estudo. Fazendo uma correlação, temos indícios que a morfologia das NPs são esféricas.

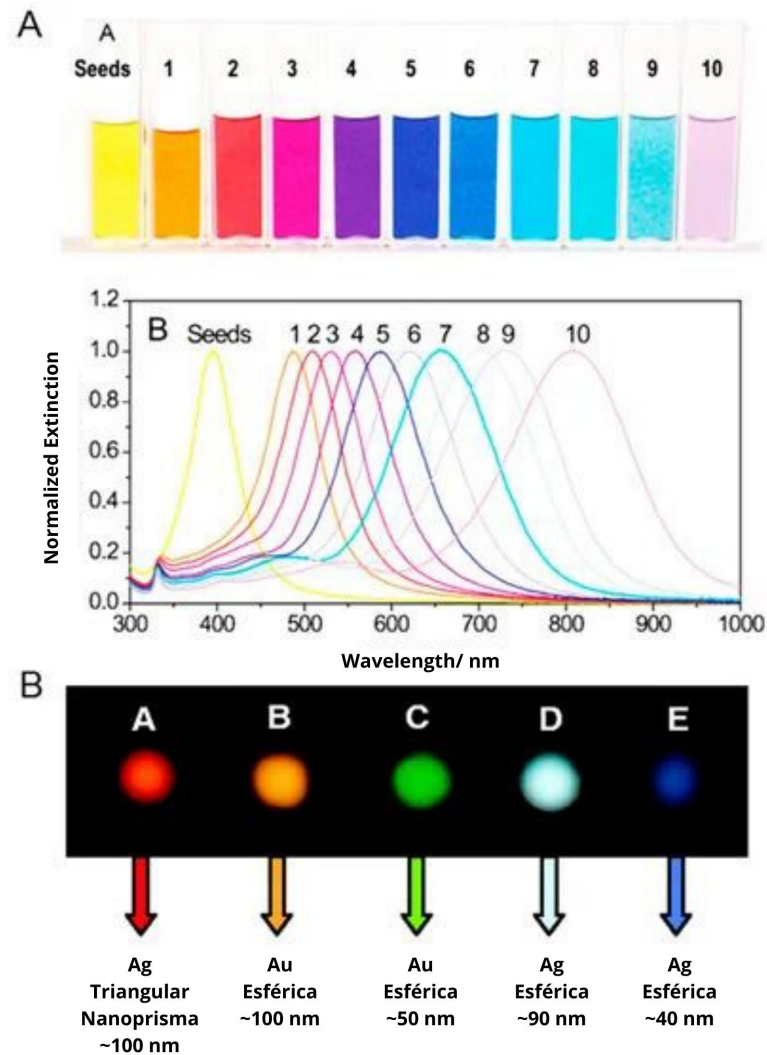
Figura 14 – Tamanho das nanopartícula de prata



Fonte: Huang e Xu (2010)

Lee e Jun (2019) também faz relação entre a coloração e o espectro obtido, reforçando o indício da morfologia das NPs dessa avaliação, Figura 15.

Figura 15 – Relação entre a coloração, UV-vis e a morfologia da NP



Fonte: Adaptado (LEE; JUN, 2019)

6.4 QUANTIFICAÇÃO DAS NANOPARTÍCULAS DE PRATA

A análise ICP-OES realizada na solução à base de AgNPs quantificou a presença de 1305,52 ppm de Ag. Como mencionado foi aplicado 25 ppm de AgNPs na polimerização *in situ* da poliamida. A média dos resultados analíticos que quantificaram a presença de AgNPs encontrado é 18,61 ppm - Tabela 5, indicando que 74,42% das nanopartículas aplicadas estão presentes no tecido de poliamida funcionalizado. Esse percentual é justificado devido a incorporação na polimerização *in situ*, segundo Anton *et al.* (2008) conferindo a fibra a propriedade intrínseca, a diferença do que foi aplicado ao que foi quantificado no tecido, pode estar atrelada a perda de processo.

