

**UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
ÁREA DO CONHECIMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIAS
BACHAREL EM ENGENHARIA QUÍMICA**

ALANA RODRIGUES DA FONSECA

**OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE UM MATERIAL ANTIMICROBIANO
DE LÁTEX DE BORRACHA NATURAL COM ADIÇÃO DE
NANOPARTÍCULAS METÁLICAS PARA USOS BIOMÉDICOS**

CAXIAS DO SUL 2023

ALANA RODRIGUES DA FONSECA

**OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE UM MATERIAL ANTIMICROBIANO
DE LÁTEX DE BORRACHA NATURAL COM ADIÇÃO DE
NANOPARTÍCULAS METÁLICAS PARA USOS BIOMÉDICOS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química da Universidade de Caxias do Sul, Área do Conhecimento de Ciências Exatas e Engenharias

Orientadora: Prof.: Dra. Janaina da Silva Crespo

CAXIAS DO SUL 2023

**OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE UM MATERIAL ANTIMICROBIANO
DE LÁTEX DE BORRACHA NATURAL COM ADIÇÃO DE
NANOPARTÍCULAS METÁLICAS PARA USOS BIOMÉDICOS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química da Universidade de Caxias do Sul, Área do Conhecimento de Ciências Exatas e Engenharias

Orientadora: Prof.: Dra. Janaina da Silva Crespo

Aprovado em: 12/12/2023

Banca Examinadora

Prof.^a Dr.^a Nayrim Brizuela Guerra
Universidade Estadual Paulista

Doutoranda Danielle Restelatto
Universidade de Caxias do Sul

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Extração do LBN pelo processo de sangria.....	13
Figura 2 - Representação da extração da borracha natural e estrutura química.	14
Figura 3 - Modelo da estrutura de uma partícula de borracha, proposto por Blackley, envolvida por uma camada de fosfolipídio e uma de proteínas.	14
Figura 4 - Micrografia eletrônica de varredura de <i>E. coli</i>	24
Figura 5 - Filme de Látex de Borracha Natural após os processos de Vulcanização e Lixiviação.	29
Figura 6 - Análise de Tensão e Alongamento na ruptura dos filmes de látex com ZnO com 25 ± 2 °C de temperatura na emulsificação.	31
Figura 7 - Análise da tensão e do alongamento na ruptura dos filmes de látex com diferentes aditivos antibacterianos e temperaturas na emulsificação.	32
Figura 8 - Ângulo de contato das amostras selecionadas do látex vulcazinado.	33
Figura 9 - Grau de inchamento em água e detergente 2,5% (m/v) das amostras selecionadas do látex vulcazinado.	34
Figura 10 - Grau de inchamento em álcool etílico 70% (m/m) das amostras selecionadas do látex vulcazinado.	36
Figura 11 - Halos de inibição do crescimento da bactéria <i>E. coli</i> formados por filmes de látex com diferentes aditivos antibacterianos em ensaios de difusão em ágar.	37
Figura 12 - Inibição do crescimento da bactéria <i>E. coli</i> promovida pelos filmes de látex com diferentes aditivos antimicrobianos em ensaios em meio líquido e plaqueamentos em ensaios de difusão em ágar dos meios líquidos.	37

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AgNPs	Nanopartículas de Prata
<i>E. Coli</i>	<i>Escherichia coli</i>
LBN	Látex de Borracha Natural
LCMAT	Laboratório de Caracterização de Materiais
LPol	Laboratório de polímeros
Nps	Nanopartículas
PET	Tomografia por Emissão de Pósitrons
pbr	Partes por cem de borracha
<i>S.aureus</i>	<i>Staphylococcus aureus</i>
T	Temperatura
t	Tempo
UCS	Universidade de Caxias do Sul
ZEPC	Acelerador dietilditiocarbamato de zinco
ZnO 40	Óxido de zinco ativo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
2	OBJETIVOS.....	11
	2.1 OBJETIVOS GERAIS.....	11
	2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
	3.1 LÁTEX DE BORRACHA NATURAL (LBN): ORIGEM, COMPOSIÇÃO E PROPRIEDADES	12
	3.1.2. Obtenção e composição do LBN.....	12
	3.2 BIOMATERIAIS	15
	3.3 BIOMATERIAS DE LÁTEX DE BORRACHA NATURAL	16
	3.4 NANOPARTÍCULAS METÁLICAS.....	17
	3.5 NANOPARTÍCULAS METÁLICAS EM MATERIAS BIOMÉDICOS.....	19
	3.6 PROPRIEDADES ANTIMICROBIANAS	21
	3.7 INFEÇÃO POR BACTÉRIAS E FATORES QUE INFLUENCIAM NA ADESÃO DOS MICROORGANISMOS.....	22
	3.8 ESCHERICHIA COLI	23
	3.9 ADESÃO BACTERIANA	24
4	METODOLOGIA	25
	4.1 MATERIAIS.....	25
	4.2 PREPARAÇÃO DOS FILMES DE LÁTEX NATURAL	25
	4.3 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA	28
	4.3.1 Resistência à tração.....	28
	4.3.2 Ângulo de contato.....	28
	4.3.3 Análises antimicrobianas.....	28
	4.3.4 Inchamento em solventes.....	28
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
	5.1.1 Resistência à tração.....	31
	5.1.2 Ângulo de contato.....	33
	5.1.3 Ensaios de inchamento.....	34
	5.1.4 Ensaios antibacterianos	36
6	CONCLUSÃO.....	39

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo principal a obtenção e caracterização de um material de látex de borracha natural com adição de nanopartículas metálicas, visando conferir propriedades antimicrobianas para aplicações biomédicas. Utilizando látex de borracha natural como base, foram adicionadas nanopartículas de prata e óxido de zinco convencional e nanoparticulado (ZnO 40) para promover efeitos antimicrobianos. O processo de obtenção envolveu emulsificação dos aditivos a diferentes temperaturas, seguido pela mistura com látex, secagem, vulcanização e lixiviação. Os resultados revelaram que a adição de ZnO nanoparticulado, especialmente no ensaio emulsionado a 50 °C, proporcionou filmes com maior resistência à tração. Os testes de ângulo de contato indicaram características superficiais próximas ao caráter hidrofóbico, fundamentais para aplicações em luvas cosméticas para próteses de membros superiores. Os ensaios de inchamento em solventes destacaram a complexidade das interações polímero-solvente, com variações significativas entre água com detergente e álcool etílico 70% m/m. Os testes antimicrobianos demonstraram eficácia na inibição do crescimento bacteriano, contra *Escherichia coli*. A presença de halo de inibição sugere que o ZnO desempenhou papel relevante nesse efeito. Os resultados indicam promissoras aplicações biomédicas, como luvas, catéteres e curativos, onde propriedades antimicrobianas são cruciais. Este estudo contribui para o avanço na busca por materiais biomédicos mais eficientes e duráveis, destacando a importância da escolha adequada de aditivos e condições de fabricação para otimizar propriedades desejadas.

Palavras-chave: elastômero, nanopartículas metálicas, aplicações biomédicas, látex, óxido de zinco nanoparticulado, *Escherichia coli*.

ABSTRACT

This work aims to obtain and characterize a material of natural rubber latex with the addition of metallic nanoparticles, with a focus on conferring antimicrobial properties for biomedical applications. Using natural rubber latex as a base, silver and zinc oxide nanoparticles were added to promote antimicrobial effects. The acquisition process involved emulsification of additives at different temperatures, followed by mixing with latex, drying, vulcanization, and leaching. Results revealed that the addition of nanoparticulate ZnO, especially in trial emulsified at 50 °C, yielded films with higher tensile strength. Contact angle tests indicated hydrophobic surface characteristics, crucial for applications in cosmetic gloves for upper limb prostheses. Swelling tests in solvents highlighted the complexity of polymer-solvent interactions, with significant variations between water with detergent and 70 wt% ethyl alcohol. Antimicrobial tests demonstrated efficacy in inhibiting bacterial growth, against *Escherichia coli*. The presence of inhibition halos suggests that ZnO played a relevant role in this effect. The results indicate promising biomedical applications, such as gloves, catheters, and dressings, where antimicrobial properties are crucial. This study contributes to advancing the search for more efficient and durable biomedical materials, emphasizing the importance of the appropriate choice of additives and manufacturing conditions to optimize desired properties.

Keywords: elastomer, metallic nanoparticles, biomedical applications, latex, nanoparticulated zinc oxide, *Escherichia coli*.

1 INTRODUÇÃO

A engenharia química tem como objetivo desenvolver e aprimorar processos e materiais para diversos fins, dentre eles, a aplicação na área biomédica. A busca por materiais antimicrobianos tem se tornado cada vez mais relevante diante do surgimento de microrganismos resistentes aos antibióticos convencionais e até mesmo a rejeição destes em alguns pacientes, tornando necessário o desenvolvimento de novas tecnologias que possam contribuir para a prevenção de infecções e para a melhoria da saúde pública (FERNANDO; GUNASEKARA; HOLTON, 2018; SIDDIQI; HUSEN; RAO, 2018).

Nesse contexto, o látex de borracha natural (LBN) tem se destacado como uma alternativa promissora, uma vez que apresenta propriedades antimicrobianas naturais. O látex é um polímero natural produzido pela seringueira (*Hevea brasiliensis*), e é utilizado na fabricação de diversos produtos, dentre eles, luvas cirúrgicas, cateteres e próteses (RAHIMI; MASHAK, 2013; RIPPEL, 2005; RONDINELLI DONIZETTI HERCULANO et al., 2011; SANCHES, 2012; ZIMMERMANN, M. et al., 2007; ZIMMERMANN et al., 2018; WITITSUWANNAKUL et al., 2008).

No entanto, as propriedades antimicrobianas do látex podem ser potencializadas com a adição de nanopartículas metálicas, o que torna o material ainda mais eficiente no combate a microrganismos, como bactérias e fungos. Dessa forma, a obtenção e caracterização de um material antimicrobiano de LBN com adição de nanopartículas metálicas é de grande importância para a área biomédica, uma vez que pode contribuir para a prevenção de infecções hospitalares, que podem ser fatais, e para aumentar a eficiência de diversos tipos de tratamentos (KRAINOI et al., 2021; KRAUS; PESCHEL, 2008; SUNAGAR; PATIL; CHANDRAKANTH, 2010).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GERAIS

Obter e caracterizar um material de látex de borracha natural com adição de nanopartículas metálicas com propriedades antimicrobianas para aplicações biomédicas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a)** Obter um filme de látex de borracha natural com adição de nanopartículas metálicas.
- b)** Determinar as propriedades do material obtido, como resistência à tração, inchamento e ângulo de contato.
- c)** Avaliar a atividade antimicrobiana do material de látex modificado contra microrganismos patogênicos, como a *Escherichia coli*.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 LÁTEX DE BORRACHA NATURAL (LBN): ORIGEM, COMPOSIÇÃO E PROPRIEDADES

3.1.2. Obtenção e composição do LBN

Existe diversas espécies de plantas capazes de produzir o látex, estima-se que são mais de 2500 espécies, mas a que apresenta um destaque maior é a *Hevea brasiliensis*, responsável por aproximadamente 99% da produção de borracha do mundo. O látex é encontrado no córtex interno da casca da planta em pequenos vasos, já a borracha natural encontra-se nas partículas de borracha citoplasmáticas (RIPPEL, 2005; SANCHES, 2012).

O LBN é uma substância leitosa e pegajosa que pode ser obtida através da seringueira (*Hevea brasiliensis*) e que apresenta potencial terapêutico que potencializa o processo de reparação tecidual (ZIMMERMANN et al., 2018). A composição química do LBN é considerada complexa, apresenta um sistema coloidal e possui tamanhos distintos de partículas, composto predominantemente constituído por uma mistura de micelas de borracha, ácidos nucléicos, proteínas, lipídios, aminoácidos e carboidratos (DALL'ANTONIA et al., 2006; NG; OTHMAN; YUSOF, 2022; WITITSUWANNAKUL et al., 2008).

A borracha natural vem sendo avaliada com um material estratégico em diversos setores, tendo em vista que em diversas de suas aplicações não pode ser substituída por borrachas sintéticas, tais como poli(butadieno-estireno), poliisobutileno isopreno (borracha butílica), policloropreno e poliisopreno. Isto é consequência de dois aspectos principais: a) suas características distintas como elasticidade, flexibilidade, resiliência, fácil aderência a tecidos e aço, resistência à abrasão e ao impacto, impermeabilidade a líquidos e gases, propriedades isolantes de eletricidade, maleabilidade a baixas temperaturas e também a capacidade de dispersar calor; b) comparação em relação ao preço e o comportamento das borrachas sintéticas que são similares à borracha natural (VAN; JB, 2007; ZIMMERMANN et al., 2007; ZIMMERMANN et al., 2018).

O método que é utilizado para a extração do látex da *Hevea Brasiliensis* é conhecido como “sangria”. No qual, são feitos cortes transversais na casca do caule da árvore em apenas um dos lados, em seguida, é inserido uma cânula no ponto mais baixo para coletar o látex em pequenos recipientes, conforme está ilustrado na Figura 1. A obtenção do látex natural é relativamente simples, já o processamento deste material acaba sendo mais complexo, visto que é necessário fazer a remoção de impurezas e ajustar as propriedades (DALL'ANTONIA et al., 2006). É utilizado o hidróxido de amônio para estabilizar o látex recém coletado e isso faz com

que os lutóides e os complexos de FreyWyssling sejam dissolvidos, o que concede um sistema bifásico ao produto final que é beneficiado pelas partículas de borracha e pelo soro (ZIMMERMANN et al., 2007; ZIMMERMANN et al., 2018; SANCHES, 2012).

Figura 1 - Extração do LBN pelo processo de sangria.

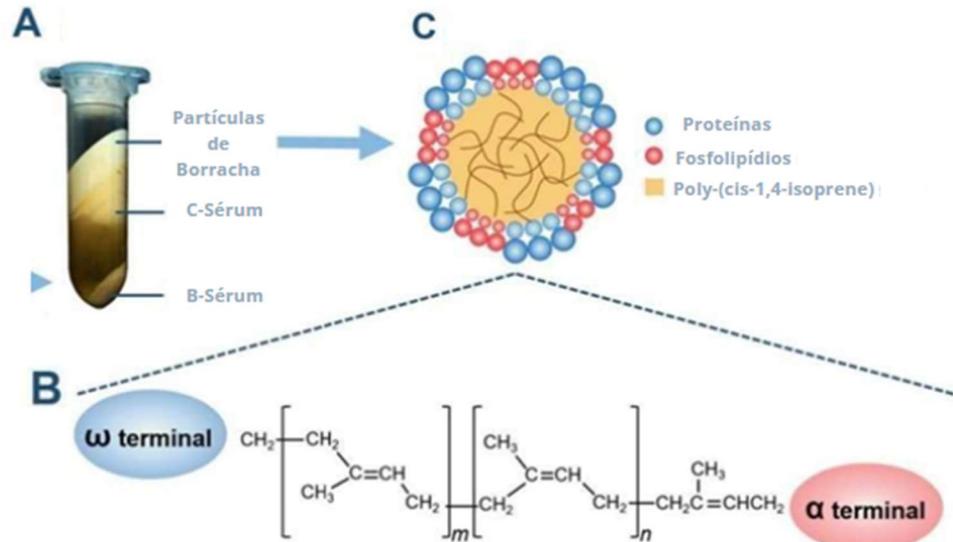


Fonte: (SANCHES, 2012).

Esse material é composto majoritariamente por unidades de poli(*cis*-1,4-isopreno) de 30 a 45%, conforme estrutura indicada na Figura 2, que lhe concede um caráter amorfo (DALL'ANTONIA et al., 2006). Na Figura 2, alguns processos e aspectos podem ser observados, como: em a) podemos visualizar o processo de extração de LBN em uma seringueira, b) após a extração a borracha natural passa pelo processo de centrifugação, a qual expõe três fases distintas do látex: partículas de borracha (na parte superior), C-soro (no meio) e B-soro (na parte inferior), em c) temos macromolécula de poliisopreno que pode ser encontrada em partículas de borracha natural e em d) temos a estrutura química das partículas de látex de borracha natural (modelo da camada fosfolipídica) (GUERRA; PEGORIN; BORATTO; BARROS; GRAEFF; HERCULANO, 2022).

Antes de sofrer alguma modificação química o látex apresenta uma composição de 59,7% de água, 35,0% de poli(*cis*-1,4-isopreno), 1,5% de proteínas, 1,5% de carboidratos, 1,3% de lipídios, 0,5% de solutos orgânicos e 0,5% de minerais (CÉLINE BOTTIER, 2020; DALL'ANTONIA et al., 2006; GUERRA; PEGORIN; BORATTO; BARROS; GRAEFF; HERCULANO, 2022).

Figura 2 - Representação da extração da borracha natural e estrutura química.

