

NICOLINI; João Victor ¹, MOURÃO; Laís dos Santos ², SOARES; Tatiane Souza ³

RESUMO

1. Resumo Os avanços recentes em nanociência e nanotecnologia tem representado um enorme impacto na indústria. Em diferentes segmentos, tem sido observada uma tendência do consumidor a optar por produtos com maior durabilidade e funcionalidade. Na área têxtil, a nanotecnologia vem sendo incorporada aos tecidos para atender a estas demandas, com o desenvolvimento de materiais com propriedades antimicrobianas, autolimpantes, de proteção ultravioleta (UV) e antiestática, retardadoras de fogo, entre outras. Fibras incorporadas com nanopartículas metálicas demonstram propriedades antimicrobianas e antivirais, podendo ser empregadas para a prevenção da propagação de vírus e bactérias, como por exemplo, o vírus SARS-Cov-2, principalmente em áreas críticas, como unidades de saúde e locais públicos. O objetivo de estudo deste trabalho é avaliar os principais nanomateriais empregados na modificação superficial de materiais têxteis e suas propriedades. Os resultados mostram que o emprego de nanomateriais como nanopartículas de óxido de titânio (TiO₂), nanopartículas de sílica (SiO₂), nanopartículas de prata (Ag), nanopartículas de óxido de zinco (ZnO), nanopartículas de ouro (Au), nanopartículas de cobre (Cu), nanoargila e nanotubos de carbono permitem que propriedades como antibacterianas e antivirais, de proteção UV e superhidrofobicidade, por exemplo, sejam melhoradas ou adicionadas aos têxteis sem alterar suas características originais, tais como conforto, respirabilidade, estética, flexibilidade e capacidade de não provocar reações alérgicas.

2. Abstract Recent advances in nanoscience and nanotechnology have a huge impact on the industry. In several segments, there has been a tendency for consumers to choose products with greater durability and functionality. In the textile area, nanotechnology has been incorporated into textile materials to meet these demands, with the development of materials with self-cleaning properties, with ultraviolet (UV) and antistatic protection, fire retardant, among others. Fibers incorporated with metallic nanoparticles have antimicrobial and antiviral properties and can be used to prevent the spread of viruses and bacteria, such as the SARS-Cov-2 virus, especially in critical areas, such as health units and public places. The aim of this study is to evaluate the main nanomaterials used in the surface modification of textile materials and their properties. The results show that the use of nanomaterials such as titanium oxide nanoparticles (TiO₂), silica nanoparticles (SiO₂), silver nanoparticles (Ag), zinc oxide nanoparticles (ZnO), gold nanoparticles (Au), nanoparticles of copper (Cu), nanoclay and carbon nanotubes allow properties such as antibacterial and antiviral, UV protection and super hydrophobicity, for example, to be improved or added to textiles without changing their original characteristics, such as comfort, breathability, aesthetics, flexibility and the ability to not cause allergic reactions.

3. Introdução Vestir-se não é apenas uma forma de proteger a pele das condições climáticas, mas também um hábito social que revela a cultura de um povo. Desta forma, o setor têxtil e de confecção no Brasil tem um grande destaque sendo a quinta maior indústria têxtil do mundo [1]. Esse grande crescimento deve vir acompanhado dos avanços tecnológicos, onde a indústria têxtil passou a buscar soluções inovadoras em funcionalidade e desempenho. Se antes o tecido era visto comumente sob uma perspectiva estética, hoje a tendência é incorporar propriedades e aplicações cada vez mais específicas a ele [2]. A principal motivação desta inclinação está na mudança de comportamento dos consumidores