Tabela 5 – Resultado da análise ICP-OES - Poliamida

Material	Parâmetros	Resultados Analíticos	Un Trab	L.Q./Faixa
Tecido de PA com NPs incorporada via polimerização (1)	Prata	18,73	ppm	1
Tecido de PA com NPs incorporada via polimerização (2)	Prata	19,00	ppm	1
Tecido de PA com NPs incorporada via polimerização (3)	Prata	18,56	ppm	1
Tecido de PA com NPs incorporada via polimerização (4)	Prata	18,13	ppm	1

Fonte: Autoria própria (2021)

No caso da aplicação via foulard da AgNPs em poliéster, aplicou-se 25 g/l o que equivale a 2% (20 ppm) de NPs. O resultado apresentado na Tabela 6, sendo a média 2,82 ppm. Ou seja, 14,1% das nanopartículas incorporadas estão presentes no tecido de poliéster. O baixo percentual, mostra que por conta da alta cristalinidade do PES, e a ausência de grupos funcionais dificulta a aderência na fibra (BURKINSHAW, 2016), sendo que apenas parte das NPs que estão no banho são agregadas na superfície do PES.

Tabela 6 – Resultado da análise ICP-OES - Poliéster

Material	Parâmetros	Resultados Analíticos	Un Trab	L.Q./Faixa
Tecido de PES com NPs aplicadas no acabamento têxtil (1)	Prata	2,83	ppm	1
Tecido de PES com NPs aplicadas no acabamento têxtil (2)	Prata	2,82	ppm	1
Tecido de PES com NPs aplicadas no acabamento têxtil (3)	Prata	2,85	ppm	1
Tecido de PES com NPs aplicadas no acabamento têxtil (4)	Prata	2,78	ppm	1

Fonte: Autoria própria (2021)

6.5 ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS

6.5.1 Análise antibacteriana

Os resultados da atividade antibacteriana para a poliamida quanto para o poliéster foram efetivos, variando em torno de 4 logs, ou seja, 99,99 % de redução das bactérias: *Klebsiella pneumoniae*, *Staphylococcus Aureus* e a *Cutibacterium acnes*, como pode ser observado nas Tabelas 7, 8, 10 ,9 e 11 . Segundo Sharma *et al.* (2010), a escala nano das nanopartículas de

prata garante melhor penetração do agente ativo à membrana celular, podendo assim, prejudicar o funcionamento celular, retardando a velocidade de suas atividades vitais, podendo então, ocasionar danos celulares.

Tabela 7 – Resultados bactericidas do PES - *Klebsiella pneumoniae*.

Amostra	Contagem no tempo "0"(UFC/amostra)	Contagem após 24 horas (UFC/amostra)	% de Redução
Poliéster Branco	$2,40 \times 10^5$	$2,6 \times 10^5$	NA
Amostra 1	2,40x	$2,6 \times 10$	99,99
Amostra 2	2,40x	$1,30 \times 10^2$	99,95
Amostra 3	2,40x	$5,20 \times 10$	99,98
Amostra 4	2,40x	$9,00 \times 10$	99,97

UFC = unidade formadora de colônia, NHC = não houve crescimento, NHR = não houve redução, NA = Não aplicável

Fonte: Autoria própria (2021)

Tabela 8 – Resultados bactericidas do PES - *Staphylococcus Aureus*.

Amostra	Contagem no tempo "0"(UFC/amostra)	Contagem após 24 horas (UFC/amostra)	% de Redução
Poliéster Branco	$2,70 \times 10^5$	$3,1 \times 10^5$	NA
Amostra 1	$2,70 \times 10^5$	$3,00 \times 10$	99,99
Amostra 2	$2,70 \times 10^5$	$6,20 \times 10$	99,98
Amostra 3	$2,70 \times 10^5$	$6,20 \times 10$	99,98
Amostra 4	$2,70 \times 10^5$	$1,86 \times 10^2$	99,94

UFC = unidade formadora de colônia, NHC = não houve crescimento, NHR = não houve redução, NA = Não aplicável

Fonte: Autoria própria (2021)

Tabela 9 – Resultados bactericidas da PA - *Klebsiella pneumoniae*.