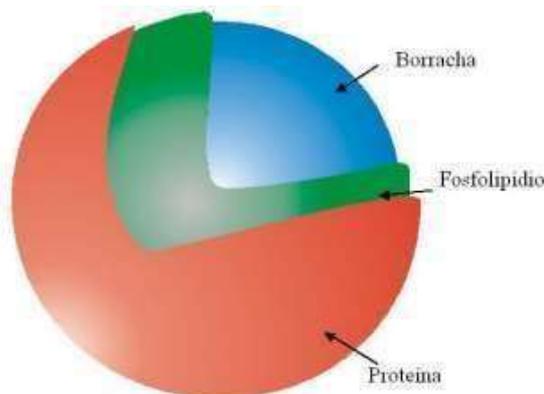


Fonte: (GUERRA; PEGORIN; BORATTO; BARROS; GRAEFF; HERCULANO, 2022).

As partículas de LBN se envolvem por uma película de fosfolípidios e proteínas, respectivamente, que fornecem a carga negativa proporcionando assim a estabilidade coloidal para as partículas. O látex recém coletado apresenta uma adsorção de proteínas em sua superfície sendo cerca de 27% do total, considera-se que parte dessas proteínas encontram-se na parte interna das micelas de borracha. Os fosfolípidios apresentam cargas positivas já as proteínas apresentam cargas negativas, o que estimula a uma ligação iônica entre as duas moléculas (AGOSTINI, 2009; RIPPEL, 2005).

Desta forma é possível visualizar através de um modelo proposto por Blackley, de como seria a representação de uma partícula de borracha no látex recém coletado (BLACKLEY, 1997) conforme a Figura 3.

Figura 3 - Modelo da estrutura de uma partícula de borracha, proposto por Blackley, envolvida por uma camada de fosfolípidio e uma de proteínas.



Fonte: (AGOSTINI, 2009)

O látex natural vem se tornando muito importante para o aprimoramento de biomateriais (RIPPEL,2005). Estudos apontam o LBN como um material bioativo, que possui capacidade de atuar na reparação tecidual de forma acelerada com o acréscimo da angiogênese no local de uma implantação (RAHIMI; MASHAK,2013; RONDINELLI DONIZETTI HERCULANO et al., 2011).

Outra propriedade extremamente relevante do látex de borracha natural é sua biocompatibilidade, o que o torna como um tecido biológico e pode ser utilizado em implantes médicos (RAHIMI; MASHAK,2013; ZIMMERMANN, M. et al, 2007). O látex de borracha natural tem sido utilizado em uma variedade de aplicações médicas, incluindo cateteres, dreno, dispositivos de infusão e dispositivos de suporte de órgãos.

Além disso, o LBN pode ser decomposto naturalmente por microrganismos existentes no meio ambiente por ser um material biodegradável. Isso o torna uma alternativa mais sustentável aos materiais sintéticos que podem levar anos para se decompor (RAHIMI; MASHAK,2013; RONDINELLI DONIZETTI HERCULANO et al., 2011; ZIMMERMANN, M. et al, 2007; ZIMMERMANN et al., 2018; WITITSUWANNAKUL et al., 2008).

3.2 BIOMATERIAIS

Os biomateriais podem ter origem natural, sintética ou uma combinação de ambas. Biomateriais de origem natural são derivados de fontes biológicas, como tecidos animais, vegetais ou microrganismos. Também existem biomateriais de origem combinada, nos quais ocorre uma combinação de componentes naturais e sintéticos. Essa abordagem visa aproveitar as propriedades desejáveis de ambos os materiais para obter melhores resultados. (PIRES, 2015; SILVA,2017; SPEZZIA, 2021). Os biomateriais naturais originam-se do reino animal ou vegetal, o que lhes confere características muito parecidas com os materiais existentes no organismo e também assegura que não terá reações adversas que poderiam ser causadas por algum tipo de toxicidade provenientes em materiais sintéticos. No entanto, existe a possibilidade de surgir complicações ligadas a imunogenicidade (FURTADO, 2019; PIRES, 2015; SILVA, 2017; SPEZZIA, 2021).

Os biomateriais apresentam a capacidade de interagir com sistemas biológicos (DURACCIO; MUSSANO; FAGA, 2015). Também são conhecidos por serem um material biocompatível, o qual não deve ser capaz de desenvolver reações alérgicas, inflamatórias ou ainda infecciosas (PIRES, 2015; SILVA,2017; SPEZZIA, 2021). Os biomateriais vêm sendo utilizados em aplicações médicas, como próteses, implantes, tecidos artificiais como

substituição ou reparação de um tecido ou mesmo de um órgão em medicamentos controlados, instrumentos hospitalares e muitos outros (PIRES; BIERHALZ; MORAES, 2015). As propriedades dos biomateriais variam de acordo com sua composição e aplicação (PIRES; BIERHALZ; MORAES, 2015).

Em geral, eles devem ter alta biocompatibilidade, resistência mecânica adequada, biodegradabilidade e estabilidade química. Além disso, devem ser facilmente moldados para atender às necessidades específicas do paciente (FRIES, 2009). A evolução dos biomateriais se deu pela necessidade de melhorias para a sua aplicabilidade. Em um primeiro momento a maior preocupação era conseguir desenvolver materiais bioinertes, que não viessem causar reações de um corpo estranho no organismo. Já em um segundo momento a preocupação se ateve, principalmente, nas aplicações dos conceitos de biocompatibilidade e de biodegradabilidade. Posteriormente a atenção passou a ficar sobre as especificidades do material com capacidade de ativar respostas celulares em âmbito molecular (FURTADO, 2019; PIRES, 2015; SPEZZIA, 2021).

A biologia vem estimulando formas inovadoras para sintetizar biomateriais, bem como novas possibilidades de analisar como o corpo humano reage a esses materiais assim como o design racional de materiais que são projetados para interagir com componentes moleculares específicos do corpo (GRIFFITH, 2000). Os biomateriais também podem ser usados em engenharia de tecidos, onde são usados para criar tecidos que aumentam ou ajudam no crescimento de tecidos naturais (CHIRILA; HARKIN, 2016). Além disso, os biomateriais também são utilizados em medicina regenerativa, onde ajudam a reparar tecidos danificados ou perdidos (FRIES, 2009; GRUMEZESCU; GRUMEZESCU, 2019; ZANCANELA et al., 2019).

3.3 BIOMATERIAS DE LÁTEX DE BORRACHA NATURAL

A aplicação de látex em biomateriais tem sido alvo de diversas pesquisas, por se tratar de um material promissor para a fabricação de implantes e dispositivos médicos, sendo capaz de interagir com tecidos biológicos sem causar reações indesejadas, como a rejeição do corpo ao implante (FURTADO, 2019; PIRES, 2015; SPEZZIA, 2021).

Além disso, no âmbito da engenharia de tecidos, o látex surge como uma ferramenta inovadora. (CARAZZAI; GUERRA; HENCKES; OLIVEIRA; CIRNE-LIMA; SANTOS, 2021). O LBN vem sendo utilizado também como matriz para a produção de andaimes, que são estruturas tridimensionais que podem ser utilizadas para auxiliar o crescimento de tecidos e células, tendo em vista que ele pode ser moldado em diferentes tamanhos e formas com facilidade. Essa capacidade única do látex de ser moldado e adaptado em conformidade com as

necessidades específicas dos pesquisadores facilita a criação de andaimes que atendem às exigências específicas de diferentes tipos de tecidos e órgãos. Essa adaptabilidade é crucial em pesquisas relacionadas à engenharia de tecidos, pois permite a personalização dos andaimes de acordo com a complexidade e as características específicas de cada aplicação. (CARAZZAI; GUERRA; HENCKES; OLIVEIRA; CIRNE- LIMA; SANTOS, 2021; MARCATTO; PEGORIN; BARBOSA; HERCULANO; GUERRA, 2022).

Além disso, o látex de borracha natural tem se mostrado promissor na área de liberação controlada de fármacos. Sua capacidade intrínseca de ser modificado quimicamente após o processo de vulcanização para incorporar substâncias terapêuticas e liberá-las de maneira controlada amplia ainda mais suas possibilidades de aplicação. Essa característica é de especial interesse na busca por soluções eficazes na administração de medicamentos e tratamentos específicos (CARAZZAI; GUERRA; HENCKES; OLIVEIRA; CIRNE- LIMA; SANTOS, 2021; MARCATTO; PEGORIN; BARBOSA; HERCULANO; GUERRA, 2022; RANGRONG, 2008).

O látex de borracha natural emerge não apenas como um material biocompatível, mas como uma plataforma versátil para inovações em biomateriais. Sua capacidade de se adaptar a diversas aplicações, desde a engenharia de tecidos até a liberação controlada de fármacos, destaca seu potencial no avanço da medicina regenerativa e no desenvolvimento de dispositivos biomédicos mais eficientes (GUERRA; CASSEL; HENCKES; OLIVEIRA; CIRNE- LIMA; SANTOS, 2018; HASHIM; ONG, 2014; RANGRONG, 2008).

3.4 NANOPARTÍCULAS METÁLICAS

Os nanomateriais são partículas que apresentam ao menos uma dimensão na faixa de tamanho que fica entre 1 nm e 100 nm (AMEEN et al., 2021). Dentre eles estão as nanopartículas metálicas que são sintetizadas principalmente através de reduções químicas, que fazem o uso de agentes redutores para induzir a redução dos íons metálicos na solução. Existe ainda outros métodos que podem ser utilizados para a síntese das nanopartículas como a eletrodeposição ou microemulsão, além de outras (ALRIC et al., 2013; KALPANA; DEVI RAJESWARI, 2018).

Nos últimos anos, as nanopartículas metálicas (NPs) vêm sendo amplamente estudadas, pelo fato de apresentarem propriedades químico-físicas distintas (DONG et al., 2019). Por este motivo um dos materiais mais inovadores das últimas décadas são os nanomateriais, em virtude de manifestarem propriedades e designs diferentes são conhecidos como o “material do século XXI” (AKTER et al., 2018; PELAZ et al., 2017).

Já foi evidenciado que as nanopartículas de prata são capazes de ser biocidas eficazes contra bactérias como por exemplo, *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermis*, *Escherichia coli*, entre outras (BENN; WESTERHOFF, 2008; CHEN; CHIANG, 2008; (CHEN; SCHLUESENER, 2008). Também são eficazes contra fungos como por exemplo, *Candida albicans*, *Aspergillus niger*, *Saccharomyces cerevisia*, entre outros (KIM et al., 2007, 2008a, b, 2009a, b; ROE et al., 2008; VERTELOV et al., 2008). Além de serem eficazes contra vírus como por exemplo HIV-1, Hepatite B, vírus sincicial entre outros (ELECHIGUERRA; BURT et al, 2005; LU et al., 2008; SUN et al., 2008; ZODROW et al., 2009).

NPs metálicas indicam características óticas, como a emissão e absorção de luz, o que possibilita o uso em catalisadores ou até mesmo em biossensores. (LIU et al., 2010; JIANG; LIU; SUN, 2005; NANCY et al., 2019; ZHANG et al., 2016). A reatividade alta das NPs metálicas também viabiliza o seu uso em reações químicas como catalisadores, como por exemplo no processo de hidrogenação dos compostos orgânicos (JIANG; LIU; SUN, 2005; YANG et al., 2017).

No entanto, em função de seus impactos toxicológicos em organismos vivos e também à sustentabilidade, fica exposto alguns desafios referentes à segurança quando temos a utilização de nanopartículas metálicas, que podem oferecer certas dificuldades, em virtude do alto potencial em liberar suas toxicidades ao meio ambiente. O que torna primordial a ampliação de estudos referentes a toxidez e riscos ambientais, para que haja segurança e sustentabilidade no uso de NPs metálicas. As NPs metálicas divergem dos metais a granel, o que pode causar uma influência na toxicidade das células bacterianas (BONDARENKO et al., 2013; KALPANA; DEVI RAJESWARI, 2018; ZHANG et al., 2019).

O aumento na utilização de agentes antimicrobianos, assim como outros nanomateriais se destacando as nanopartículas metálicas, pode causar a contaminação de diversos ambientes além de executar um papel importante na dissipação da resistência aos antibióticos (A. SHALINI et al., 2022; MARKOWICZ, 2023; TANG et al., 2013; WILLIAMS; KUPPAN GOKULAN; KHARE, 2022).

As nanopartículas de prata (AgNPs) possuem um destaque ainda maior por demonstrarem um alto potencial em aplicações na área da saúde por manifestarem uma incrível capacidade antibacteriana e também propriedades físicas diferentes (DONG et al., 2019; NOWACK; KRUG; HEIGHT, 2011; YU; YIN; LIU, 2013). A prata tornou-se uma grande aliada em diversas aplicações, tendo em vista que existe uma busca em substituir agentes químicos orgânicos por aditivos, os quais permitem o uso em concentrações consideravelmente

mais baixas em uma gama de produtos elevada. Atualmente as aplicações das AgNPs são encontradas facilmente na medicina, nas engenharias, na área de eletrônica e também área ambiental, assim como em diversas outras áreas (NOWACK; KRUG; HEIGHT, 2011; YU; YIN; LIU, 2013).

A incorporação de nanopartículas de ZnO, em materiais de látex de borracha natural representa uma estratégia inovadora para conferir propriedades antimicrobianas. A caracterização dessas nanopartículas destaca sua morfologia nanométrica, amplamente documentada em estudos recentes. A eficácia biocida do ZnO contra uma variedade de microrganismos, juntamente com sua biocompatibilidade, reforça sua posição como um aditivo valioso para materiais poliméricos, oferecendo benefícios significativos no combate a infecções em contextos clínicos (GUDKOV et al., 2021; GUJEL, 2016; KALPANA; DEVI RAJESWARI, 2018; SAHA et al., 2020).

3.5 NANOPARTÍCULAS METÁLICAS EM MATERIAS BIOMÉDICOS

Os estudos e aplicações no âmbito das nanopartículas metálicas têm apresentado uma crescente nos últimos anos, por possuírem propriedades físico-químicas ímpares, além de manifestarem um grande potencial terapêutico. As nanopartículas metálicas demonstram uma diversidade de aplicações muito importantes nas mais variadas áreas da biomedicina, como por exemplo em terapia gênica, terapia fotodinâmica, diagnóstico por imagem, sistemas de liberação de fármacos, assim como outras (DREADEN et al., 2012; TANG et al., 2013).

As propriedades magnéticas e ópticas das nanopartículas metálicas podem ser alvos de estudos para apresentarem uma melhora na sensibilidade e precisão em técnicas por imagem como na tomografia por emissão de pósitrons (PET) ou ainda a ressonância magnética. As NPs metálicas vêm se demonstrando promissoras na utilização em materiais biomédicos como sendo agentes de contraste em métodos por imagem. Essas nanopartículas podem ser modificadas para ligarem-se a moléculas selecionadas, possibilitando a detecção de marcadores tumorais ou ainda outras anomalias biológicas (DREADEN et al., 2012; TANG et al., 2013).

Existe ainda outra aplicação muito relevante das nanopartículas metálicas, que é a terapia fotodinâmica, a qual é feito o uso de luz para acionar as nanopartículas e produzir espécies de oxigênio reativas, que são capazes de destruir células infecciosas ou tumorais (DREADEN et al., 2012; TANG et al., 2013; WILLIAMS; KUPPAN GOKULAN; KHARE, 2022).

Os sistemas de liberação de fármacos com a utilização de nanopartículas metálicas tem sido também uma área de pesquisa promissora para o setor de materiais biomédicos. As NPs

metálicas podem ser aplicadas no processo de encapsulação e liberação de fármacos de forma controlada, viabilizando uma precisa e eficiente entrega dos medicamentos (DREADEN et al., 2012; TANG et al., 2013).

As nanopartículas metálicas possuem vantagens distintas e importantes nas aplicações em materiais biomédicos além das aplicações específicas. Elas apresentam uma grande superfície específica, o que comporta uma interação maior com as células biológicas além de revelar uma eficiência melhor no setor terapêutico além de serem estudadas como possíveis agentes no tratamento de câncer, por apresentarem características fotodinâmicas e fototérmicas que são utilizadas para distribuir de forma seletiva as células cancerígenas (CARVALHO LOPES; PEREIRA TORRES, 2020).

A sintetização das nanopartículas permite a seleção de especificidades como por exemplo a forma geométrica, tamanho e carga elétrica, o que influencia na biodistribuição e também a interação com as células biológicas (DREADEN et al., 2012; ISLAM; JACOB; ANTUNES, 2021; KALPANA; DEVI RAJESWARI, 2018; M.; P., 2015; TANG et al., 2013; ZHOU et al., 2022). Existe uma ampla variedade de metais que é empregado na indústria farmacêutica que desempenham um papel de agente e antineoplásico e também antimicrobiano (ADIL et al., 2016; BAI et al., 2017; CARVALHO LOPES; PEREIRA TORRES, 2020). A lista de metais que tem despertado grande interesse entre os pesquisadores devido à importância destes materiais, inclui a prata, platina, ouro e ferro que são utilizados na terapia do câncer (BISHT; GUDKOV et al., 2021; RAYAMAJHI, 2016).