¹ Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, jvnicolini@gmail.com

² Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, laisamourao@gmail.com

³ Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, souzasoare@gmail.com

que atualmente buscam bens mais duráveis, funcionais, com características aprimoradas de cor, textura e forma [3]. O algodão é o material mais comumente utilizado na confecção de tecidos devido a sua grande capacidade de absorção, maciez e respirabilidade, contudo, para aplicações que fogem do tradicional, tal fibra apresenta limitações como inflamabilidade, baixa durabilidade, além de sujar e vincar facilmente [4]. Por outro lado, materiais sintéticos podem apresentar propriedades antimicrobianas, resistências a manchas e vincos, mas não promovem um grande conforto como o algodão [5]. Neste contexto, o uso da nanotecnologia surge como uma alternativa para a criação de têxteis funcionais. A utilização de nanomateriais viabiliza a incorporação de novas funções ao tecido, sem que haja o comprometimento de sua aparência e características de conforto [6]. Através da nanotecnologia, tornou-se possível produzir, com eficiência, materiais mais resistentes, condutores, leves, flexíveis, que não provocam alergia, são capazes de detectar e responder a estímulos químicos, magnéticos, elétricos, mecânicos, térmicos ou ópticos [5, 7]. Ao aplicar a nanotecnologia e os conceitos da nanociência em tecidos, novas utilidades surgem, tais como têxteis com capacidade de repelência a água e óleo, com propriedades antiestáticas, resistentes a rugas, bloqueadores de radiação UV, antimicrobianos, antibacterianos, antivirais e autolimpantes, retardantes ao fogo, cujas aplicações podem ser exploradas nas mais diversas áreas [8]. A Figura 1 apresenta algumas destas propriedades. Como destaque, a nanotecnologia tem possibilitado avanços na indústria têxtil em relação à redução da disseminação de vírus e bactérias, em roupas de proteção como jalecos, máscaras faciais, aventais e EPIs, em decorrência das recentes epidemias causadas por vírus como SARS, SARS-Cov-2, MERS, Ebola e H1N1 [9]. Esta revisão tem como objetivo abordar novas propriedades e aplicações decorrentes do uso da nanotecnologia no setor têxtil. <https://drive.google.com/file/d/1LvMVRMTskgiodmlvb8mWEzDqHbgNr5y/view?usp=sharing> Figura 1 – Propriedades alcançadas nos materiais têxteis com a aplicação da nanotecnologia.

4. Metodologia A busca por estudos na área foi realizada nos mecanismos de pesquisa científica *Science-direct* e *Scopus*, para os últimos 10 anos, por meio da combinação entre as seguintes palavras-chave: “*nanotechnology*” e “*textile*”. O critério de seleção ocorreu em função dos trabalhos mais relevantes acerca dos nanomateriais mais empregados na indústria de tecidos e as principais propriedades associadas, sendo elas: antibacterianas e antivirais, de proteção UV e hidrofobicidade.

5. Resultados De acordo com o levantamento realizado utilizando as duas palavras-chave, verificou-se que entre 2010 e 2020 foram publicados 495 artigos (artigos de pesquisa e artigos de revisão) e um crescente aumento ao longo dos anos, conforme pode ser verificado na Figura 2. Isso mostra a importância da temática e os avanços que têm sido alcançados, em áreas como ciência dos materiais, química, meio ambiente, física, engenharia e energia. A Figura 3 apresenta as principais áreas de publicação destes estudos de aplicação da nanotecnologia em materiais têxteis. https://drive.google.com/file/d/14o6oXHqfHmJ3moxvl_LCD7IDSrw0TXyX/view?usp=sharing Figura 2 – Quantidade anual de artigos de pesquisa e revisão publicados entre 2010 e 2020, utilizando as palavras-chave “*nanotechnology*” e “*textile*”, na base de busca científica do Science-direct. <https://drive.google.com/file/d/12cR-C0sdgSevkFaQTpaXcqRrsFG6qod0/view?usp=sharing> Figura 3 – Principais áreas de publicação dos artigos de pesquisa e revisão na base de dados *Science direct* entre os anos de 2010 e 2020. Devido ao vasto potencial nanotecnológico no âmbito de vestuários, apenas algumas inovações serão destacadas na presente revisão: propriedades antibacterianas e antivirais, propriedades de proteção UV e propriedades hidrofóbicas. A Tabela 1 apresenta os principais nanomateriais e características que permitem aplicações em tecidos. De forma geral, o emprego destas funcionalidades nos tecidos permite aplicação potencial na área hospitalar, vestuário de moda geral, roupas esportivas e materiais para construção. Tabela 1 – Principais nanomateriais, suas características

¹ Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, jvnicolini@gmail.com

² Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, laismourao@gmail.com

³ Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, souzasoarest@gmail.com

que permitem aplicação em tecidos e efeitos alcançados. https://drive.google.com/file/d/1uWJtdwfj2jPyGX8BMxDah_XoqP5yodva/view?usp=sharingFonte: [10, 11, 12, 13]