Amostra	Contagem no tempo "0"(UFC/amostra)	Contagem após 24 horas (UFC/amostra)	% de Redução
Poliamida Branco	$3,67 \times 10^3$	$6,67 \times 10^6$	NA
Amostra 1	$3,67 \times 10^3$	$3,83 \times 10^3$	99,94
Amostra 2	$3,67 \times 10^3$	$1,40 \times 10^3$	99,98
Amostra 3	$3 \times 67 \cdot 10^3$	$3,87 \times 10^3$	99,94
Amostra 4	$3,67 \times 10^3$	$3,40 \times 10^3$	99,95

UFC = unidade formadora de colônia, NHC = não houve crescimento, NHR = não houve redução, NA = Não aplicável

Fonte: Autoria própria (2021)

Tabela 10 – Resultados bactericidas da PA - *Staphylococcus Aureus*.

Amostra	Contagem no tempo "0" (UFC/amostra)	Contagem após 24 horas (UFC/amostra)	% de Redução
Poliamida Branco	$7,67 \times 10^4$	$6,53 \times 10^7$	NA
Amostra 1	$7,67 \times 10^4$	$1,23 \times 10^3$	99,99
Amostra 2	$7,67 \times 10^4$	$<1,00 \times 10^2$	>99,999
Amostra 3	$7,67 \times 10^4$	$1,53 \times 10^3$	99,99
Amostra 4	$7,67 \times 10^4$	$2,33 \times 10^2$	99,999

UFC = unidade formadora de colônia, NHC = não houve crescimento, NHR = não houve redução, NA = Não aplicável

Fonte: Autoria própria (2021)

Tabela 11 – Resultados bactericidas PA e PES - *Cutibacterium acnes*.

Amostra	Contagem no tempo "0" (UFC/amostra)	Contagem após 24 horas (UFC/amostra)	% de Redução
Branco	$1,7 \times 10^5$	$2,0 \times 10^5$	NA
Poliamida	$1,710^5$	$2,8 \times 10$	99,98
Poliéster	$1,710^5$	$2,6 \times 10$	99,98

UFC = unidade formadora de colônia, NHC = não houve crescimento, NHR = não houve redução, NA = Não aplicável

Fonte: Autoria própria (2021)

Vários estudos relatam que a carga positiva do íon Ag^+ (o qual é cedido pelas NPs de Ag após atravessarem a parede celular dos microrganismos) é essencial para a sua atividade antimicrobiana, por meio da atração eletrostática entre a membrana celular dos microrganismos (carga negativa) e as nanopartículas (carga positiva). Dessa forma, as NPs de Ag afetam a permeabilidade seletiva da membrana, assim como a respiração, resultando na morte celular (HAMMES *et al.*, 2020), como mostra a Figura 16. As AgNPs em um ambiente aquoso são oxidados na presença de oxigênio e prótons, liberando Ag^+ íons à medida que a superfície da partícula se dissolve. A taxa de liberação de Ag^+ íons depende de uma série de fatores, incluindo o tamanho e a forma de NPs, agente de cobertura e estado coloidal (SUN *et al.*, 2003).

Figura 16 – Mecanismo de ação das AgNPs em bactérias

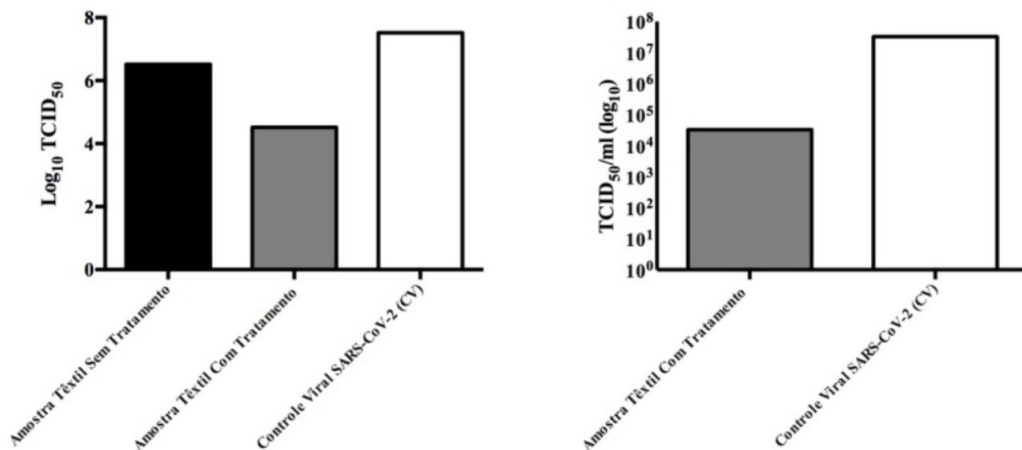


Fonte: Adaptado Lee e Jun (2019)