A integração de nanopartículas de ZnO em materiais biomédicos representa uma abordagem inovadora e altamente promissora, conferindo propriedades antimicrobianas cruciais para a prevenção de infecções em contextos biomédicos. A capacidade biocida do ZnO tem se destacado no combate eficaz a diversos microrganismos, desde bactérias até vírus, consolidando-se como uma estratégia relevante para revestimentos de próteses, curativos e dispositivos médicos (GUDKOV et al., 2021; GUJEL, 2016; KALPANA; DEVI RAJESWARI, 2018; SAHA et al., 2020).

Além do seu impacto antimicrobiano, as propriedades semicondutoras e óticas do ZnO abrem caminho para aplicações inovadoras em sensores e diagnósticos avançados na área biomédica. As propriedades intrínsecas do ZnO, incluindo sua atividade antimicrobiana, tornam-no um candidato excepcional para o desenvolvimento de materiais biomédicos inovadores, com destaque para suas aplicações em curativos, próteses e dispositivos médicos. (GUDKOV et al., 2021; KALPANA; DEVI RAJESWARI, 2018; KRAINOI et al., 2021).

3.6 PROPRIEDADES ANTIMICROBIANAS

Diversos produtos que são usados na indústria farmacêutica, cosmética e alimentícia buscam inserir em suas especificidades as propriedades antimicrobianas. Os elementos com atividade antimicrobiana são capazes de inibir ou eliminar microrganismos, como bactérias, fungos e vírus, o que os torna uma alternativa promissora para o controle de infecções e prevenção de doenças. Entre os compostos que apresentam propriedades antimicrobianas, sobressaem-se os óleos essenciais, que manifestam compostos voláteis que são capazes de impedir o crescimento bacteriano e também fúngico (BURT, 2004; DANTAS et al., 2011).

Além do mais, os compostos fenólicos também apresentam propriedades antimicrobianas, como por exemplo os ácidos cafeico e clorogênico (ARNOSO; DA COSTA; SCHMIDT, 2019; BURT, 2004). Outros compostos que apresentam atividades antimicrobianas são os peptídeos, que podem ser encontrados em alguns tecidos animais e também em plantas, e manifestam atividade contra uma vasta diversidade de microrganismos, inclusive bactérias que são resistentes a antibióticos (HANCOCK; SAHL, 2006; WANG et al., 2016).

Os peptídeos antimicrobianos possuem a possibilidade de contornar os mecanismos de resistências que acabam colocando em risco a eficácia dos antibióticos padrões, além de possuir uma vasta atividade contra bactérias, vírus e fungos (WANG et al., 2016). Os peptídeos apresentam propriedades de ampla relevância como por exemplo o amplo espectro de ação antimicrobiana, ação rápida, a toxicidade antimicrobiana seletiva e mecanismos de ações específicas (FERNANDES, 2011).

Ademais, as nanopartículas vem sendo alvo de estudos como sendo alternativas para controlar microrganismo, já que possuem propriedades físico-química que concedem atividade antimicrobiana (LIAO et al., 2019). É importante destacar que a atividade antimicrobiana das substâncias pode vir a ser influenciada por inúmeros fatores, como a temperatura, o pH, a concentração e a presença de outros compostos (BURT, 2004; HANCOCK; SAHL, 2006; ROCHA; DANTAS, 2010).

Nos últimos anos é possível ser observado que se teve um aumento considerável na resistência aos antibióticos pelos microrganismos patógenos e, também o aumento nas restrições em alguns pacientes, desta forma se faz necessário a utilização de um método diferente para proteção. Os antissépticos como a prata (Ag), diferem-se dos antibióticos, visto que apresentam diversos sítios de ação antimicrobiana nas células-alvo e, desta forma apresentam também um baixo risco de resistência bacteriana (FERNANDO; GUNASEKARA; HOLTON, 2018; SIDDIQI; HUSEN; RAO, 2018).

A atividade antimicrobiana do látex é resultado da presença de diversos compostos,

como alcaloides, proteínas, saponinas, taninos e terpenos, que podem agir em conjunto para produzir um efeito antibacteriano. Além do mais, o contato direto do látex com a membrana celular bacteriana pode resultar na destruição da célula (LI et al., 2022; LIAO; LI; TJONG, 2019; KRAINOI et al., 2021; SIDDIQI; HUSEN; RAO, 2018).

Estudos apontam que o látex pode ser uma alternativa contra várias espécies bacterianas, como por exemplo *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Candida albicans*, *Klebsiella pneumoniae* e *Pseudomonas aeruginosa* (SAHA et al., 2020; ZHANG; CAO, 2020). Com o passar dos anos, a prata tem sido utilizada em grande escala como agente antimicrobiano (LI et al., 2022; SIDDIQI; HUSEN; RAO, 2018). As nanopartículas de prata têm sido empregadas em diversos produtos comerciais, como na indústria alimentícia, no revestimento de próteses, na forma de curativos ou ainda em instrumentos cirúrgicos, tendo em vista as suas características não apenas antibacterianas, mas também contra certos fungos, protozoários e vírus (FERNANDO; GUNASEKARA; HOLTON, 2018; ISLAM; JACOB; ANTUNES, 2021).

Pesquisas relatam que as partículas de prata manifestam atividades antimicrobianas em relação a bactérias gram-negativas, como a *E. coli*, assim como em relação às gram-positivas, como *S. aureus* (LI et al., 2022). Devido às propriedades em escala nanométrica das nanopartículas de prata, o uso de pequenas quantidades de AgNPs se mostram eficazes para a promoção de propriedades antimicrobianas. (LI et al., 2022; LIAO; LI; TJONG, 2019).

Uma outra alternativa que pode ser utilizada como agente antimicrobiano e que não apresente toxicidades aos seres humanos é o óxido de zinco (ZnO) que é um óxido metálico que já vem sendo empregado em dispositivos médicos (GUDKOV et al., 2021; KALPANA; DEVI RAJESWARI, 2018; SAHA et al., 2020). O ZnO pode afetar negativamente a superfície das células bacterianas, provocando o derramamento de substâncias intracelulares e, por fim, a morte das células bacterianas. A adição do óxido de zinco em polímeros naturais, como por exemplo na LBN é realizada no processo de vulcanização deste polímero e, de forma complementar, pode agir contra bactérias como *E. coli* e *S. aureus* (GUDKOV et al., 2021; KALPANA; DEVI RAJESWARI, 2018; KRAINOI et al., 2021).

3.7 INFECÇÃO POR BACTÉRIAS E FATORES QUE INFLUENCIAM NA ADESÃO DOS MICRORGANISMOS

As infecções causadas por bactérias representam um desafio significativo para a saúde pública no mundo todo (ROCHA; DANTAS, 2010). As bactérias possuem a capacidade de ocasionar uma vasta diversidade de doenças, como infecções superficiais e até mesmo doenças sistêmicas. O que influencia a patogenicidade das bactérias de forma predominante é a adesão

bacteriana, visto que deixa que as bactérias façam uma ligação na superfície, tanto bióticas como abióticas e produzam biofilmes tolerantes a antimicrobianos, o que é possível colaborar para a virulência bacteriana (LEBEAUX et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2015; O'TOOLE; KOLTER, 1998).

Inúmeros agentes podem intervir na adesão bacteriana e o que pode ser o fator mais importante é a existência de fimbrias, que são arranjos filamentosos presente na superfície das células bacterianas que podem influenciar na adesão de uma diversidade de superfícies (FLEMMING; WINGENDER, 2010; HACKER et al., 1990; OTTO et al., 2001; RAY et al., 2002). As fimbrias são consideradas estruturas adesivas fundamentais em diversas bactérias patogênicas, como *Escherichia coli*, *Salmonella* e *Pseudomonas aeruginosa* (HACKER et al., 1990; VALLE et al., 2008). Ademais, outras razões como a existência de moléculas de adesão nas superfícies abióticas ou da célula hospedeira (NOSTRO et al., 2012).

A adesão bacteriana é um procedimento complicado que acaba envolvendo inúmeras interações moleculares entre a superfície de adesão e a bactéria. Além das interações específicas entre as moléculas de adesão na superfície de adesão e na bactéria estão envolvidas as interações eletrostáticas, hidrofóbicas e de van der Waals. A composição química da superfície, a presença de fluidos e a presença de outros microorganismos podem influenciar essas interações moleculares (FLEMMING et al., 2022; OLIVEIRA et al., 2015).

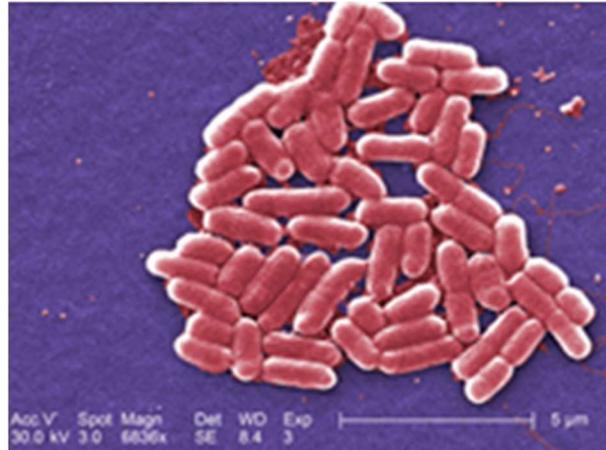
O entendimento dos mecanismos moleculares que estão envolvidos na adesão bacteriana pode levar a criação de novas técnicas terapêuticas com aplicação no tratamento de infecções bacterianas. O planejamento de técnicas que impeçam a o desenvolvimento de biofilmes englobam a utilização de superfícies revestidas de substâncias antiadesivas e também a utilização de enzimas que conseguem fazer a degradação do polissacarídeo extracelular que conserva as bactérias juntas no biofilme (FLEMMING et al., 2016). Além do mais, o uso de antibióticos profiláticos pode ser um método de prevenção de infecções bacterianas em pacientes em situação de alto risco (NOSTRO et al., 2012).

3.8 ESCHERICHIA COLI

Escherichia coli é uma bactéria que pode ser encontrada no intestino de humanos, aves, bovinos ou ainda outros animais endotérmicos (*Escherichia coli* O157:H7 (aka *E. coli*) | *Province of Manitoba*; SOARES, T. F.; 2017; TORTORA, 2005), é encontrado na forma de um bacilo, possui dimensões de cerca de 0,5 µm de largura por 2 µm de comprimento (Figura 4). Normalmente a bactéria que habita o intestino não causa problemas a saúde, entretanto, caso essa bactéria for direcionada para a circulação sanguínea ou ainda outras regiões do corpo, terá

a capacidade de causar doenças de infecções no hospedeiro (TORTORA,2005).

Figura 4 - Micrografia eletrônica de varredura de *E. coli*.



Fonte: adaptado de (*Province of Manitoba*).

A resistência antimicrobiana é um grande desafio para a saúde pública, e a *E. coli* é um dos patógenos mais importantes relacionados a essa questão. A resistência pode ocorrer naturalmente ou ser adquirida por meio de mutações ou transferência horizontal de genes de resistência (ABRANTES; NOGUEIRA, 2022; FIGUEIREDO MENDES BAPTISTA,2013; KNEIFEL; FORSYTHE, 2017).

3.9 ADESÃO BACTERIANA

A adesão bacteriana é um processo fundamental para a colonização e patogenicidade bacteriana (FLEMMING; WINGENDER, 2010; SIMÕES; SIMÕES; VIEIRA, 2010). A adesão bacteriana é um processo complexo que envolve muitos fatores, incluindo a expressão de fimbrias, flagelos e outros apêndices, e desempenha um papel fundamental na virulência bacteriana e na formação de infecções. Um exemplo de bactéria com fimbrias que desempenham um papel importante na adesão é a *E. coli*, que expressa fimbrias do tipo 1 e fimbrias de colonização de bactérias entéricas (CROXEN et al., 2013; FLEMMING; WINGENDER, 2010; Modern exudate management: a review of wound treatments).

Outro fator importante na adesão bacteriana é a presença de biofilmes, que são estruturas bacterianas multicelulares que se formam em superfícies. Os biofilmes protegem as bactérias do ambiente hostil e de agentes antimicrobianos, permitindo que elas persistam por longos períodos de tempo (FLEMMING; WINGENDER, 2001; FLEMMING; WINGENDER, 2010).

A adesão bacteriana também está envolvida na formação de infecções associadas a dispositivos médicos, como cateteres e próteses. A adesão bacteriana a esses dispositivos é influenciada pela composição química da superfície do dispositivo e pela capacidade da bactéria de formar biofilmes. Uma vez que as bactérias se estabelecem em um dispositivo médico, elas

podem formar biofilmes que são difíceis de erradicar e podem levar a infecções crônicas (FLEMMING; WINGENDER, 2010; SIMÕES; SIMÕES; VIEIRA, 2010).

Com base nas fundamentações apresentadas até aqui, este trabalho propõe a obtenção de um filme de látex de borracha natural enriquecido com nanopartículas metálicas. Buscaremos determinar propriedades essenciais do material resultante, incluindo resistência à tração, comportamento de inchamento e ângulo de contato. Além disso, será conduzida uma avaliação abrangente da atividade antimicrobiana do látex modificado, centrando-se na resistência a microrganismos patogênicos, como a *Escherichia coli*. Essa abordagem visa não apenas consolidar a compreensão das características físico-químicas do material, mas também explorar suas potenciais aplicações em contextos biomédicos. Essa fase de experimentação e análise direcionará a posterior discussão de resultados, proporcionando um panorama abrangente do impacto das nanopartículas metálicas no desempenho e funcionalidade do látex de borracha natural.

4 METODOLOGIA

4.1 MATERIAIS

O látex de borracha natural utilizado nesta pesquisa já centrifugado com concentração de 60% em massa, em solução de amônia, foi adquirido na empresa RubberSul (Estância Velha-RS), o hidróxido de amônio P.A. foi adquirido da empresa Química Moderna. Os demais componentes utilizados para a formulação dos filmes de látex como o ZnO (Votorantim S/A), ZEPC (Basile Química), enxofre (Basile Química) e o antioxidante fenol-estirenado (Basile Química) foram cedidos pela empresa Borrachas Vipal (Nova Prata, RS).

4.2 PREPARAÇÃO DOS FILMES DE LÁTEX NATURAL

Os filmes de látex natural foram produzidos através de um processo cauteloso para garantir a incorporação eficaz de nanopartículas metálicas com propriedades antimicrobianas. Para a formulação de emulsificação foi utilizada, inicialmente, o látex natural líquido, o qual já havia passado pelo processo de centrifugação (60%), tendo como principal objetivo a diminuição da quantidade de proteínas alergênicas. O polímero também passa por um processo de estabilização com uma solução de hidróxido de amônio com o intuito de evitar sua coagulação. Esta etapa é essencial para a estabilização da matriz polimérica, o que viabiliza posteriormente a adição dos aditivos (DONIZETTI HERCULANO, 2009).

Foi preparado um solução de hidróxido de amônio (0,1 % v/v), a qual foi utilizada como meio para introdução dos aditivos. Nesta fase, os aditivos previamente pesados, apresentados

na Tabela 1, foram adicionados a solução de hidróxido de amônio. Esta solução contendo os aditivos foi submetida a procedimento de ultrassom e avaliada em duas temperaturas diferentes, 25 e $50 \pm 2^\circ\text{C}$. Os testes foram realizados em três intervalos de tempo distintos de 30, 45 e 60 min. Esta fase teve o objetivo de conseguir uma melhor dispersão dos aditivos na matriz polimérica.

Após o processo de ultrassom, a solução aditiva foi gradualmente adicionada à solução de látex, que foi submetida anteriormente a uma agitação constante de 500 rpm por 10 minutos. Terminada a adição da solução de hidróxido de amônio contendo os aditivos à solução de látex, a rotação do agitador foi aumentada para 1000 rpm, mantendo a agitação por mais 30 minutos.

A solução resultante foi transferida para placas de Petri de vidro com 140 mm de diâmetro e em seguida dispostas em uma estufa já aquecida a 60°C com circulação forçada de ar. O processo de secagem foi de aproximadamente 15 horas, garantindo a formação de uma matriz sólida e a remoção completa de todos os solventes. A etapa final envolveu a vulcanização do filme e posterior lixiviação. A vulcanização foi feita a 110°C por 50 minutos, fortalecendo a estrutura e intencificando as propriedades desejadas para o uso em contextos biomédicos.

O método utilizado na preparação dos filmes, foi cuidadosamente desenvolvido para garantir que a produção dos filmes de látex de borracha natural com as nanopartículas metálicas possuíssem propriedades antimicrobianas essenciais para aplicações biomédicas, além de visar a diminuição da fração residual após o processo de mistura. Foi utilizado dois diferentes tipos de óxido de zinco, o primeiro utilizado no Ensaio 1 foi o ZnO convencional, com tamanho comercial, já no Ensaio 2 utilizou-se o nano ZnO (ZnO 40). As formulações testadas no látex de borracha natural estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Formulações testadas no látex de borracha natural.