5.1 Propriedades antibacterianas e antivirais

A propagação de microrganismos, bactérias e vírus sobre superfícies de tecido para a pele humana é uma das principais preocupações em relação à saúde. Recentemente, com a pandemia ocasionada pelo vírus COVID-19, o interesse público com a higiene tem conduzido a muitas investigações para a modificação dos tecidos a fim de evitar tais efeitos [5]. Os principais agentes antibacterianos e antivirais discutidos atualmente e que podem ser incorporados a tecidos incluem nanopartículas de Ag, TiO₂, ZnO, Au, Cu e nanotubos de carbono. Estes agentes, além de reduzirem os potenciais riscos à saúde, evitam a degradação de corantes e odores desagradáveis nos tecidos [14, 15], podendo ser em materiais têxteis de proteção individual, como jalecos, aventais e máscaras faciais [9]. As nanopartículas de Ag possuem grandes áreas de superfície que aumentam seu contato com bactérias, fungos e vírus, por esta razão vêm sendo incorporadas em tecidos e no tratamento de feridas, ganhando aplicabilidade na área médica. Atualmente, o uso de nanopartículas em têxteis vem aumentando rapidamente, com um consumo global atual em torno de 35 toneladas apenas para nanopartículas de Ag, por exemplo [16]. Estudos mostram que podem ser ativas contra vários tipos de vírus, incluindo o vírus da imunodeficiência humana, o vírus da hepatite B, o vírus herpes simplex e o vírus sincicial respiratório [17]. Em aplicações antivirais e antibacterianas, vários estudos têm demonstrado a capacidades dos íons de Ag se difundirem através da membrana celular e interferirem nas funções celulares, como a respiração e a atividade enzimática [18, 19, 20]. Particularmente, as nanopartículas de TiO₂ quando expostas à luz UV com uma energia correspondente ou excedente à sua energia de banda ($\geq 3,0$ eV) levam a uma excitação de seus elétrons da banda de valência para banda de condução, deixando uma vacância positiva. Isso resulta na geração de espécies extremamente reativas como OH \cdot , O₂ \cdot^- . Assim, quando inseridas no tecido, as nanopartículas de TiO₂ oxidam substâncias orgânicas como partículas de odor, bactérias e vírus em CO₂ e água na presença de luz [21].

5.2 Proteção Ultravioleta

A capacidade de bloquear os raios UV é particularmente importante na indústria têxtil devido à excessiva irradiação UV causada pela redução da camada de ozônio, requisitando cada vez mais roupas com proteção UV. Nanopartículas de óxidos semicondutores, como dióxido de titânio (TiO₂), óxido de zinco (ZnO), dióxido de silício (SiO₂) e óxido de alumínio (Al₂O₃) absorvem e dispersam de forma eficaz a radiação UV. Tal fato pode ser justificado, pois nanopartículas têm uma área de superfície maior por unidade de massa e volume quando comparadas aos materiais convencionais, o que leva à melhoria no bloqueio da radiação UV [22]. As nanopartículas de TiO₂ exibem um grande interesse para aplicação em materiais têxteis, devido a sua capacidade de refratar e/ou espalhar a maioria dos raios UV por meio do alto índice de refração e absorver a luz UV. Além disso, estas nanopartículas exibem uma excelente atividade fotocatalítica, não toxicidade, alta disponibilidade, biocompatibilidade e baixo preço [23].

5.3 Propriedades hidrofóbicas

A hidrofobicidade ou repelência à água pode ser transmitida aos tecidos através do aumento da rugosidade da superfície com a criação de nanofilamentos, conhecidos como nanowhiskers [24]. Equivalente ao efeito autolimpante da flor-de-lótus, os espaços intermoleculares entre os filamentos, ou nanofilamentos, são menores que uma gota de água, porém maiores que as moléculas da mesma, gerando elevada tensão superficial e permitindo que a água se mantenha no topo dos filamentos, acima da superfície do tecido [10]. Nanopartículas de TiO₂, SiO₂ e ZnO podem ser combinadas com ligantes superhidrofóbicos para produzir uma rugosidade superficial nanoestruturada nos materiais têxteis [24]. Para superfícies hidrofóbicas, o ângulo de contato da água é maior que 90°. Estudos mostraram que o revestimento de fibras têxteis e em tecido de algodão com nanopartículas de TiO₂ aumentou o ângulo de contato da água de 0 para 116° e 152,5°, respectivamente

¹ Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, jvnicolini@gmail.com

² Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, laismourao@gmail.com

³ Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, souzasoarest@gmail.com

[25]. Os tecidos com propriedades hidrofóbicas abrem caminho para aplicação em EPIs e roupas de esporte, por exemplo. Atualmente, em razão das epidemias, máscaras faciais têm sido muito utilizadas. Em sua grande maioria, elas são feitas de algodão e este tecido absorve gotas de água presentes no ar, criando um ambiente fértil para vírus e bactérias. Com os tecidos hidrofóbicos, as taxas de infecção podem ser reduzidas, pela redução de gotas de água no tecido [13].