6.5.2 Análise antiviral

A partir da análise antiviral realizada com base na ISO 18184, utilizando a cepa do SARS-Cov-2, construiu-se a representação gráfica como mostra a Figura 17.

Figura 17 – Representação gráfica do título viral (log10 TCID50) após 15 minutos de contato de amostras de tecido com ou sem tratamento em relação ao controle viral (recuperação viral da solução estoque) de SARS-CoV-2.



Fonte: Autoria própria (2021)

Após realizar a diferença de Logs de acordo com a figura acima, o resultado foi 99% de inativação após 15 minutos de exposição como mostra a Tabela 12.

Tabela 12 – Determinação da ação virucida da amostra Tecido Tratado com AgNPs contra o SARS-CoV-2

Amostras	Log TCID50	Inativação Viral (%)	Tempo de incubação
Poliamida sem tratamento	6,52	-	15 min
Poliamida com AgNPs	4,52	99	15 min

Fonte: Autoria própria (2021)

A amostra não apresentou citotoxicidade nas linhagens celulares utilizadas nos ensaios experimentais, a morfologia e crescimento celular não foram afetadas.

De acordo com Liu *et al.* (2010) o mecanismo de ação das AgNPs se dá pelo bloqueio da ligação do vírus nas células hospedeiras, inibindo a ligação dos receptores próprios entre o vírus e o hospedeiro, não ocorrendo a adsorção entre eles, impedindo da fixação. Logo, o bloqueio da ligação nas células impede que o vírus libere seu material genético (DNA ou RNA) no interior das mesmas, reduzindo sua capacidade infecciosa nas células. Ainda, AgNPs funcionalizadas têm a capacidade de imitar o sulfato de heparano, receptor primário celular do herpes-vírus simples (HSV), por exemplo, e, portanto, a tecnologia antiviral passa a competir com o vírus pela ligação nas células. Na Figura 18, apresenta o funcionamento dos mecanismos de ação dos íons de Ag.

Figura 18 – Mecanismo de ação das AgNPs em vírus



Fonte: Adaptado (TNSNANO, 2020)

7 CONCLUSÕES

Somente no Brasil, mais de 20 milhões de pessoas foram diagnosticadas com o novo coronavírus, isso sem levar em consideração os casos assintomáticos onde indivíduo não tem ciência que está contaminado com o vírus. Dado o atual cenário, reforça-se a importância de tratamentos antimicrobianos em artigos têxteis, com objetivo de reduzir a contaminação cruzada.

Esse estudo, a partir dos resultados obtidos, foi efetivo em avaliar o tratamento têxtil utilizando nanopartículas de prata. A análise visual mostrou que a dispersão coloidal das nanopartículas de prata apresentaram coloração amarelada. Corroborando com o efeito de ressonância plasmônica que os metais sofrem.

A análise UV-vis apresentou como resultado uma banda entre 400 e 420 nm, ficando próximo do padrão encontrado na literatura. E ao relacionar o comprimento de onda com o tamanho das nanopartículas, temos um indicativo que o tamanho da AgNPs estudada varia entre 14-35 nm.

A morfologia não foi identificada através do MEV, devido as limitações do equipamento após 2000x, não sendo possível verificar a presença no substrato têxtil e o formato da nanopartícula por esse método. Ao comparar o resultado da análise UV-vis com as morfologias encontradas na literatura, temos um indicativo que as AgNPs analisadas são esféricas.