Aditivos	Ensaio 1		Ensaio 2	
	Phr	Aditivos	phr	
¹ LBN	100	¹ LBN	100	
Aditivo antibacteriano	0,50	Aditivo antibacteriano	0,50	
² KOH	0,21	² KOH	0,21	
³ Surfactante	0,50	³ Surfactante	0,50	
⁴ Antioxidante	0,50	⁴ Antioxidante	0,50	
⁵ ZnO	0,25	^{5.1} ZnO 40	0,25	
⁶ ZPEC	0,50	⁶ ZPEC	0,50	
⁷ S	0,75	⁷ S	0,75	

¹Látex de borracha natural, ²Hidróxido de potássio, ³Lauril sulfato de sódio, ⁴Antioxidante fenol-estireno, ⁵Ativados óxido de zinco, ^{5.1} Óxido de Zinco nanoparticulado ⁶Acelerador dietilditiocarbamato de zinco $\{[(C_2H_5)_2NCS_2]_2Zn\}$, ⁷Enxofre.

Fonte: Autora, 2023.

Para a adição adequada de ZnO foi somado os valores de ZnO comercial do aditivo antimicrobiano, apresentados na Tabela 1, levando em consideração que o óxido de zinco é a base do aditivo mencionado. Os ensaios 1 e 2 possuem os mesmos aditivos e as mesmas concentrações, com exceção do ZnO que no ensaio 2 foi utilizado o nano ZnO (ZnO 40) que apresenta um diâmetro de poro de 3,6 nm. Nos ensaios 1 e 2 a emulsificação foi realizada a 25 ± 2 °C, e posteriormente estes ensaios foram replicados seguindo a mesma formulação no entanto com a temperatura de emulsificação em 50 ± 2 °C.

Na Tabela 2 pode ser observado a nomenclatura das amostras para melhor entendimento na leitura dos resultados das análises que serão apresentadas nesta pesquisa.

Tabela 2 - Nomenclatura das amostras com base nos parâmetros variáveis na obtenção dos filmes.

Ensaio	Amostra	Óxido de Zinco	T (°C)	t (min)
1	A-30	ZnO	25	30
1	A-45	ZnO	25	45
1	A-60	ZnO	25	60
2	B-45	ZnO	50	45
3	C-45	ZnO 40	25	45
4	D-45	ZnO 40	50	45

Fonte: Autora, 2023.

4.3 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA

4.3.1 Resistência à tração

Os testes de resistência à tração foram realizados de acordo com a ISO 37:2017(E), os corpos de provas foram cortados a partir dos filmes no formato de alteres considerando geometrias e dimensões específicas garantindo que a área de teste seja representativa e que a amostra esteja livre de defeitos. Os testes foram executados utilizando uma máquina universal de ensaios EMIC DL20 no Laboratório de Polímeros (LPol) da Universidade de Caxias do Sul, onde um esforço gradual e constante é aplicado na direção axial do corpo de prova, levando-o a se romper. Os resultados foram obtidos com base em uma média de 5 medições fornecendo uma compreensão abrangente das propriedades mecânicas do filme.

4.3.2 Ângulo de contato

A hidrofilicidade dos filmes de látex com a incorporação do aditivo antimicrobiano foi analisada por meio da avaliação do ângulo de contato, onde uma gota de água destilada foi depositada em três pontos diferentes sobre a superfície dos filmes de cada amostra. As medições para o cálculo do ângulo de contato foram feitas com o auxílio de um equipamento da marca Phoenix, modelo 150, localizado no Laboratório de Caracterização de Materiais (LCMAT) da Universidade de Caxias do Sul.

4.3.3 Análises antimicrobianas

Inicialmente foi realizado a esterilização das amostras com luz UV por 8 horas, as quais apresentavam 1,8 cm de diâmetro, após a inoculação as amostras foram levadas a estufa por 24 h com temperatura de 37 °C. Para a realização dos ensaios bactericidas foram utilizados os microrganismos *E. coli*, foram feitos teste de difusão em ágar com caldo Müeller-Hinton (meio semissólido) e o caldo Müeller-Hinton (meio líquido). A amostra foi inoculada com a suspensão de *E. coli*, garantindo uma distribuição uniforme sobre a superfície do meio. Após a incubação, a amostra foi avaliada quanto à presença e extensão do crescimento de *E. coli*. A efetividade antimicrobiana foi determinada comparando a amostra com controles não tratados.

4.3.4 Inchamento em solventes

O teste de inchamento em solventes foi conduzido para avaliar a resposta dos filmes de látex com incorporação do aditivo antimicrobiano, à exposição a diferentes solventes, a partir

de adaptações da norma ASTM D471. Dois solventes distintos foram empregados: água com detergente (2,5% m/v) e álcool etílico 70%. O procedimento iniciou-se pela preparação de amostras representativas dos filmes, garantindo geometrias consistentes e ausência de defeitos. Conforme a norma ASTM D471, foram utilizados três corpos de prova com dimensões de 2 cm x 2 cm. Cada amostra foi submetida à imersão nos solventes mencionados por um período definido pela literatura, sendo a primeira pesagem 18 horas após a imersão e a segunda pesagem após 40 h (ANJOS, 2007; CAETANO, 2022; Effect of Liquids ASTM D471, 2021; MILLER-CHOU; KOENIG, 2003; NF ISO 1817, 2006; SPERLING, 2005).

Essa análise de inchamento em solventes fornece uma compreensão aprofundada das propriedades de absorção e expansão dos filmes, sendo essencial para a predição do comportamento em ambientes específicos. Os resultados deste teste contribuem para a avaliação abrangente das características físicas dos filmes de látex, enriquecendo a compreensão sobre o seu desempenho em aplicações práticas (ANJOS, 2007; BOWER; SOLIS, 2003; L. SPENADEL; GOOD, 1959; MILLER-CHOU; KOENIG, 2003; SPERLING, 2005; VEIGA, 2015; VOSNIAK TAKESHITA, 2010).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No processo laboratorial de produção de filmes de látex com adição do aditivo antimicrobiano, a primeira etapa envolveu a realização do ensaio 1, explorando diferentes tempos de emulsificação (30, 45 e 60 minutos), o filme resultante pode ser observado na Figura 5. Neste contexto, os testes de resistência à tração foram conduzidos como parte integrante do processo de avaliação para a continuidade da obtenção dos filmes nos demais ensaios.

Figura 5 - Filme de Látex de Borracha Natural após os processos de Vulcanização e Lixiviação.



Fonte: Autora, 2023.

Fluxograma 1 – Esquema do processo seguido para a produção dos filmes de LBN.

Pesagem dos aditivos: Inicialmente foi feita a pesagem dos aditivos. Conforme listado na Tabela 1.

Adição de NH_4OH : Com os aditivos devidamente pesados foi feita a adição da solução de NH_4OH 0,1 % (v/v).

Emulsificação: A solução de hidróxido de amônio com os aditivos foi inserida em uma cuba ultrassônica com controle de temperatura (25 e 50 ± 2 °C) por 30, 45 e 60 min no Ensaio 1, para os demais ensaios foi padronizado 45 min.

Agitação: Nesta etapa adicionou-se a solução que passou pela cuba ultrassônica à solução de látex que foi agitada anteriormente por 10 min a 500 rpm. O processo de agitação da solução completa foi feita em 1000 rpm por 30 min.

Secagem: A secagem foi feita a 60 °C por ± 14 h com circulação de ar forçada.

Vulcanização: O processo de vulcanização foi feito em uma temperatura de 110 °C por 50 min.

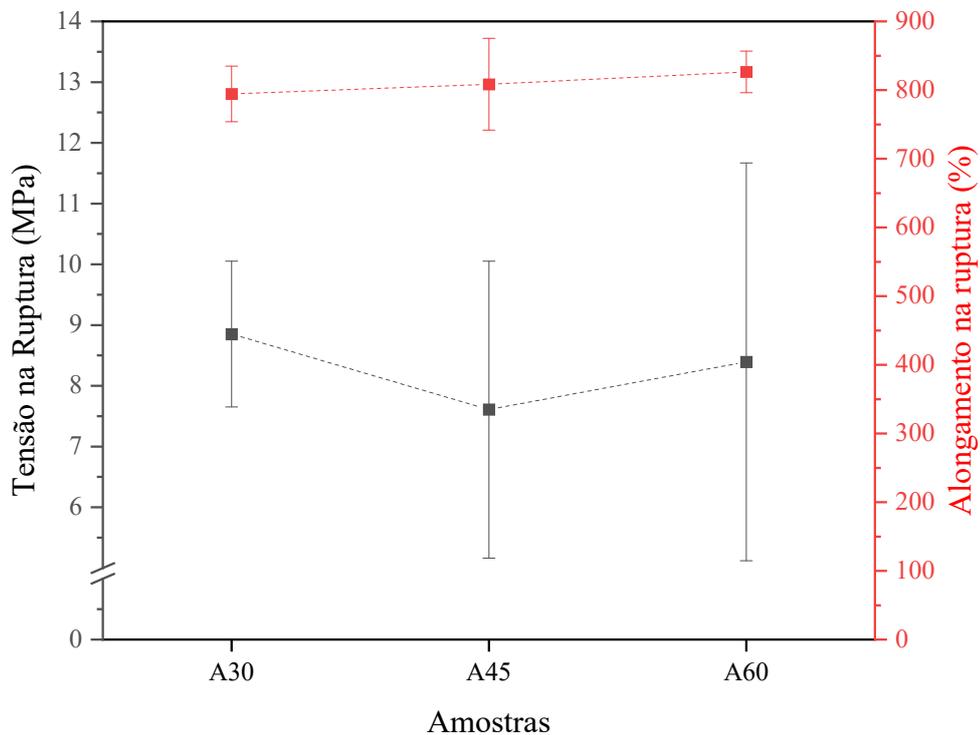
Lixiviação: A lixiviação foi feita com 300 mL de água destilada para cada filme.

Fonte: Autora, 2023.

5.1.1 Resistência à tração

Os resultados obtidos na análise da tensão e do alongamento na ruptura revelaram que, para os tempos de emulsificação de 30, 45 e 60 minutos, os resultados foram semelhantes, como pode ser observado na Figura 6. Diante dessa constatação, optou-se por prosseguir com a produção dos filmes e as análises subsequentes com base no tempo intermediário de emulsificação, ou seja, 45 minutos.

Figura 6 - Análise de Tensão e Alongamento na ruptura dos filmes de látex com ZnO com 25 ± 2 °C de temperatura na emulsificação.



Fonte: Autora, 2023.

Essa escolha se fundamentou na busca por um equilíbrio otimizado nas propriedades dos filmes, considerando que o tempo de emulsificação poderia desempenhar um papel crucial na formação das características do látex e, por conseguinte, nos filmes resultantes. Dessa forma, a decisão de prosseguir com o tempo de emulsificação de 45 minutos foi uma estratégia adotada com base na otimização das propriedades mecânicas dos filmes, visto que considerando-se o desvio padrão, tanto a tensão na ruptura quanto o alongamento na ruptura são semelhantes.

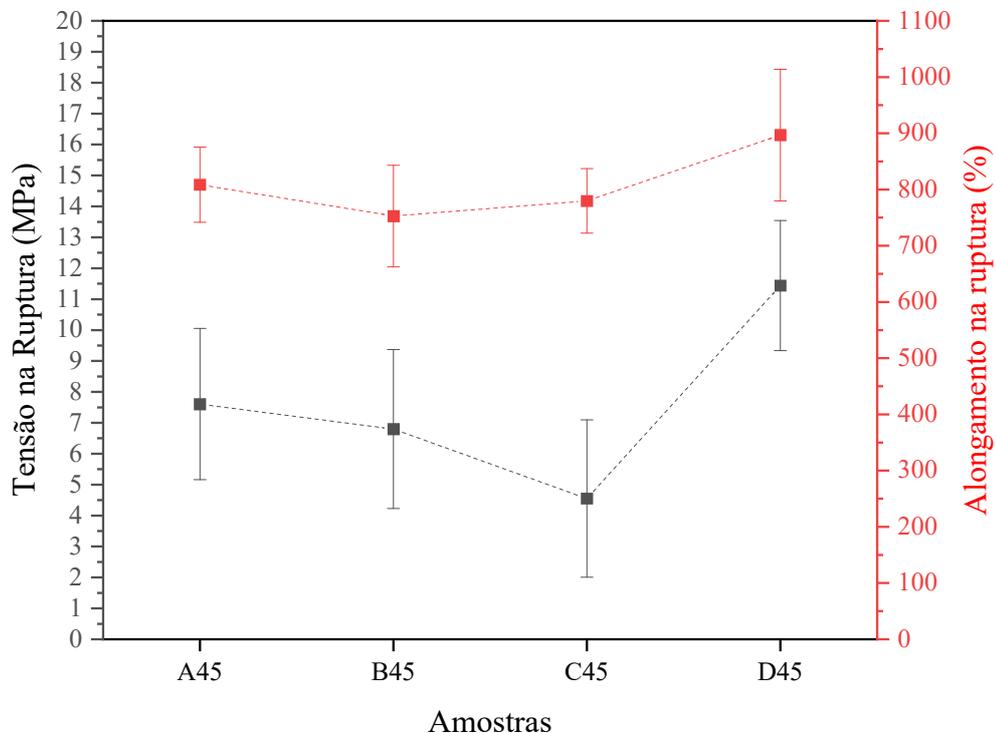
A Figura 7 mostra os resultados obtidos dos testes de resistência à tração das amostras com diferentes aditivos antibacterianos e diferentes temperaturas no momento da emulsificação, como descritas na Tabela 2 como Ensaios 1, 2, 3 e 4. Com base nos resultados observados, quando comparado as amostras que contém o mesmo aditivo antibacteriano e

variação na temperatura e tempo de emulsificação, percebeu-se que não existe uma grande variação no comportamento das amostras quanto à resistência à tração. No entanto, quando comparadas as amostras com distintos ZnO (convencional e nanoparticulado) percebeu-se que a tensão na ruptura aumentou.

Os resultados para a tensão na ruptura revelam a capacidade do elastômero em suportar cargas até o ponto de ruptura. De acordo com a Figura 6, a análise dos resultados revela que os filmes provenientes do ensaio 4, que contém o ZnO 40 e foi emulsionado a 50 ± 2 °C, destacam-se como os mais promissores na avaliação de resistência à tração. Possivelmente o fato desse aditivo ser nanoparticulado e o aumento da temperatura facilitaram a emulsificação e posterior mistura no látex.

O alongamento de ruptura é um indicador fundamental da capacidade do elastômero de resistir a deformações antes de atingir o ponto de ruptura. Considerando-se o desvio-padrão as formulações apresentaram resultados semelhantes indicando que o tipo de aditivo e temperatura de emulsificação não influenciaram essa propriedade.

Figura 7 - Análise da tensão e do alongamento na ruptura dos filmes de látex com diferentes aditivos antibacterianos e temperaturas na emulsificação.



Fonte: Autora, 2023.

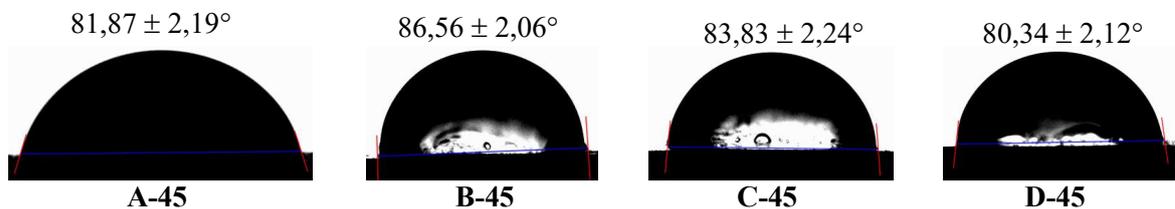
Pode-se observar na Figura 7 que existe uma tendência em aumentar tanto o alongamento quanto a tensão na ruptura para a amostra D-45 isso se deve ao fato de a amostra possuir propriedades melhores quando comparada com as demais, visto que a amostra em

questão teve a adição do ZnO 40, que por apresentar uma estrutura nanoparticulada consegue ativar de forma mais eficiente o sistema de vulcanização promovendo um maior número de ligações cruzadas o que faz com que tenha um aumento tanto na tensão de ruptura quanto no alongamento da ruptura (GUJEL, 2016).

5.1.2 Ângulo de contato

Um ângulo de contato próximo a 0° indica uma superfície hidrofílica, indicando que o líquido, neste caso a água, se espalha facilmente sobre o elastômero. Por outro lado, um ângulo próximo a 180 graus sugere uma superfície hidrofóbica, indicando que o líquido não se espalha, formando uma gota mais arredondada. Para considerar uma amostra como tendo caráter hidrofóbico, geralmente utiliza-se um ângulo de contato superior a 90° . Valores acima disso indicam uma superfície que repele a água, característica desejável em muitas aplicações, como revestimentos repelentes de água e dispositivos microfluídicos (AHMAD et al., 2018; BUTT et al., 2022; GOOD, 1992; OLIVEIRA, 2015). Na Figura 8 estão os resultados obtidos por meio da análise de ângulo de contato.

Figura 8 - Ângulo de contato das amostras selecionadas do látex vulcanizado.



Fonte: Autora, 2023.