6. Conclusão Nesta revisão várias funcionalidades vantajosas resultantes da aplicação da nanotecnologia em materiais têxteis podem ser destacadas, tais como como repelência à água, resistência a rugas, proteção UV, controle de odor, funções antiestáticas, antibacterianas, antivirais, dentre outras. Desta forma está confirmado que o uso da nanotecnologia se tornou umas das áreas mais promissoras para modificação química de superfícies e interfaces de materiais têxteis, a fim de criar propriedades multifuncionais com aplicações na proteção pessoal, equipamentos médicos, roupas esportivas e de uso geral. No atual cenário em que a humanidade se encontra, propriedades antivirais podem ser advindas com o emprego de nanopartículas de Ag, TiO₂, ZnO, Au, Cu nos materiais têxteis de uso para proteção individual, como roupas, máscaras e tecidos em geral. Desafios ainda devem ser superados, como estabelecer revestimentos duráveis que possam reter sua funcionalidade mesmo após repetidas lavagens. Outro ponto importante é o aprofundamento quando à citotoxicidade das fibras têxteis modificadas com nanomateriais, levantando preocupações sobre o potencial impacto na saúde humana e na segurança ambiental.

7. Referências [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E DE CONFECÇÃO (ABIT) (Brasil). Relatório de Atividades ABIT, 2020. Disponível em: <https://www.abit.org.br/>. Acesso em: 26 fev. 2021. [2] HASSAM, B.S. Islam G.M.N., e Haque A.N.M.A. Applications of Nanotechnology in Textiles: A Review. *Advance Research in Textile Engineering, Adv Res Text Eng - Volume 4 Issue 2* – 2019. [3] JATOI, A., KHAN, F.S.A., ALIMAZARI, S., MUBARAK, N.M., ABRO, R., AHMED, M. BALOCH, H., SABZO, N. Current applications of smart nanotextiles and future trends. *Nanosensors and Nanodevices for Smart Multifunctional Textiles*. Elsevier Inc., ISBN 978-0-12-820777-2, p. 343-365, 2020.[4] CHERENACK, K.; VAN PIETERSON, L. Smart textiles: challenges and opportunities. *J. Appl. Phys*, p. 112, 2012.[5] YETISEN, A. K., QU, H., MANBACHI, A., BUTT, H., DOKMECI, M.R., HINESTROZA, J., SKOROBOGATIIY, M., KHADEMHOSEINI, A., YUN, S.H. Nanotechnology in Textiles. *ACS Nano*, 2016, 10, 3, 3042–3068.[6] COYLE, S.; DIAMOND, D. Smart Nanotextiles: Materials and Their Applications. *Encyclopedia of Materials Science: Science and Technology* (2^o ed). Elsevier Inc, Glasnevin, Ireland, 2016. [7] NGÔ, C.; VAD DE VOORDE, M. H. Nanotechnology for the Textile Industry. In *Nanotechnology in a Nutshell*. Atlantis Press, p. 321-329, 2014. [8] AYATULLAH HOSNE ASIF, A.K.M., Zayedul Hasan, M.D. Application of Nanotechnology in Modern Textiles: A Review. *International Journal of Current Engineering and Technology*, Bangladesh, 2018, v. 08, n. 02, p. 227-230. [9] MAO, N. Textile Materials for Protective Textiles: High Performance Technical Textiles. John Wiley & Sons, Ltd., Chichester, UK, p. 107-157, 2019. [10] WINDER, L., LORENZ, C., VON GOETZ, N., HUNGERBUHLER, K., AMBERG, M., HEUBERGER, M., NOWACK, B. Release of titanium dioxide from textiles during washing. *Environ Sci Technol*, 2012, 46, 15, 8181–8188. [11] CHATHA, S. A. S.; ASGHER, M., ASGHER, R., HUSSAIN, A.I., IQBAL, Y., HUSSAIN, S.M., BILAL, M., SALEEM, F., IQBAL, H.M.N. Environmentally responsive and anti-bugs textile finishes – Recent trends, challenges, and future perspectives. *Science of the Total Environment*, v. 690, p. 667-682, 2019. [12] RASHID, M. M.; SIMONCIC, B., TOMSIC, B. Recent advances in TiO₂-functionalized textile surfaces. *Surface and Interfaces*, v.22, February 2021, 100890. [13] SALEEM, H.; ZAIDI, S. Sustainable Use of Nanomaterials in Textiles and Their Environmental Impact. *Materials*, n. 22, ed. 13, 2020. [14] DASTJERDI, R.; MONTAZER, M. A review on the application of inorganic nano-structured materials in the modification of textiles: Focus on anti-microbial properties. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, V. 79, p. 5-18,