Através da análise ICP-OES, foi possível quantificar as AgNPs presentes nos substratos têxteis. Quando aplicadas na polimerização *in situ* da poliamida, o percentual de adesão na fibra foi de 74,42%, e já para aplicação via impregnação do poliéster foi de 14,1%. Isso mostra que devido a alta cristalinidade, ausência de grupos funcionais do poliéster e por se tratar de um acabamento na superfície da fibra o resultado foi inferior ao aplicado no processamento.

Os resultados obtidos nas análises microbiológicas, indicaram excelente propriedade bactericida adquirida pelos substratos após o tratamento. Tanto a poliamida, quanto o poliéster apresentaram em média 99,99% de redução de bactérias, sendo elas *Klebsiella pneumoniae*, *Staphylococcus Aureus* e a *Cutibacterium acnes*.

A análise antiviral foi realizada na poliamida funcionalizada na polimerização. E o resultado foi de 99% de inativação do SARS-Cov-2. Isso mostra que a eficácia das nanopartículas de prata aplicadas nos materiais têxteis, porém ainda é necessário analisar a durabilidade em trabalhos futuros, por meio de ensaios de solidez.

8 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

A seguir algumas sugestões de temas que podem ser estudados a fim de dar continuidade a este trabalho:

- Realizar análise de microscopia eletrônica de transmissão para confirmar a morfologia;
- Realização de análise de solidez a lavagens das amostras funcionalizadas em ambos os processos;
- Realização de estudo comparativo entre as aplicações após realizar os ciclos de lavagens;
- Realização de estudos sobre modificação de superfície do poliéster e o efeito na ancoragem das nanopartículas;
- Verificar se ocorre influência no tingimento do tecido funcionalizado na polimerização.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, Patrícia Fernanda *et al.* Preparação e caracterização de nanopartículas de prata e de nanocompósitos poliméricos antimicrobianos. [sn], 2013.

ANTON, Nicolas; BENOIT, Jean-Pierre; SAULNIER, Patrick. Design and production of nanoparticles formulated from nano-emulsion templates—a review. **Journal of controlled release**, Elsevier, v. 128, n. 3, p. 185–199, 2008.

ASSIS, Letícia Marques de; ZAVAREZE, Elessandra da Rosa; PRENTICE-HERNÁNDEZ, Carlos; SOUZA-SOARES, Leonor Almeida de. Revisão: Características de nanopartículas e potenciais aplicações em alimentos. **Brazilian Journal of Food Technology**, SciELO Brasil, v. 15, n. 2, p. 99–109, 2012.

ASTM. Standard terminology relating to nanotechnology. ASTM Int, West Conshohocken, PA, 2012.

BEZERRA, Fabricio Maestá. **Liberação controlada do óleo essencial de citronela em matriz têxtil**. 2016. Dissertação (Mestrado) — Universidade Estadual de Maringá, 2016.

BURKINSHAW, Stephen M. **Physico-chemical aspects of textile coloration**. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2016.

BUTOLA, BS; VERMA, Deepali *et al.* Facile synthesis of chitosan-silver nanoparticles onto linen for antibacterial activity and free-radical scavenging textiles. **International journal of biological macromolecules**, Elsevier, v. 133, p. 1134–1141, 2019.

CALLISTER, William D; RETHWISCH, David G. **Materials science and engineering: an introduction**. [S.l.]: Wiley New York, 2018. v. 9.

CANEVAROLO JR, Sebastião V. Ciência dos polímeros. **Artiliber editora, São Paulo**, p. 110–115, 2002.

CAO, Guozhong. **Nanostructures & nanomaterials: synthesis, properties & applications**. [S.l.]: Imperial college press, 2004.

CARUZI, Bianca Bastos. **Síntese da estrutura metal-orgânica HKUST-1 sobre a superfície de lã**. 2017. Monografia (Bacharel em Engenharia Têxtil), UTFPR (Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brazil).

COUTINHO, Luana Dumas. **Tecido de algodão funcionalizado com nanopartículas de prata visando produção de material bactericida**. 2018. Dissertação (B.S. thesis) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2018.