Os valores obtidos nos quatro ensaios revelaram ângulos de contato superiores a 80° , indicando que as amostras apresentam características de superfície próximas ao caráter hidrofóbico. Como pode ser observado na Figura 8 com a adição do aditivo antibacteriano (ZnO 40) observou-se uma leve diminuição no ângulo de contato. Essa observação sugere que a água não se espalha facilmente sobre o elastômero, formando gotas mais arredondadas e evidenciando uma tendência para repelir o líquido (AHMAD et al., 2018; BUTT et al., 2022; GOOD, 1992; OLIVEIRA, 2015).

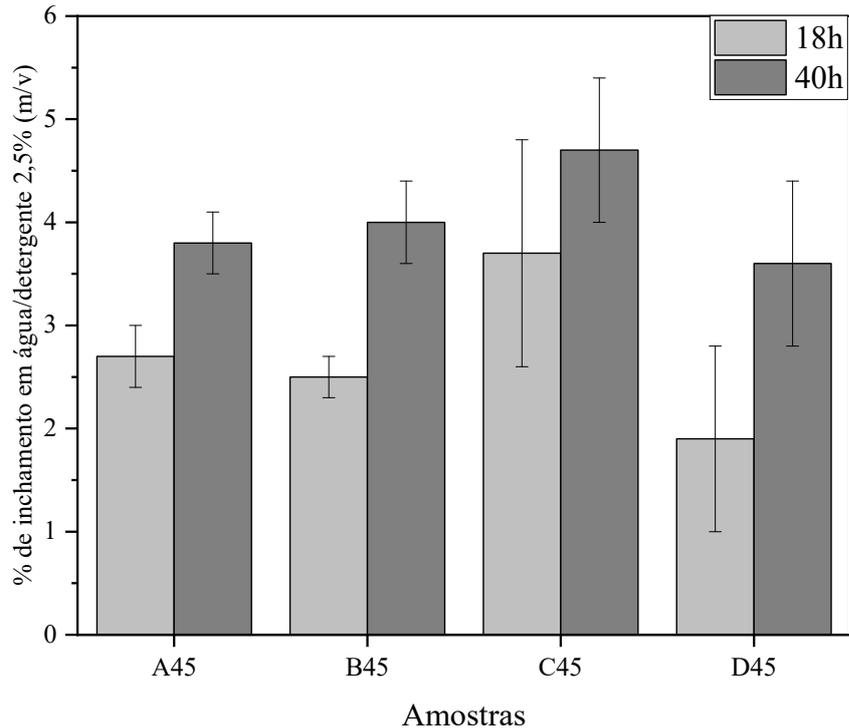
Observou-se que, para as amostras com ZnO convencional, A-45 e B-45, que a temperatura de emulsificação de $50 \pm 2^\circ\text{C}$ resultou em um aumento no ângulo de contato em comparação com a temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$. Esse fenômeno pode ser associado a alterações na estrutura superficial do elastômero devido à variação de temperatura durante o processo de emulsificação (GOMES et al., 2019; LI et al., 2013; SILVESTRIN et al., 2021; ZHANG;

WANG; ZHAO, 2023). Já ao analisar-se as amostras com o ZnO nanoparticulado, C-45 e D-45, observou-se que ocorreu o efeito oposto, com a temperatura de emulsificação de 50 ± 2 °C resultando em um ângulo de contato menor em comparação com a de 25 ± 2 °C. Isso sugere uma influência diferenciada do processo de emulsificação nas propriedades superficiais do elastômero quando nanopartículas estão presentes. Essa variação pode estar relacionada à dispersão e distribuição das nanopartículas, influenciando a interação entre o material e a água (BUTT et al., 2022; GOMES et al., 2019; GOOD, 1992; LI et al., 2017; MITTAL, 2007; HUA et al., 2013; TSUZUKI et al., 2022; WANG; PENG; SU, 2010).

5.1.3 Ensaios de inchamento

No contexto dos testes realizados, foi avaliado o inchamento em dois solventes distintos, o primeiro sendo água com detergente 2,5% (m/v) e o segundo sendo álcool etílico 70% (v/v). A escolha dos solventes, foi orientada por uma das possíveis finalidades do material, que é a produção de luvas cosméticas para próteses de membros superiores. Essa escolha reflete a necessidade de simular condições realistas de uso, incluindo a limpeza frequente com água e detergente, além da exposição eventual a álcool etílico. Essa abordagem estratégica visa avaliar a resistência do material a agentes de limpeza comuns e desinfetantes, garantindo sua durabilidade em aplicações biomédicas. O inchamento observado em água com detergente 2,5% está representado na Figura 9, e pode ser atribuído à capacidade do detergente de modificar a tensão superficial da água, permitindo uma maior interação com a superfície do elastômero.

Figura 9 - Grau de inchamento em água e detergente 2,5% (m/v) das amostras selecionadas do látex vulcanizado.



Fonte: Autora, 2023.

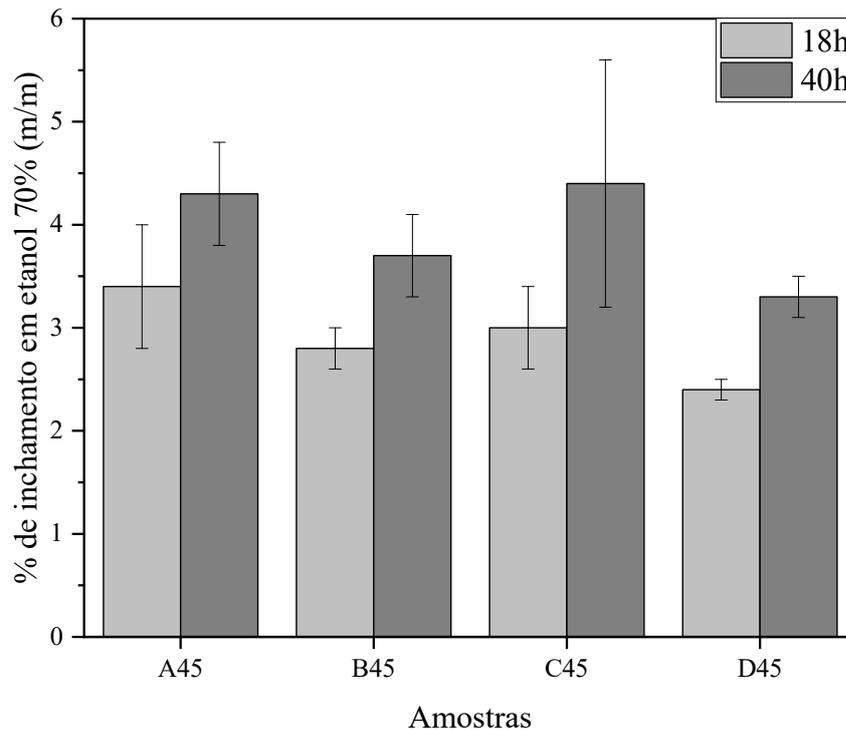
O fenômeno do inchamento em solventes, apesar da insolubilidade intrínseca das borrachas vulcanizadas, destaca a capacidade desses materiais de absorver líquidos em diferentes graus. A variação nas respostas ao inchamento em água com detergente e álcool etílico 70% destaca a complexidade das interações polímero-solvente e aponta para a importância de considerações específicas da aplicação ao desenvolver elastômeros para ambientes variados (ANJOS, 2007; BOWER; SOLIS, 2003; L. SPENADEL; GOOD, 1959; MILLER-CHOU; KOENIG, 2003; SPERLING, 2005; VEIGA, 2015; VOSNIAK TAKESHITA, 2010).

Nos testes, a presença de ligações cruzadas impede a dissolução completa do elastômero nos solventes, resultando em um inchamento controlado. O comportamento da rede de ligações cruzadas é particularmente evidente na resistência do filme à absorção de solventes, uma vez que polímeros com alta densidade de ligações cruzadas geralmente apresentam menor inchamento. A rede de ligações cruzadas exerce sua função de restringir a absorção excessiva, mantendo a integridade estrutural dos filmes, que neste caso, como pode ser observado na Figura 9, que teve menor grau de inchamento foram as amostras do ensaio 4, que teve adição do ZnO 40 e foram emulsificadas a 50 ± 2 °C, corroborando os resultados de resistência à tração apresentados anteriormente (ANJOS, 2007; BOWER; SOLIS, 2003; L. SPENADEL; GOOD, 1959; MILLER-CHOU; KOENIG, 2003; SPERLING, 2005; VEIGA, 2015; VOSNIAK TAKESHITA, 2010).

O álcool etílico 70%, pode influenciar o inchamento de maneira distinta em comparação

com a água com detergente. A presença de água no álcool pode criar condições favoráveis para a interação entre o solvente e as regiões hidrofílicas da superfície do elastômero. Os resultados estão representados na Figura 10.

Figura 10 - Grau de inchamento em álcool etílico 70% (m/m) das amostras selecionadas do látex vulcanizado.



Fonte: Autora, 2023.

Diferentes formulações de elastômero podem exibir respostas variadas ao inchamento nos solventes testados. A composição específica do elastômero, incluindo aditivos e cargas, pode influenciar a absorção de líquidos e, conseqüentemente, o aumento de volume. A análise do inchamento não apenas fornece informações sobre a interação solvente-elastômero, mas também tem implicações práticas, especialmente em aplicações onde a exposição a esses solventes é uma consideração relevante visto que a finalidade do material produzido é a área biomédica (ANJOS, 2007; CAETANO, 2022; VEIGA, 2015).

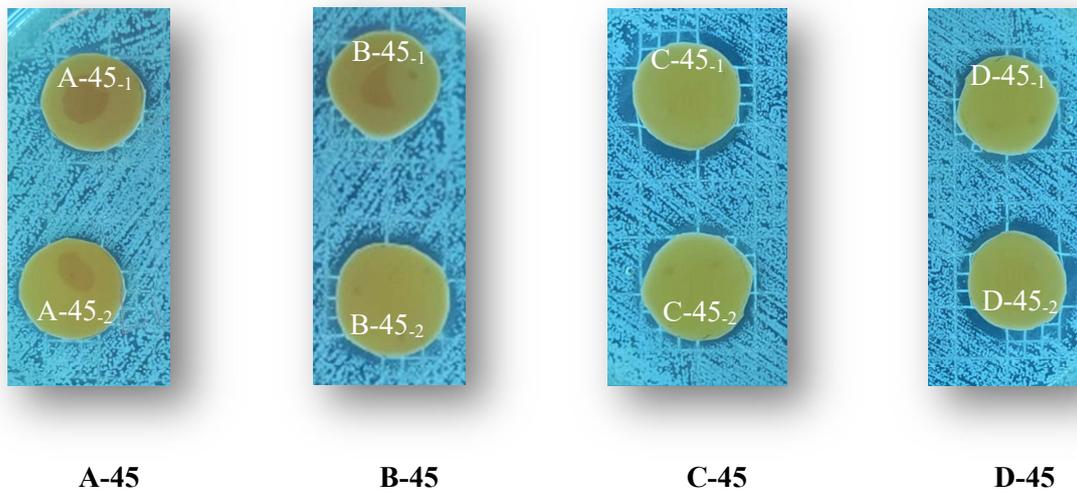
Neste caso, o ensaio 4 foi quem apresentou o menor grau de inchamento em ambos os solventes, indicando que os filmes deste ensaio apresentam uma maior densidade de ligações cruzadas.

5.1.4 Ensaios antibacterianos

Foi possível observar a formação de um halo de inibição nos ensaios antibacterianos que sugere que o aditivo antimicrobiano adicionado às formulações de látex desempenhou um

papel significativo na inibição do crescimento bacteriano. O óxido de zinco é reconhecido por suas propriedades antimicrobianas, e sua eficácia contra *Escherichia coli* destaca-se nesse contexto. Estes resultados são fundamentais na busca por materiais como este em questão que serão aplicados na área biomédica, visto que há a necessidade de que estes materiais possuam propriedades antimicrobianas, estes resultados estão retratados na Figura 11.

Figura 11 - Halos de inibição do crescimento da bactéria *E. coli* formados por filmes de látex com diferentes aditivos antibacterianos em ensaios de difusão em ágar.



Fonte: Autora, 2023.

Os corpos de prova C-45₁ e D-45₂ foram as que apresentaram maior halo, com 2 mm e 1 mm, respectivamente. Com isso é possível concluir que o corpo de prova C₁ apresentou maior inibição do crescimento da bactéria *E. Coli*. Este corpo de prova é da amostra C-45 a qual teve adição de ZnO 40 e sua emulsificação foi realizada a uma temperatura de 25 ± 2 °C, ensaio 3.

A ausência de crescimento de colônias nos filmes após a inoculação indica propriedades bactericidas, evidenciando a capacidade de eliminar ativamente as bactérias. Foi possível observar que se obteve uma coloração azulada semelhante ao controle negativo, juntamente com a ausência de crescimento de colônias. Os resultados podem ser observados na Figura 12.

Figura 12 - Inibição do crescimento da bactéria *E. coli* promovida pelos filmes de látex com diferentes aditivos antimicrobianos em ensaios em meio líquido e plaqueamentos em ensaios de difusão em ágar dos meios líquidos.



Fonte: a autora.

A constatação de que os filmes com adição de óxido de zinco são bactericidas tem implicações significativas em aplicações biomédicas. Materiais que possuem a capacidade de eliminar bactérias, como *E. coli*, podem ser essenciais em dispositivos médicos, curativos ou revestimentos de superfícies onde a prevenção de infecções é prioritária. A confirmação da atividade antibacteriana abre portas para estudos adicionais, como a otimização das formulações para maximizar a eficácia antimicrobiana sem comprometer outras propriedades do elastômero, como flexibilidade e durabilidade.

6 CONCLUSÃO

A presente pesquisa se concentrou na obtenção e caracterização de um material inovador, elastômeros de látex de borracha natural, adicionando nanopartículas de óxido de zinco e prata, visando aplicações biomédicas. Os resultados obtidos ao longo deste estudo proporcionam uma visão promissora e significativa para o desenvolvimento de materiais que não apenas apresentam propriedades antimicrobianas notáveis, mas também demonstram melhorias significativas em características intrínsecas do látex de borracha natural. Observou-se uma diminuição notável na fração residual após a emulsificação com hidróxido de amônio, indicando uma eficiência notável no processo de produção dos filmes de látex de borracha natural. Esse resultado não apenas destaca a viabilidade técnica da metodologia utilizada, mas também sugere uma abordagem eficaz para a preparação do material base. Os resultados dos testes de difusão com *E. coli* são particularmente animadores, evidenciando a eficácia antibacteriana dos filmes de elastômero adicionados com óxido de zinco. A formação de um halo de inibição indica a capacidade de prevenir o crescimento bacteriano ao redor dos filmes, enquanto a análise com risazurina e a ausência de crescimento de colônias comprovam a natureza bactericida do material.

A incorporação de propriedades antimicrobianas nesses elastômeros abre perspectivas significativas para aplicações biomédicas. A capacidade de eliminar ativamente as bactérias, além de prevenir seu crescimento, posiciona esses materiais como candidatos promissores para uso em dispositivos médicos, curativos, catéteres e recobrimentos onde a prevenção de infecções é crucial. Os resultados obtidos abrem caminhos para investigações mais aprofundadas, como a otimização das formulações para maximizar a eficácia antimicrobiana sem comprometer outras propriedades essenciais dos elastômeros. Além disso, explorar aplicações específicas em dispositivos biomédicos específicos pode ser uma direção promissora para futuras pesquisas.

A pesquisa não apenas avança no campo dos materiais antimicrobianos, mas também contribui para a criação de ambientes mais seguros em aplicações médicas. A eliminação ativa de bactérias por parte dos elastômeros pode representar uma linha de defesa adicional contra infecções, particularmente relevantes em ambientes hospitalares e de cuidados de saúde. A presente pesquisa não apenas confirma a viabilidade da produção de elastômeros de látex de borracha natural adicionados com óxido de zinco, mas também destaca seu potencial revolucionário em ambientes biomédicos. O comprometimento demonstrado na eliminação de bactérias oferece soluções inovadoras para desafios de infecção, promovendo avanços tangíveis na segurança e eficácia de materiais utilizados em contextos médicos críticos.

Com base em todos os resultados discutidos ao longo desta pesquisa, pode-se afirmar que a amostra C-45 do Ensaio 3 é a que se mostrou melhores resultados quando comparada com as demais. Além disso, quando avaliado a produção em escala industrial é o que necessita menor controle ao longo do processo visto que a temperatura da emulsificação é a temperatura ambiente.