¹ Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, jvnicolini@gmail.com

² Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, laismourao@gmail.com

³ Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, souzasoarest@gmail.com

2010. [15] BU, Y.; ZHANG, S. CAI, Y., YANG, Y., MA, S., HUANG, J., YANG, H., YE, D., ZHOU, Y., XU, W., GU, S. Fabrication of durable antibacterial and superhydrophobic textiles via in situ synthesis of silver nanoparticle on tannic acid-coated viscose textiles. *Cellulose*, p. 2109–2122, 2019. [16] SYAFIUDIN, A.; SALIM, M. R., KUEH, A.B.H., HADIBARATA, T., NUR, H. Review of Silver Nanoparticles: Research Trends, Global Consumption, Synthesis, Properties, and Future Challenges. *J. Chin. Chem. Soc.*, p. 732–756, 2017. [17] CIRIMINNA, R., ALBO, Y., PAGLIARO, M. New Antivirals and Antibacterials Based on Silver Nanoparticles. *ChemMedChem*, 2020 Jul 30. [18] ALI, S. W.; JOSHI, M., RAJENDRAN, S. Synthesis and Characterization of Chitosan Nanoparticles with Enhanced Antimicrobial Activity. *International Journal of Nanoscience*, v. 10, n°04, pp. 979-984, 2011. [19] ROY, A.; BULUT, O., SOME, S., MANDAL, A.K., YILMAR, D., Green synthesis of silver nanoparticles: biomolecule-nanoparticle organizations targeting antimicrobial activity. *RSC Advances*, p. 2673–2702., 2019. [20] MANOSALVA, N.; TORTELLA, G., DIEZ, M.C., SCHALCHILI, H., SEABRA, A.B., DURAN, N., RUBILAR, O. Green synthesis of silver nanoparticles: effect of synthesis reaction parameters on antimicrobial activity. *World J. Microbiol. Biotechnol.*, 35, 88. 2019. [21] ZANROSSO, C.; LANSARIN, M. APPLICATION OF POLYCARBOXYLIC ACIDS AS BINDERS FOR TiO₂ IMMOBILIZATION ON COTTON TEXTILES. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, v. 36, n°1, pp.181-190, 2019.[22] PATRA, J. K.; GOUDA, S. Application of nanotechnology in textile engineering: An overview. *Journal of Engineering and Technology Research*, v. 5, p. 104-111, 2013.[23] SUNDARRAJAN, S.; CHANDRASEKARAN, A. R., RAMAKRISHNA, S. An Update on Nanomaterials-Based Textiles for Protection and Decontamination. *Journal of the American Ceramic Society*, p. 3955-3975, 2010.[24] WEI, D. W.; WEI, H., GAUTHIER, A.C., SONG, J., JIN, Y., XIAO, H. Superhydrophobic modification of cellulose and cotton textiles: Methodologies and applications. *Journal of Bioresources and Bioproducts*, v. 5, p. 1-15, 2020.[25] YANG, H.; WANG, Y., LIU, K., LIU, X., CHEN, F., XU, W. Facile fabrication of ultraviolet- protective silk fabrics via atomic layer deposition of TiO₂ with subsequent polyvinylsilsesquioxane modification. *Textile Research Journal*, v. 89, p. 3529–3538, 2019.

PALAVRAS-CHAVE: Nanotecnologia, Materiais Têxteis, Propriedades Funcionais

¹ Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, jvnicolini@gmail.com

² Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, laismourao@gmail.com

³ Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, souzasoarest@gmail.com