DASHRAATH, Pradip; WONG, Jing Lin Jeslyn; LIM, Mei Xian Karen; LIM, Li Min; LI, Sarah; BISWAS, Arijit; CHOOLANI, Mahesh; MATTAR, Citra; SU, Lin Lin. Coronavirus disease 2019 (covid-19) pandemic and pregnancy. **American journal of obstetrics and gynecology**, Elsevier, v. 222, n. 6, p. 521–531, 2020.

DURÁN, Nelson; MARCATO, Priscyla D; SOUZA, Gabriel IH De; ALVES, Oswaldo L; ESPOSITO, Elisa. Antibacterial effect of silver nanoparticles produced by fungal process on textile fabrics and their effluent treatment. **Journal of biomedical nanotechnology**, American Scientific Publishers, v. 3, n. 2, p. 203–208, 2007.

EICHHORN, Stephen; HEARLE, JWS; JAFFE, M; KIKUTANI, T. Handbook of textile fibre structure: Volume 1: Fundamentals and manufactured polymer fibres. Elsevier, 2009.

EL-TAHLAWY, Khaled F; EL-BENDARY, Magda A; ELHENDAWY, Adel G; HUDSON, Samuel M. The antimicrobial activity of cotton fabrics treated with different crosslinking agents and chitosan. **Carbohydrate polymers**, Elsevier, v. 60, n. 4, p. 421–430, 2005.

GAO, Yuan; CRANSTON, Robin. Recent advances in antimicrobial treatments of textiles. **Textile research journal**, Sage Publications Sage UK: London, England, v. 78, n. 1, p. 60–72, 2008.

GARCIA, Marcus Vinicius Dias *et al.* Síntese, caracterização e estabilização de nanopartículas de prata para aplicações bactericidas em têxteis. [sn], 2011.

GUZMÁN, Maribel G; DILLE, Jean; GODET, Stephan. Synthesis of silver nanoparticles by chemical reduction method and their antibacterial activity. **Int J Chem Biomol Eng**, v. 2, n. 3, p. 104–111, 2009.

HAMMES, Isabelle Sbaraini *et al.* Aplicação de nanopartículas de prata em produtos agrícolas e seus efeitos no meio ambiente: Uma revisão. Florianópolis, SC, 2020.

HASHEM, Mohamed; IBRAHIM, Nabil A; EL-SAYED, Wfaa A; EL-HUSSEINY, Shereef; EL-ENANY, Elham. Enhancing antimicrobial properties of dyed and finished cotton fabrics. **Carbohydrate Polymers**, Elsevier, v. 78, n. 3, p. 502–510, 2009.

HUANG, Tao; XU, Xiao-Hong Nancy. Synthesis and characterization of tunable rainbow colored colloidal silver nanoparticles using single-nanoparticle plasmonic microscopy and spectroscopy. **Journal of materials chemistry**, Royal Society of Chemistry, v. 20, n. 44, p. 9867–9876, 2010.

KELLY, K Lance; CORONADO, Eduardo; ZHAO, Lin Lin; SCHATZ, George C. **The optical properties of metal nanoparticles: the influence of size, shape, and dielectric environment.** [S.l.]: ACS Publications, 2003.

LEE, Hoon Joo; JEONG, Sung Hoon. Bacteriostasis and skin innocuousness of nanosize silver colloids on textile fabrics. **Textile Research Journal**, Sage Publications Sage CA: Thousand Oaks, CA, v. 75, n. 7, p. 551–556, 2005.

LEE, Sang Hun; JUN, Bong-Hyun. Silver nanoparticles: synthesis and application for nanomedicine. **International journal of molecular sciences**, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 20, n. 4, p. 865, 2019.

LEMA, Sandra Paola Rojas; GALEAS-HURTADO, Salomé Gabriela; GUERRERO-BARRAGÁN, Víctor Hugo. Improvement of silver nanoparticle impregnation on cotton fabrics using a binder. **Revista Facultad de Ingeniería**, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, v. 26, n. 45, p. 109–119, 2017.

LEWIN, Menachem. **Handbook of fiber chemistry.** [S.l.]: Crc press, 2006.

LIU, Wei; WU, Yuan; WANG, Chang; LI, Hong C; WANG, Thanh; LIAO, Chun Y; CUI, Lin; ZHOU, Qun F; YAN, Bing; JIANG, Gui B. Impact of silver nanoparticles on human cells: effect of particle size. **Nanotoxicology**, Taylor & Francis, v. 4, n. 3, p. 319–330, 2010.