REFERÊNCIAS

- ABRANTES, J. A.; NOGUEIRA, J. M. DA R. **Resistência bacteriana aos antimicrobianos: uma revisão das principais espécies envolvidas em processos infecciosos.** Revista Brasileira de Análises Clínicas, v. 53, n. 3, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.21877/2448-3877.202102156>. Acesso em: 03 mai. 2023.
- AGOSTINI, D. **Caracterização dos constituintes do látex e da borracha natural que estimulam a angiogênese,** Universidade Estadual Paulista, 2009. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/94503/agostini_dls_me_bauru.pdf;sequence=1. Acesso em 03 mai. 2023.
- AHMAD, D. et al. **Hydrophilic and hydrophobic materials and their applications.** Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, v. 40, n. 22, p. 2686–2725, 5 set. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/15567036.2018.1511642>. Acesso em: 30 nov. 2023.
- AHUMADA, M. F. et al. **Evaluation of the efficacy of essential oils of Lavandula angustifolia and Eucalyptus globulus for the control of Varroa destructor in Apis mellifera: A randomised field study.** Austral journal of veterinary sciences, v. 54, n. 2, p. 83–87, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4067/S0719-81322022000200083>. Acesso em: 01 mai. 2023.
- AKTER, M. et al. **A systematic review on silver nanoparticles-induced cytotoxicity: Physicochemical properties and perspectives.** Journal of Advanced Research, v. 9, p. 1–16, jan. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jare.2017.10.008>. Acesso em: 25 abr. 2023.
- ALRIC, C. et al. **The biodistribution of gold nanoparticles designed for renal clearance.** Nanoscale, v. 5, n. 13, p. 5930, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1039/c3nr00012e>. Acesso em: 25 abr. 2023.
- ALVES, A. C. **Preparação e caracterização de filmes a base de nanocompósitos borracha natural-AgNPs.** repositorio.ufc.br, 2018. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/53752>. Acesso em: 19 jun. 2023.
- GUJEL, A. A. **Desenvolvimento e caracterização de composições elastoméricos de EPDM com redução no teor de óxido de zinco.** Tese do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais da Universidade de Caxias do Sul. 27 jun. 2016. Disponível em: <https://repositorio.uccs.br/xmlui/bitstream/handle/11338/1188/Tese%20Angela%20Artini%20Gujel.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em 01 nov. 2023.
- ANJOS, M. R. O. **Avaliação de Borrachas SBR utilizadas em solas de calçados de uso da Marinha do Brasil.** Tese de Mestrado em Ciências em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, UFRJ. Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <https://www.metalmat.ufrj.br/index.php/br/pesquisa/producao-academica/dissertacoes/2007-1/447--424/file>. Acesso em: 26 nov. 2023.
- ARAUJO, M. M.; MASSUDA, E. T.; HYPPOLITO, M. A. **Anatomical and functional evaluation of tympanoplasty using a transitory natural latex biomembrane implant from**

the rubber tree *Hevea brasiliensis*. Acta Cirurgica Brasileira, v. 27, n. 8, p. 566–571, ago. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-86502012000800009> Acesso em: 15 de abr. 2023.

A review on metal-based nanoparticles and their toxicity to beneficial soil bacteria and fungi. Ecotoxicology and Environmental Safety, v. 213, p. 112027, 15 abr. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112027>. Acesso em: 20 abr. 2023.

A RAVVE. **Principles Of Polymer Chemistry**. 2016. Acesso em: 30 nov. 2023.

ARNOSO, B. J. DE M.; DA COSTA, G. F.; SCHMIDT, B. **Biodisponibilidade e classificação de compostos fenólicos**. Nutrição Brasil, v. 18, n. 1, p. 39, 4 ago. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.33233/nb.v18i1.1432>. Acesso em: 01 mai. 2023.

ARTINI, M. et al. **Cold-adapted bacterial extracts as a source of anti-infective and antimicrobial compounds against *Staphylococcus aureus***. Future Microbiology, v. 14, n. 16, p. 1369–1382, 9 out. 2019. Disponível em: [https://doi-org.ez314.periodicos.capes.gov.br/10.2217/fmb-2019-0147](https://doi.org.ez314.periodicos.capes.gov.br/10.2217/fmb-2019-0147). Acesso em: 01 mai. 2023.

Bai DP, Zhang XF, Zhang, GL, et al. **Zinc oxide nanoparticles induce apoptosis and autophagy in human ovarian cancer cells**. Int J Nanomedicine. 2017;12:6521-35. Disponível em: <https://doi.org/10.2147/IJN.S140071>. Acesso em: 30 abr. 2023.

B.D. Ratner, A.S. Hoffman, F.J. Schoen, J.E. Lemons, **Biomaterials science: an introduction to materials in medicine**, 2004. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=9PMU1iYGe34C&printsec=frontcover&hl=pt-BR#v=onepage&q&f=false>. Acesso em 29 abr. 2023.

BENN, T. M.; WESTERHOFF, P. **Nanoparticle Silver Released into Water from Commercially Available Sock Fabrics**. Environmental Science & Technology, v. 42, n. 11, p. 4133–4139, jun. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/es7032718>. Acesso em: 26 abr. 2023.

BESSA, L. J. et al. **Bacterial isolates from infected wounds and their antibiotic susceptibility pattern: some remarks about wound infection**. International Wound Journal, v. 12, n. 1, p. 47–52, 24 fev. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/iwj.12049>. Acesso em: 02 mai. 2023.

Bisht G, Rayamajhi S. **ZnO nanoparticles: a promising anticancer agent**. Nanobiomedicine (Rij). 2016;3:9:1- 11. Disponível em: <https://doi.org/10.5772/63437>. Acesso em: 26 abr. 2023.

BLACKLEY, D.C. **Polymers Latices**; Chapman & Hall: Glasgow, 1997. vol. 2.

BOLAND, T.; LATOUR, R. A.; STUTZENBERGER, F. **Molecular Basis of Bacterial Adhesion**. Humana Press eBooks, p. 29–41, 15 nov. 2003. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-1-59259-224-1_2. Acesso em: 03 mai. 2023.

BONDARENKO, O. et al. **Toxicity of Ag, CuO and ZnO nanoparticles to selected**

environmentally relevant test organisms and mammalian cells in vitro: a critical review.

Archives of Toxicology, v. 87, n. 7, p. 1181–1200, 1 jul. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00204-013-1079-4>. Acesso em: 21 abr. 2023.

BOONRASRI, S.; SAE-OUI, P.; RACHTANAPUN, P. Chitosan and Natural Rubber Latex Biocomposite Prepared by Incorporating Negatively Charged Chitosan Dispersion. **Molecules**, v. 25, n. 12, p. 2777, 16 jun. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/molecules25122777>. Acesso em 30 nov. 2023.

BOWER, D. I.; SOLIS, F. J. An Introduction to Polymer Physics. **American Journal of Physics**, v. 71, n. 3, p. 285–286, mar. 2003. Acesso em: 30 nov. 2023.

BRADY, R. A. et al. **Osteomyelitis and the role of biofilms in chronic infection.** FEMS Immunology & Medical Microbiology, v. 52, n. 1, p. 13–22, jan. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1574-695x.2007.00357.x>. Acesso em: 02 mai. 2023.

BURT, S. **Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods—a review.** International Journal of Food Microbiology, v. 94, n. 3, p. 223–253, ago. 2004. Disponível em: <https://doi-org.ez314.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.ijfoodmicro.2004.03.022>. Acesso em: 01 mai. 2023.

BUTT, H.-J. et al. **Contact angle hysteresis.** Current Opinion in Colloid & Interface Science, v. 59, p. 101574, 1 jun. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cocis.2022.101574>. Acesso em 30 nov. 2023.

CAETANO, S. T. et al. **Determinação das propriedades reométricas, mecânicas, densidade de ligações cruzadas e parâmetros termodinâmicos de nanocompósito de látex de SBR com mica.** Brazilian Journal of Development, v. 8, n. 3, p. 18921–18937, 18 mar. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.34117/bjdv8n3-231>. Acesso em: 24 nov. 2023.

CARAZZAI, R. F., et al. **Electrospun natural rubber latex biocomposite for scaffolds in tissue engineering.** Journal of Bioactive and Compatible Polymers, v. 36, n. 5, p. 351–364, 20 set. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/08839115211046415>. Acesso em: 17 abr. 2023.

CARAZZAI, Rafael; GUERRA, Nayrim Brizuela; HENCKES, Nicole Andréa Corbellini; OLIVEIRA, Fernanda dos Santos de; CIRNE-LIMA, Elizabeth Obino; SANTOS, Luís Alberto Loureiro dos. **Electrospun natural rubber latex biocomposite for scaffolds in tissue engineering.** Journal Of Bioactive And Compatible Polymers. p. 351-364. set. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/08839115211046415>. Acesso em: 21 abr. 2023.

CARVALHO LOPES, J.; PEREIRA TORRES, M. L. **Utilização de Nanopartículas no Tratamento do Câncer: Aspectos Gerais, Mecanismos de Ação Antineoplásicos e Aplicabilidades Tumorais.** Revista Brasileira de Cancerologia, v. 65, n. 4, 7 fev. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.32635/2176-9745.RBC.2019v65n4.400>. Acesso em: 30 abr. 2023.

CÉLINE BOTTIER. **Biochemical composition of *Hevea brasiliensis* latex: A focus on the protein, lipid, carbohydrate and mineral contents.** Advances in Botanical Research, p.

201–237, 1 jan. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/bs.abr.2019.11.003>. Acesso em: 25 mar. 2023.

CHEN, C.-Y.; CHIANG, C.-L. **Preparation of cotton fibers with antibacterial silver nanoparticles**. *Materials Letters*, v. 62, n. 21-22, p. 3607–3609, ago. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2008.04.008>. Acesso em: 26 abr. 2023.

CHEN, X.; SCHLUESENER, H. J. **Nanosilver: A nanoproduct in medical application**. *Toxicology Letters*, v. 176, n. 1, p. 1–12, 4 jan. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2007.10.004>. Acesso em: 26 abr. 2023.

CHIRILA, Traian V.; HARKIN, Damien G. **Biomateriais e Medicina Regenerativa em Oftalmologia: um volume da woodhead publishing series em biomateriais. 2. ed.** Woodhead, 2016. Disponível em: <https://doi-org.ez314.periodicos.capes.gov.br/10.1016/C2014-0-01443-8>. Acesso em 16 abr. 2023.

CIBELE ERENO et al. **Latex use as an occlusive membrane for guided bone regeneration**. *Journal of Biomedical Materials Research Part A*, v. 95A, n. 3, p. 932–939, 1 dez. 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/jbm.a.32919> Acesso em: 15 abr. 2023.

CROXEN, M. A. et al. **Recent Advances in Understanding Enteric Pathogenic *Escherichia coli***. *Clinical Microbiology Reviews*, v. 26, n. 4, p. 822–880, 1 out. 2013. Disponível em: <https://doi-org.ez314.periodicos.capes.gov.br/10.1128/CMR.00022-13>. Acesso em: 03 mai. 2023.

DAL'ACQUA, N. **Preparação e caracterização de filmes nanoestruturados suportados em membrana de celulose contendo nanopartículas de Au e TiO₂ para produção de H₂**. 24 jun. 2014. Disponível em: <https://repositorio.ucs.br/xmlui/handle/11338/723>. Acesso em: 19 jun. 2023.

DALL'ANTONIA, A. C. et al. **Avaliação de clones de borracha natural crua por ensaios padrão e análise dinâmico-mecânica**. *Polimeros-ciencia E Tecnologia*, v. 16, n. 3, p. 239–245, 1 jan. 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0104-14282006000300015>. Acesso em: 05 abr. 2023.

DANNA, C. S. UNESP. **Filmes de borracha natural com nanopartículas de prata e pontos quânticos**. repositorio.unesp.br, 29 fev. 2016. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/138207>. Acesso em: 20 jun. 2023.

DANNA, C. S. et al. **Silver Nanoparticles Embedded in Natural Rubber Films: Synthesis, Characterization, and Evaluation of In Vitro Toxicity**. *Journal of Nanomaterials*, v. 2016, p. 1–10, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2016/2368630>. Acesso em: 20 jun. 2023.

DANTAS, L. I. S. et al. **Atividade antibacteriana do óleo essencial de *Lippia Racilis* Schauer sobre patógenos de importância na indústria de alimentos**. *HOLOS*, v. 5, n. 0, p. 114, 14 mar. 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.15628/holos.2010.560>. Acesso em: 01 mai. 2023.

DEURENBERG, R. H. et al. **The molecular evolution of methicillin-resistant**

Staphylococcus aureus. *Clinical Microbiology and Infection*, v. 13, n. 3, p. 222–235, mar. 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1469-0691.2006.01573.x>. Acesso em: 02 mai. 2023.

DONG, Y. et al. **Antibacterial activity of silver nanoparticles of different particle size against *Vibrio Natriegens***. *Plos One*, v. 14, n. 9, p. e0222322, 13 set. 2019. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222322>. Acesso em: 25 abr. 2023.

DONIZETTI HERCULANO, R. **Desenvolvimento de membranas de látex natural para aplicações médicas**. Universidade de São Paulo Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Ribeirão Preto Departamento de Física e Matemática. Ribeirão Preto, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/T.59.2009.tde-05082009-141412>. Acesso em: 29 nov. 2023.

DONNET, J. B. **Carbon Black**. Routledge, 2018. Acesso em: 30 nov. 2023.

DREADEN, E. C. et al. **Antiandrogen Gold Nanoparticles Dual-Target and Overcome Treatment Resistance in Hormone-Insensitive Prostate Cancer Cells**. *Bioconjugate Chemistry*, v. 23, n. 8, p. 1507–1512, 12 jul. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/bc300158k>. Acesso em: 27 abr. 2023.

DREADEN, E. C. et al. **The golden age: gold nanoparticles for biomedicine**. *Chem. Soc. Rev.*, v. 41, n. 7, p. 2740–2779, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1039/c1cs15237h>. Acesso em: 27 abr. 2023.

DREADEN, E. C. et al. **Size matters: gold nanoparticles in targeted cancer drugdelivery**. *Therapeutic Delivery*, v. 3, n. 4, p. 457–478, abr. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.4155/tde.12.21>. Acesso em: 26 abr. 2023.

DUFOUR, D.; LEUNG, V.; LÉVESQUE, C. M. **Bacterial biofilm: structure, function, and antimicrobial resistance**. *Endodontic Topics*, v. 22, n. 1, p. 2–16, mar. 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1601-1546.2012.00277.x>. Acesso em: 03 mai. 2023.

DURACCIO, D.; MUSSANO, F.; FAGA, M. G. **Biomaterials for dental implants: current and future trends**. *Journal of Materials Science*, v. 50, n. 14, p. 4779–4812, 5 maio 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10853-015-9056-3>. Acesso em: 21 abr. 2023.

Effect of Liquids ASTM D471. Disponível em: <https://www.intertek.com/polymers/testlopedia/effect-of-liquids-astm-d471/#:~:text=ASTM%20D471%20describes%20the%20method>. Acesso em: 30 nov. 2023.

ELECHIGUERRA, J.L., BURT, J.L., Morones, J.R. et al. **Interaction of silver nanoparticles with HIV-1**. *Journal of Nanobiotechnology*, v. 3, n. 1, p. 6, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/1477-3155-3-6>. Acesso em: 26 abr. 2023.

Escherichia coli O157:H7 (aka *E. coli*) | **Province of Manitoba**. Disponível em: <https://www.gov.mb.ca/health/publichealth/diseases/ecoli.html>. Acesso em: 03 maio. 2023.

FERNANDES, E. S. **Estudo estrutural por RMN de ¹H de peptídeos bioativos isolados da secreção cutânea de *Hypsiboas albopunctatus* e *Leptodactylus labyrinthicus***. *Revista de Biologia Neotropical / Journal of Neotropical Biology*, v. 8, n. 2, 2011. Disponível em:

<https://revistas.ufg.br/RBN/article/view/16980>. Acesso em: 02 mai. 2023.

FERNANDO, S.; GUNASEKARA, T.; HOLTON, J. **Antimicrobial Nanoparticles: applications and mechanisms of action**. Sri Lankan Journal of Infectious Diseases, v. 8, n.1, p. 2, 6 maio 2018. Disponível em: <http://doi.org/10.4038/sljid.v8i1.8167>. Acesso em: 03 mai. 2023.

FIGUEIREDO, M. B., M. G. **Mecanismos de Resistência aos Antibióticos**. Tese - Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologia, 2013. Acesso em: 03 mai. 2023.

FLEMMING, H.-C. et al. **Biofilms: an emergent form of bacterial life**. Nature reviews. Microbiology, v. 14, n. 9, p. 563–75, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nrmicro.2016.94>. Acesso em: 01 mai. 2023.

FLEMMING, H.-C. et al. **The biofilm matrix: multitasking in a shared space**. Nature Reviews Microbiology, 20 set. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41579-022-00791-0>. Acesso em: 01 mai. 2023.

FLEMMING, H.-C.; WINGENDER, J. **The biofilm matrix**. Nature reviews. Microbiology, v. 8, n. 9, p. 623–33, 2010. <https://doi.org/10.1038/nrmicro2415>. Acesso em: 01 mai. 2023.

FLEMMING, H.C.; WINGENDER, J. **Relevance of microbial extracellular polymeric substances (EPSs) - Part II: Technical aspects**. Water Science and Technology, v. 43, n. 6, p. 9–16, 1 mar. 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.2166/wst.2001.0328>. Acesso em: 03 mai. 2023.

FLORIANO, J. F. et al. **Biocompatibility studies of natural rubber latex from different tree clones and collection methods**. Journal of Materials Science: Materials in Medicine, v. 25, n. 2, p. 461–470, 8 nov. 2013. Disponível em <https://doi.org/10.1007/s10856-013-5089-9> Acessado em: 15 abr. 2023

FRIES, R. Biomaterials--**The Intersection of Biology and Materials Science (Temenoff, J.S. et al.; 2008) [Book reviews]**. IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine, v. 28, n. 4, p. 94–94, 100, jul. 2009. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1109/MEMB.2009.932894>. Acesso em: 15 abr. 2023.

GIULIERI, S. G.; TONG, S. Y. C.; WILLIAMSON, D. A. **Using genomics to understand meticillin- and vancomycin-resistant *Staphylococcus aureus* infections**. Microbial Genomics, 8 jan. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1099/mgen.0.000324>. Acesso em: 02 mai. 2023.

GOMES, D. S. et al. **A brief review on hydroxyapatite production and use in biomedicine**. Cerâmica, v. 65, n. 374, p. 282–302, jun. 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0366-69132019653742706>. Acesso em: 04 dez. 2023.

GONZÁLEZ-MARTÍN, M. et al. **Virulence factors in coagulase-positive staphylococci of veterinary interest other than *Staphylococcus aureus***. Veterinary Quarterly, v. 40, n. 1, p.

118–131, 1 jan. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/01652176.2020.1748253>. Acesso em: 02 mai. 2023.

GOOD, R. J. **Contact angle, wetting, and adhesion: a critical review.** *Journal of Adhesion Science and Technology*, v. 6, n. 12, p. 1269–1302, jan. 1992. <https://doi.org/10.1163/156856192X00629>. Acesso em: 30 nov. 2023.

GREENE, C. et al. **Adhesion properties of mutants of *Staphylococcus aureus* defective in fibronectin-binding proteins and studies on the expression of fnb genes.** *Molecular Microbiology*, v. 17, n. 6, p. 1143–1152, 15 set. 1995. Disponível em: https://doi.org/10.1111/j.1365-2958.1995.mmi_17061143.x. Acesso em: 03 mai. 2023.

GRIFFITH, L. G. Polymeric biomaterials. *Acta Materialia*, v. 48, n. 1, p. 263–277, jan. 2000. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S1359-6454\(99\)00299-2](https://doi.org/10.1016/S1359-6454(99)00299-2). Acesso em: 25 mar. 2023.

GUDKOV, S. V. et al. A Mini Review of Antibacterial Properties of ZnO Nanoparticles. *Frontiers in Physics*, v. 9, 11 mar. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fphy.2021.641481>. Acesso em 04 jun. 2023.

GRUMEZESCU, Alexandru Mihai; GRUMEZESCU, Valentina. **Materiais para Engenharia Biomédica: materiais bioativos, propriedades e aplicações.** Bucareste: Elsevier, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/C2017-0-04311-2>. Acesso em: 16 abr. 2023.

GUERRA, N. B. et al. **Biomedical applications of natural rubber latex from the rubber tree *Hevea brasiliensis*.** *Materials Science and Engineering: C*, v. 126, p. 112126, jul. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.msec.2021.112126>. Acesso em: 21 abr. 2023.

GUERRA, N. B. et al. **Recent Progress on Natural Rubber-Based Materials Containing Metallic and Metal Oxide Nanoparticles: State of the Art and Biomedical Applications.** v. 3, n. 2, p. 310–333, 28 mar. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/compounds3020023>. Acesso em: 19 jun. 2023.

GUERRA, N. B. et al. **Chemical and in vitro characterization of epoxidized natural rubber blends for biomedical applications.** *Journal of Polymer Research*, v. 25, n. 8, 11 jul. 2018. Disponível em: <https://doi-org.ez314.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s10965-018-1542-2> Acesso em: 15 abr. 2023.

HACKER, J. et al. **Deletions of chromosomal regions coding for fimbriae and hemolysins occur in vitro and in vivo in various extra intestinal *Escherichia coli* isolates.** *Microbial Pathogenesis*, v. 8, n. 3, p. 213–225, 1 mar. 1990. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0882-4010\(90\)90048-U](https://doi.org/10.1016/0882-4010(90)90048-U). Acesso em: 01 mai. 2023.

HANCOCK, R. E. W.; SAHL, H.-G. **Antimicrobial and host-defense peptides as new anti-infective therapeutic strategies.** *Nature Biotechnology*, v. 24, n. 12, p. 1551–1557, dez. 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nbt1267> Acesso em: 01 mai. 2023.

HASHIM, A. S.; ONG, S. K. **Application of epoxidized natural rubber (NR) in pressure sensitive adhesives (PSAs).** *Chemistry, Manufacture and Applications of Natural Rubber*, p.

353–370, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1533/9780857096913.2.353>. Acesso em: 21 abr. 2023.

HUA, Z. et al. **Transparent Surface with Reversibly Switchable Wettability between Superhydrophobicity and Superhydrophilicity.** *Langmuir*, v. 29, n. 33, p. 10307–10312, 8 ago. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/la402584v>. Acesso em: 04 dez. 2023.

ISLAM, M. A.; JACOB, M. V.; ANTUNES, E. **A critical review on silver nanoparticles: From synthesis and applications to its mitigation through low-cost adsorption by biochar.** *Journal of Environmental Management*, v. 281, p. 111918, mar. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111918>. Acesso em: 01 mai. 2023.

ISO 22196:2011. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/54431.html>. Acesso em: 30 nov. 2023.

ISO 37:2017. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/68116.html>. Acesso em 30 nov. 2023.

JANARTHANAN SUPRAMANIAM et al. **Nano-engineered ZnO/CNF-based epoxidized natural rubber with enhanced strength for novel Self-healing glove fabrication.** v. 437, p. 135440–135440, 1 jun. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.135440>. Acesso em: 29 nov. 2023.

JANNATHUL, F. M.; P L. **Apoptotic efficacy of biogenic silver nanoparticles on human breast cancer MCF-7 cell lines.** *Prog Biomater*. 2015; 4:113-21. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40204-015-0042-2>. Acesso em: 30 abr. 2023.

JIANG, Z.-J.; LIU, C.-Y.; SUN, L.-W. **Catalytic Properties of Silver Nanoparticles Supported on Silica Spheres.** *The Journal of Physical Chemistry B*, v. 109, n. 5, p. 1730–1735, fev. 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/jp046032g>. Acesso em: 25 abr. 2023.

JOHNSTON, C.; ŠTRBAC, S.; WIECKOWSKI, A. **In Situ STM Study of Au(111)/Os Bimetallic Surfaces: Spontaneous Deposition and Electrochemical Dissolution.** v. 21, n. 21, p. 9610–9617, 14 set. 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/la050720p>. Acesso em: 19 jun. 2023.

KALPANA, V. N.; DEVI RAJESWARI, V. A Review on Green Synthesis, Biomedical Applications, and Toxicity Studies of ZnO NPs. **Biinorganic Chemistry and Applications**, v. 2018, p. 1–12, 1 ago. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2018/3569758>. Acesso em: 04 dez. 2023.

KHAN, B. A. et al. **Investigational therapies targeting quorum-sensing for the treatment of *Staphylococcus aureus* infections.** *Expert opinion on investigational drugs*, v. 24, n. 5, p. 689–704, 1 maio 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1517/13543784.2015.1019062>. Acesso em: 02 mai. 2023.

KHAN, M, Khan M, Al-Marrari AH, et al. **Apoptosis inducing ability of silver decorated highly reduced graphene oxide nanocomposites in A549 lung cancer.** *Int J Nanomedicine*. 2016;11:873-83. doi: <https://doi.org/10.2147/IJN.S100903>. Acesso em: 30 abr. 2023.

KIM, J. S. et al. **Antimicrobial effects of silver nanoparticles.** *Nanomedicine*:

Nanotechnology, Biology and Medicine, v. 3, n. 1, p. 95–101, mar. 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.nano.2006.12.001>. Acesso em: 26 abr. 2023.

KINOSHITA, M. et al. **Biocomposites composed of natural rubber latex and cartilage tissue derived from human mesenchymal stem cells.** Materials Today Chemistry, v. 12, p. 315–323, 1 jun. 2019. Disponível em: <https://doi-org.ez314.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.mtchem.2019.03.002>. Acesso em: 16 abr. 2023.

KLOK, S. M. **Avaliação dos diferentes biomateriais aplicados à composição de próteses ortopédicas.** Revista Uniandrade, v. 21, n. 1, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/1519-5694.20180005>. Acesso em: 15 abr. 2023.

KRAINOI, A. et al. **Disinfectant natural rubber films filled with modified zinc oxide nanoparticles: Synergetic effect of mechanical and antibacterial properties.** Express Polymer Letters, v. 15, n. 11, p. 1081–1100, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3144/expresspolymlett.2021.87>. Acesso em: 03 mai. 2023.

KRAUS, D.; PESCHEL, A. **Staphylococcus aureus evasion of innate antimicrobial defense.** Future Microbiology, v. 3, n. 4, p. 437–451, ago. 2008. Disponível em: <https://doi-org.ez314.periodicos.capes.gov.br/10.2217/17460913.3.4.437>. Acesso em: 01 mai. 2023.

Laboratório de Optoeletrônica Orgânica e Sistemas Anisotrópicos. Jul. 2023. Disponível em: <https://loosa.paginas.ufsc.br/polimeros-elastomeros/>. Acesso em: 25 nov. 2023.

LAGOS, A. C. et al. **Evaluation of within-host evolution of methicillin-resistant Staphylococcus aureus (MRSA) by comparing cgMLST and SNP analysis approaches.** Scientific Reports, v. 12, n. 1, 22 jun. 2022. Disponível em: <https://doi.org/doi:10.1038/s41598-022-14640-w>. Acesso em: 02 mai. 2023.

LEBEAUX, D. et al. **From in vitro to in vivo Models of Bacterial Biofilm-Related Infections.** Pathogens, v. 2, n. 2, p. 288–356, 13 maio 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/pathogens2020288>. Acesso em: 01 mai. 2023.

LIAO, C.; LI, Y.; TJONG, S. **Bactericidal and Cytotoxic Properties of Silver Nanoparticles.** International Journal of Molecular Sciences, v. 20, n. 2, p. 449, 21 jan. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijms20020449>. Acesso em: 03 mai. 2023.

LIAO, S. et al. **Antibacterial activity and mechanism of silver nanoparticles against multidrug-resistant Pseudomonas aeruginosa.** International Journal of Nanomedicine, v. Volume 14, p. 1469–1487, fev. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.2147/IJN.S191340>. Acesso em: 01 mai. 2023.

LI, J.-H. et al. **The double effects of silver nanoparticles on the PVDF membrane: Surface hydrophilicity and antifouling performance.** Applied Surface Science, v. 265, p. 663–670, jan. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2012.11.072>. Acesso em: 04 dez. 2023.

LI, T. et al. **High antibacterial and barrier properties of natural rubber comprising of silver-loaded graphene oxide.** International Journal of Biological Macromolecules, v. 195, p. 449–455, jan. 2022. Disponível em: <https://doi->

org.ez314.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.ijbiomac.2021.12.029. Acesso em: 03 mai. 2023.

LI, Z. et al. **Dynamic effects and adhesion of water droplet impact on hydrophobic surfaces: bouncing or sticking.** *Nanoscale*, v. 9, n. 24, p. 8249–8255, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1039/c7nr02906c>. Acesso em: 04 dez. 2023.

LIU, W. et al. **Impact of silver nanoparticles on human cells: effect of particlesize.** *Nanotoxicology*, v. 4, n. 3, p. 319–330, 1 set. 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.3109/17435390.2010.483745>. Acesso em: 25 abr. 2023.

L. SPENADEL; GOOD, R. J. **Synthetic Rubber for Self-Sealing Fuel Tanks.** *Industrial & engineering chemistry*, v. 51, n. 8, p. 935–936, 1 ago. 1959. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/ie50596a035>. Acesso em: 30 nov. 2023.

LU, L. et al. **Silver Nanoparticles Inhibit Hepatitis B virus Replication.** *Antiviral Therapy*, v. 13, n. 2, p. 253–262, fev. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/135965350801300210>. Acesso em: 26 abr. 2023.

MADDALOZZO, E. A. D. Obtenção e caracterização de curativos de látex de borracha natural com adição de hidroxiapatita e nanopartículas de prata para usos **biomédicos.** *Repositorio.ucs.br*, 6 abr. 2021. Disponível em: <https://repositorio.ucs.br/11338/8675>. Acesso em: 18 jun. 2023.

MAHER OBEIDAT. **Antimicrobial activity of some medicinal plants against multidrug resistant skin pathogens.** *Journal of Medicinal Plants Research*, v. 5, n. 16, p. 3856–3860, 18 ago. 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.5897/JPP2017.0482>. Acesso em: 02 mai. 2023.
MARKOWICZ, A. **The significance of metallic nanoparticles in the emerging, development and spread of antibiotic resistance.** *Science of The Total Environment*, v.871, p. 162029–162029, 1 fev. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162029>. Acesso em: 20 abr. 2023.

MARQUES, L. et al. **Performance on Bone Regeneration of a Silver Nanoparticle Delivery System Based on Natural Rubber Membrane NRL-AgNP.** *Coatings*, v. 10, n. 4, p. 323, 28 mar. 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2079-6412/10/4/323#>. Acesso em: 20 jun. 2023.

MILLER-CHOU, B. A.; KOENIG, J. L. A review of polymer dissolution. **Progress in Polymer Science**, v. 28, n. 8, p. 1223–1270, 1 ago. 2003. Acesso em: 30 nov. 2023.

MITTAL, K. L. **Polymer surface modification: relevance to adhesion.** Volume 4. Leiden ; Boston: Vsp, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1201/b12203>. Acesso em: 04 dez. 2023.

Modern exudate management: a review of wound treatments. *World Wide Wounds* Disponível em: <http://www.worldwidewounds.com/2006/september/White/Modern-Exudate-Mgt.html>. Acesso em: 03 mai. 2023.

MONTEIRO-NETO, V. et al. **Cuminaldehyde potentiates the antimicrobial actions of ciprofloxacin against *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli*.** *PLOS ONE*, v. 15, n. 5, p. e0232987, 14 maio 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232987>.

Acesso em: 02 mai. 2023.

MORAIS, L. S. DE; GUIMARÃES, G. S.; ELIAS, C. N. **Liberção de íons por biomateriais metálicos.** Revista Dental Press de Ortodontia e Ortopedia Facial, v. 12, n. 6, p. 48–53, dez. 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-54192007000600006>.

Acesso em: 22 jun. 2023.

MULVEY, M. A. **Induction and Evasion of Host Defenses by Type 1- Piliated Uropathogenic *Escherichia coli*.** Science, v. 282, n. 5393, p. 1494–1497, 20 nov. 1998. Disponível: <https://doi.org/10.1126/science.282.5393.1494>. Acesso em: 02 mai. 2023.

NANCY, P. et al. **In Situ Decoration of Gold Nanoparticles on Graphene Oxide via Nanosecond Laser Ablation for Remarkable Chemical Sensing and Catalysis.** Nanomaterials, v. 9, n. 9, p. 1201, 26 ago. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/nano9091201>. Acesso em: 26 abr. 2023.

NG, J. W.; OTHMAN, N.; YUSOF, N. H. **Various coagulation techniques and their impacts towards the properties of natural rubber latex from *Hevea brasiliensis* — a comprehensive review related to tyre application.** Industrial Crops and Products, v. 181, p. 114835, jul. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.114835>. Acesso em: 25 mar. 2023.

NF ISO 1817. Disponível em: <https://www.boutique.afnor.org/en-gb/standard/nf-iso-1817/rubber-vulcanized-determination-of-the-effect-of-liquids/fa137968/28169#:~:text=Rubber%2C%20vulcanized%20%2D%20Determination%20of%20the>. Acesso em: 3 dez. 2023.

NOSTRO, A. et al. **Effect of alkaline pH on staphylococcal biofilm formation.** APMIS, v. 120, n. 9, p. 733–742, 11 abr. 2012. Disponível em: <https://doi-org.ez314.periodicos.capes.gov.br/10.1111/j.1600-0463.2012.02900.x>. Acesso em: 01 mai. 2023.

NOWACK, B.; KRUG, H. F.; HEIGHT, M. **120 Years of Nanosilver History: Implications for Policy Makers.** Environmental Science & Technology, v. 45, n. 4, p. 1177–1183, 15 fev. 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/es103316q>. Acesso em: 25 abr. 2023.

NUNES, R. C. R. **Celulose regenerada em compósitos elastoméricos.** Tese de Doutorado, Instituto de Macromoléculas Professora Eloisa Mano, UFRJ. Rio de Janeiro, 1989. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.13140/2.1.4284.0009>. Acesso em 29 nov. 2023.

OLIVEIRA, H. B. M. et al. **Citral modulates virulence factors in methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*.** Scientific Reports, v. 11, n. 1, p. 16482, 13 ago. 2021. Disponível em: <https://doi-org.ez314.periodicos.capes.gov.br/10.1038/s41598-021-95971-y>. Acesso em: 02 mai. 2023.

OLIVEIRA, M. R. **Superfícies super-hidrofóbicas obtidas através de microestruturas litografadas.** 12 nov. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/T.3.2011.tde-12122011-141829>. Acesso em: 30 nov. 2023.