LOCKUÁN, FE. La industria textil y su control de calidad ii fibras textiles. **Creative Commons Atribucion NoComercial-CompartirIgual**, v. 3, 2013.

MAMANI, Javier Bustamante. **Estrutura e propriedades de nanopartículas preparadas via sol-gel.** 2009. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2009.

MARCOMINI, Emilli Karine. Nanotecnologia como estratégia potencial de prevenção ao covid. **Revista da Semana Acadêmica do Curso de Medicina da UFFS-Campus Chapecó**, v. 4, n. 4, 2021.

MARTINS, CR; LOPES, WA; ANDRADE, JB. **Quim. Nova.** 2013.

MCDONNELL, Gerald; RUSSELL, A Denver. Antiseptics and disinfectants: activity, action, and resistance. **Clinical microbiology reviews**, Am Soc Microbiol, v. 12, n. 1, p. 147–179, 1999.

MELO, Celso Pinto de; PIMENTA, Marcos. Nanociências e nanotecnologia. **Parcerias estratégicas**, v. 9, n. 18, p. 09–22, 2010.

MULFINGER, Lorraine; SOLOMON, Sally D; BAHADORY, Mozghan; JEYARAJASINGAM, Aravindan V; RUTKOWSKY, Susan A; BORITZ, Charles. Synthesis and study of silver nanoparticles. **Journal of chemical education**, ACS Publications, v. 84, n. 2, p. 322, 2007.

NETO, Elias Antonio BERNI; RIBEIRO, Caue; ZUCOLOTTTO, Valtencir. Síntese de nanopartículas de prata para aplicação na sanitização de embalagens. **Embrapa Instrumentação-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2008., 2008.

OMER, Saad B; MALANI, Preeti; RIO, Carlos Del. The covid-19 pandemic in the us: a clinical update. **Jama**, American Medical Association, v. 323, n. 18, p. 1767–1768, 2020.

PASTORIZA-SANTOS, Isabel; LIZ-MARZÁN, Luis M. Colloidal silver nanoplates. state of the art and future challenges. **Journal of Materials Chemistry**, Royal Society of Chemistry, v. 18, n. 15, p. 1724–1737, 2008.

PAVLIDOU, V. New multifunctional textiles: antimicrobial treatments. *In: "Proceedings of the Intelligent Textile Structures-Application, Production and Testing International Workshop"*, Thessaloniki, Greece 2005. [S.l.: s.n.], 2005.

PILLAI, Zeena S; KAMAT, Prashant V. What factors control the size and shape of silver nanoparticles in the citrate ion reduction method? **The Journal of Physical Chemistry B**, ACS Publications, v. 108, n. 3, p. 945–951, 2004.

PIMENTA, Marcos A; MELO, Celso P. Nanociências e nanotecnologia. **Ciência e Natura**, Universidade Federal de Santa Maria, n. III, p. 9–19, 2007.

RAMOS, Izabella Maria Ferreira Campos. Nanopartículas poliméricas funcionalizadas para liberação de fármaco no sistema nervoso central. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2018.

RANGAYASAMI, Aswini; KANNAN, Karthik; MURUGESAN, S; RADHIKA, Devi; SADASIVUNI, Kishor Kumar; REDDY, Kakarla Raghava; RAGHU, Anjanapura V. Influence of nanotechnology to combat against covid-19 for global health emergency: A review. **Sensors International**, Elsevier, p. 100079, 2021.

RISTIĆ, Tijana; ZEMLJIČ, Lidija Fras; NOVAK, Monika; KUNČIČ, M Kralj; SONJAK, Silva; CIMERMAN, N Gunde; STRNAD, Simona. Antimicrobial efficiency of functionalized cellulose fibres as potential medical textiles. **Science against microbial pathogens: communicating current research and technological advances**, Formatex Research Center, v. 6, p. 36–51, 2011.

SCACCHETTI, Fabio Alexandre Pereira. Desenvolvimento de um tecido multifuncional por acabamento para utilização em vestuário desportivo. 2017.

SCHINDLER, Wolfgang D; HAUSER, Peter J. **Chemical finishing of textiles**. [S.l.]: Elsevier, 2004.

SCHREURS, WJ; ROSENBERG, H. Effect of silver ions on transport and retention of phosphate by escherichia coli. **Journal of bacteriology**, Am Soc Microbiol, v. 152, n. 1, p. 7–13, 1982.

SHARMA, Virender K; YNGARD, Ria A; LIN, Yekaterina; ZBORIL, Radek. Silver nanoparticles: Green synthesis approaches. *In*: AMER CHEMICAL SOC 1155 16TH ST, NW, WASHINGTON, DC 20036 USA. **ABSTRACTS OF PAPERS OF THE AMERICAN CHEMICAL SOCIETY**. [S.l.], 2010. v. 239.

SILVER, Simon; PHUNG, Le T. Bacterial heavy metal resistance: new surprises. **Annual review of microbiology**, Annual Reviews 4139 El Camino Way, PO Box 10139, Palo Alto, CA 94303-0139, USA, v. 50, n. 1, p. 753–789, 1996.

SONG, Yujun; NALLATHAMBY, Prakash D; HUANG, Tao; ELSAYED-ALI, Hani E; XU, Xiao-Hong Nancy. Correlation and characterization of three-dimensional morphologically dependent localized surface plasmon resonance spectra of single silver nanoparticles using dark-field optical microscopy and spectroscopy and atomic force microscopy. **The Journal of Physical Chemistry C**, ACS Publications, v. 114, n. 1, p. 74–81, 2010.

SOUZA, Augusto Ulson de. **TÊXTEIS ANTIMICROBIANOS PRODUZIDOS PELA MODIFICAÇÃO SUPERFICIAL DE TECIDOS DE ALGODÃO E IMOBILIZAÇÃO DE ENZIMA PECTINOLÍTICA**. 2018. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Santa Catarina, 2018.

SOUZA, Gustavo Duarte de; RODRIGUES, Mônica Aparecida; SILVA, Priscila Pereira; GUERRA, Wendell. Prata: breve histórico, propriedades e aplicações. **Educación química**, Elsevier, v. 24, n. 1, p. 14–16, 2013.

SUN, Yugang; MAYERS, Brian; HERRICKS, Thurston; XIA, Younan. Polyol synthesis of uniform silver nanowires: a plausible growth mechanism and the supporting evidence. **Nano letters**, ACS Publications, v. 3, n. 7, p. 955–960, 2003.

TANG, Zhongmin; ZHANG, Xingcai; SHU, Yiqing; GUO, Ming; ZHANG, Han; TAO, Wei. Insights from nanotechnology in covid-19 treatment. **Nano today**, Elsevier, v. 36, p. 101019, 2021.

TNSNANO. **Nanotecnologia. Aditivos Antivirais**. 2020.

VAZ, Joana Isabel *et al.* **Funcionalização bioativa de fibras celulósicas com aminoácidos e péptidos antimicrobianos**. 2013. Tese (Doutorado), 2013.

VHANBATTE, SB; LANDAGE, SM; WASIF, AI; DANSENA, B; KARCHE, NV. Nanotechnology for antimicrobial finishing of textiles. **International Journal of Advanced Research in Engineering and Applied Sciences (IJAREAS)**, v. 6, p. 14–23, 2017.

XUE, Chao-Hua; CHEN, Jia; YIN, Wei; JIA, Shun-Tian; MA, Jian-Zhong. Superhydrophobic conductive textiles with antibacterial property by coating fibers with silver nanoparticles. **Applied surface science**, Elsevier, v. 258, n. 7, p. 2468–2472, 2012.

YETISEN, Ali K; QU, Hang; MANBACHI, Amir; BUTT, Haider; DOKMECI, Mehmet R; HINESTROZA, Juan P; SKOROBOGATIY, Maksim; KHADEMHOSEINI, Ali; YUN, Seok Hyun. Nanotechnology in textiles. **ACS nano**, ACS Publications, v. 10, n. 3, p. 3042–3068, 2016.