OLIVEIRA, N. et al. **Correction: Biofilm Formation As a Response to Ecological Competition.** PLOS Biology, v. 13, n. 8, p. e1002232–e1002232, 12 ago. 2015. Disponível

em: <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1002232>. Acesso em 01 mai. 2023.

O'TOOLE, G. A.; KOLTER, R. **Initiation of biofilm formation in *Pseudomonas fluorescens* WCS365 proceeds via multiple, convergent signalling pathways: a genetic analysis.** *Molecular Microbiology*, v. 28, n. 3, p. 449–461, abr. 1998. Disponível em: <https://doi-org.ez314.periodicos.capes.gov.br/10.1046/j.1365-2958.1998.00797.x>. Acesso em: 01 mai. 2023.

OTTO, K. et al. **Adhesion of Type 1-Fimbriated *Escherichia coli* to Abiotic Surfaces Leads to Altered Composition of Outer Membrane Proteins.** *Journal of Bacteriology*, v. 183, n. 8, p. 2445–2453, 15 abr. 2001. Disponível em: <https://doi-org.ez314.periodicos.capes.gov.br/10.1128/JB.183.8.2445-2453.2001>. Acesso em: 01 mai. 2023.

PELAZ, B. et al. **Diverse Applications of Nanomedicine.** *ACS Nano*, v. 11, n. 3, p. 2313–2381, 14 mar. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acsnano.6b06040>. Acesso em: 01 mai. 2023.

PIRES, A. L. R.; BIERHALZ, A. C. K.; MORAES, Â. M. **Biomaterials: types, applications, and market.** *Química Nova*, 2015 Disponível em: <https://doi.org/10.5935/0100-4042.20150094>. Acesso em: 15 abr. 2023.

PORTO, A. S. **Desenvolvimento de nanoemulsão a base de óleo de copaíba - *Copaifera Multijuga* Hayne e nanopartícula de prata associada a itraconazol e terbinafina: ensaios antimicrobianos.** repositorio.unb.br, 26 nov. 2020. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/40683>. Acesso em: 20 jun. 2023.

RAHIMI, A.; MASHAK, A. **Revisão sobre borrachas em medicina: borrachas naturais, de silicone e de poliuretano.** *Plástico. Rubber Compos.*, v.42, p 223-230, 2013.

RANGNEKAR, A. et al. **Retention of Enzymatic Activity of α -Amylase in the Reductive Synthesis of Gold Nanoparticles.** *Langmuir*, v. 23, n. 10, p. 5700–5706, 11 abr. 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/la062749e>. Acesso em: 20 jun. 2023.

RANGRONG YOKSAN. **Epoxidized Natural Rubber for Adhesive Applications.** *Agriculture and Natural Resources*, v. 42, n. 5, p. 325–332, 2022. Disponível em: <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/anres/article/view/244615>. Acesso em: 21 abr. 2023.

RAY, S. K. et al. **A high-molecular-weight outer membrane protein of *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* exhibits similarity to non-fimbrial adhesins of animal pathogenic bacteria and is required for optimum virulence.** *Molecular Microbiology*, v. 46, n. 3, p. 637–647, 31 out. 2002. Disponível em: <https://doi-org.ez314.periodicos.capes.gov.br/10.1046/j.1365-2958.2002.03188.x>. Acesso em: 01 mai. 2023.

REMPEL, T.; MARIA REGINA TIZZOT; JANNAÍNA, F. M. **Incidência de infecções bacterianas em pacientes queimados sob tratamento em hospital universitário de Curitiba.** *Revista Brasileira de Queimaduras*, v. 10, n. 1, p. 3–9, 1 jan. 2011. Acesso em: 02 mai. 2023.

RIPPEL, M.M. “**Caracterização microestrutural de filmes e partículas de látex de borracha natural**”, Tese (Doutorado em Ciências na área de FísicoQuímica) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Química UNICAMP – Campinas, SP (2005). Acesso em: 27 abr. 2023.

ROBERTS, G. A. et al. **Impact of target site distribution for Type I restriction enzymes on the evolution of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) populations.** Nucleic Acids Research, v. 41, n. 15, p. 7472–7484, 14 jun. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/nar/gkt535> Acesso em: 02 mai. 2023.

ROCHA, F. A. G. DA; DANTAS, L. Í. S. **Atividade antimicrobiana in vitro do látex do aveloz (*euphorbia tirucalli* L.), pinhão bravo (*jatropha mollissima* L.) E pinhão roxo (*jatropha gossypifolia* L.) Sobre microrganismos patogênicos.** HOLOS, v. 4, p. 3, 31 jan. 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.15628/holos.2009.339>. Acesso em: 30 abr. 2023.

ROJRUTHAI, P.; PAYUNGWONG, N.; SAKDAPIPANICH, J. T. **A model study on the impact of metal ions on pre-vulcanization of concentrated natural rubber latex and dipped-products.** Progress in Rubber, Plastics and Recycling Technology, v. 38, n. 1, p. 125–138, 27 dez. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/14777606211062909>. Acesso em: 30 nov. 2023.

RONDINELLI DONIZETTI HERCULANO et al. **Natural rubber latex used as drug delivery system in guided bone regeneration (GBR).** Materials Research-ibero-american Journal of Materials, v. 12, n. 2, p. 253–256, 1 jun. 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1516-14392009000200023>. Acesso em: 17 abr. 2023

RONDINELLI DONIZETTI HERCULANO et al. **On the release of metronidazole from natural rubber latex membranes.** Materials Science and Engineering: C, v. 31, n. 2, p. 272–275, 12 mar. 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.msec.2010.09.007>. Acesso em: 05 abr. 2023.

ROSANE MACCHIARULO JORGE et al. **Caracterização físico-mecânica de filmes de borracha natural epoxidada curáveis em temperatura ambiente.** Polimeros-ciência E Tecnologia, v. 19, n. 4, p. 329–335, 1 jan. 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0104-14282009000400013>. Acesso em: 21 abr. 2023.

SAHA, R. K. et al. **Antibacterial and nonlinear dynamical analysis of flower and hexagon-shaped ZnO microstructures.** Scientific Reports, v. 10, n. 1, 13 fev. 2020. Disponível em: <https://doi-org.ez314.periodicos.capes.gov.br/10.1038/s41598-020-59534-x>. Acesso em: 03 mai. 2023.

SALMORIA, G. V.; MARTINS, W.; FUCIO, D. **Tratamento da Superfície de Cateteres de Poliamida 11 por Plasma de Oxigênio.** Polímeros Ciência e Tecnologia, v. 23, n. 4, p. 565–569, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.4322/polimeros.2013.046>. Acesso em: 03 mai. 2023.

SANCHES, A. **Obtenção e caracterização elétrica e morfológica de compósitos de borracha natural com PZT**, UNESP, 2012. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/91967>. Acesso em: 03 mai. 2023.

- SANTURIO, D. F. et al. **Atividade antimicrobiana de óleos essenciais de condimentos frente a amostras de *Escherichia coli* isoladas de aves e bovinos.** *Ciência Rural*, v. 41, n. 6, p. 1051–1056, 10 jun. 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782011005000067>. Acesso em: 01 mai. 2023.
- SAVOIA, D. **Plant-derived antimicrobial compounds: alternatives to antibiotics.** *Future Microbiology*, v. 7, n. 8, p. 979–990, ago. 2012. Disponível em: <https://doi-org.ez314.periodicos.capes.gov.br/10.2217/fmb.12.68>. Acesso em: 01 mai. 2023.
- SHALINI, A. et al. **Synthesis and characterisation of graphene oxide decorated gold nano particles and their application towards antibacterial activity.** *Chemical Papers*, v. 76, n. 11, p. 6861–6867, 27 jul. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11696-022-02375-x>. Acesso em: 27 abr. 2023.
- SIDDIQI, K. S.; HUSEN, A.; RAO, R. A. K. **A review on biosynthesis of silver nanoparticles and their biocidal properties.** *Journal of Nanobiotechnology*, v. 16, n. 1, 16 fev. 2018. Disponível em: <https://doi-org.ez314.periodicos.capes.gov.br/10.1186/s12951-018-0334-5>. Acesso em: 03 mai. 2023.
- SILVA, D. S. UNIFESP. **Preparação de filmes de celulose contendo nanopartículas de prata produzidas em meio de líquido iônico.** repositorio.unifesp.br, 10 maio 2018. Disponível em: <https://repositorio.unifesp.br/handle/11600/52795>. Acesso em: 19 jun. 2023.
- SILVA E SOUZA, V. C.; TAVARES, H. W.; ABRUNHOSA, P. A. **Influência de fatores ambientais e sociais sobre a atividade de vocalização de *Hylodes nasus* Lichtenstein (1823) (Amphibia, Anura) em um riacho na floresta da Tijuca, Rio de Janeiro, Brasil.** *Revista de Biologia Neotropical / Journal of Neotropical Biology*, v. 16, n. 1, p. 9–18, 11 jun. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.5216/rbn.v16i1.46904>. Acesso em: 01 mai. 2023.
- SILVA, VV. **Aplicação de biomateriais em ortopedia e engenharia de tecido ósseo.** *Rev Saúde Meio Ambiente*. 2017;5(2):14-27.
- SILVESTRIN, C. et al. **Natural Rubber Films Incorporated with Red Propolis and Silver Nanoparticles Aimed for Occlusive Dressing Application.** *Materials Research-ibero-american Journal of Materials*, v. 24, n. 2, 1 jan. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2020-0415>. Acesso em: 04 dez. 2023.
- SIMÕES, M.; SIMÕES, L. C.; VIEIRA, M. J. **A review of current and emergent biofilm control strategies.** *LWT - Food Science and Technology*, v. 43, n. 4, p. 573–583, maio 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2009.12.008>. Acesso em: 03 mai. 2023.
- SINGH, J. et al. **“Green” synthesis of metals and their oxide nanoparticles: applications for environmental remediation.** *Journal of Nanobiotechnology*, v. 16, n. 1, 30 out. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12951-018-0408-4>. Acesso em: 20 jun. 2023.
- SIVAKUMAR, M. et al. **Parthenium hysterophorus Mediated Synthesis of Silver Nanoparticles and its Evaluation of Antibacterial and Antineoplastic Activity to Combat Liver Cancer Cells.** *Journal of Cluster Science*, v. 32, n. 1, p. 167–177, 28 mar. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10876-020-01775-x>. Acesso em: 02 mai. 2023.

SOARES, T. F. **Estudo da ação bactericida em regiões próximas à superfície de titânio e AISI 304 pela incorporação de prata.** Doutorado. 5 jul. 2017. Disponível em: <https://repositorio.ucs.br/handle/11338/2820>. Acesso em: 02 mai. 2023.

SONNENBORN, U. ***Escherichia coli* strain Nissle 1917—from bench to bedside and back: history of a special *Escherichia coli* strain with probiotic properties.** FEMS Microbiology Letters, v. 363, n. 19, p. fnw212, 11 set. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/femsle/fnw212> Acesso em: 02 mai. 2023.

SPERLING, L. H. **Introduction to Physical Polymer Science.** [s.l.] John Wiley & Sons, 2005. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=GMVqDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR15&dq=Introduction+to+Physical+Polymer+Science.+4th+Edition+pdf&ots=KzWu8f6bpA&sig=gfCovdDANgfwkRA2YpQXkZHOxR4#v=onepage&q=Introduction%20to%20Physical%20Polymer%20Science.%204th%20Edition%20pdf&f=false>. Acesso em: 30 nov. 2023.

SPEZZIA, S. **Biomateriais.** Revista da Faculdade de Ciências Médicas de Sorocaba, v. 22, n. 2, p. 83–84, 31 ago. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.23925/1984-4840.2020v22i2a8>. Acesso em: 25 mar. 2023.

SRUANGANURAK, A.; SANGUANSAP, K.; TANGBORIBOONRAT, P. **Layer-by-layer assembled nanoparticles: A novel method for surface modification of natural rubber latex film.** Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, v. 289, n. 1-3, p. 110–117, out. 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.COLSURFA.2006.04.014>. Acesso em: 20 jun. 2023.

Standard Test Method for Determining the Antimicrobial Activity of Immobilized Antimicrobial Agents Under Dynamic Contact Conditions. Disponível em: <https://doi.org/10.1520/e2149-13>. Acesso em: 29 nov. 2023.

Standard Test Methods for Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers—Tension. Disponível em: <https://doi.org/10.1520/D0412-16R21>. Acesso em: 30 nov. 2023.

Staphylococcus aureus electron microscopy, **Bacteria in photos.** Disponível em: <http://www.bacteriainphotos.com/Staphylococcus%20aureus%20electron%20microscopy.html>. Acesso em: 02 mai. 2023.

SUN, L. et al. Silver Nanoparticles Inhibit Replication of Respiratory Syncytial **Virus.** Journal of Biomedical Nanotechnology, v. 4, n. 2, p. 149–158, 1 jun. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1166/jbn.2008.012>. Acesso em: 26 abr. 2023.

SUNAGAR, R.; PATIL, S. A.; CHANDRAKANTH, R. K. **Bacteriophage therapy for *Staphylococcus aureus* bacteremia in streptozotocin-induced diabetic mice.** Research in Microbiology, v. 161, n. 10, p. 854–860, 1 dez. 2010. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20868746/>. Acesso em: 02 mai. 2023.

TANG, J. et al. **Graphene Oxide–Silver Nanocomposite As a Highly Effective Antibacterial Agent with Species-Specific Mechanisms.** ACS Applied Materials & Interfaces, v. 5, n. 9, p. 3867–3874, 29 abr. 2013. Disponível

em: <https://doi.org/10.1021/am4005495>. Acesso em: 26 abr. 2023.

TORTORA, G. J.; Funke B. R. & Case C. L. **Microbiologia**. *Artmed*, 2005. Acesso em: 03 mai. 2023.

TSUZUKI, T. et al. **Hydrophobic Recovery of PDMS Surfaces in Contact with Hydrophilic Entities: Relevance to Biomedical Devices**. *Materials*, v. 15, n. 6, p. 2313, 21 mar. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ma15062313>. Acesso em: 04 dez. 2023.

VALLE, J. et al. **UpaG, a New Member of the Trimeric Autotransporter Family of Adhesins in Uropathogenic *Escherichia coli***. *Journal of Bacteriology*, v. 190, n. 12, p.4147–4161, 15 jun. 2008. Disponível em: <https://doi-org.ez314.periodicos.capes.gov.br/10.1128/JB.00122-08>. Acesso em: 01 mai. 2023.

VAN Beilen, JB; Poirier, Y.; **Tendências Biotecnologia**. 2007, 25, 522. Acesso em: 20 jun. 2023.

VASQUES, C. T. **Preparação e caracterização de filmes poliméricos a base de amido de milho e polipirrol para aplicação como biomaterial**. 1 jan. 2007. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/53752/3/2018_dis_acalves.pdf. Acesso em: 20 jun. 2023.

VEIGA, V. D. A. **Influência da combinação sílica/negro de fumo e das etapas de processamento no desempenho de bandas de rodagem de pneu de carga**. Universidade de Caxias do Sul. Caxias do Sul, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ucs.br/xmlui/bitstream/handle/11338/985/Dissertacao%20Viviane%20DallAgnol%20Veiga.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em 25 nov. 2023.

VERTELOV, G. K. et al. **A versatile synthesis of highly bactericidal Myramistin® stabilized silver nanoparticles**. *Nanotechnology*, v. 19, n. 35, p. 355707, 18 jul. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/0957-4484/19/35/355707>. Acesso em: 26 abr. 2023.

VINICIUS ASSIS MARCATTO et al. **3D printed-polylactic acid scaffolds coated with natural rubber latex for biomedical application**. *Journal of Applied Polymer Science*, v. 139, n. 9, p. 51728–51728, 5 mar. 2022. Disponível em: <https://doi-org.ez314.periodicos.capes.gov.br/10.1002/app.51728>. Acesso em: 21 abr. 2023.

VOSNIAK TAKESHITA, E. **Inchamento de borrachas vulcanizadas sob a ação de solventes orgânicos**. Universidade Federal de Santa Catarina-UFSC Centro Tecnológico-CTC Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos-EQA Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. Dez. 2010. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/93510/293902.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 25 nov. 2023.

ROE, D. et al. **Antimicrobial surface functionalization of plastic catheters by silver nanoparticles**. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, v. 61, n. 4, p. 869–876, 4 fev. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jac/dkn034>. Acesso em: 26 abr. 2023.

WANG, L.; PENG, B.; SU, Z. **Tunable Wettability and Rewritable Wettability Gradient from Superhydrophilicity to Superhydrophobicity**. *Langmuir*, v. 26, n. 14, p. 12203–

12208, 26 abr. 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/la101064c>. Acesso em: 04 dez. 2023.

WANG, S. et al. **Antimicrobial Peptides as Potential Alternatives to Antibiotics in Food Animal Industry**. *International Journal of Molecular Sciences*, v. 17, n. 5, p. 603, 3 maio 2016. <https://doi.org/10.3390/ijms17050603>. Acesso em: 01 mai. 2023.

WILLIAMS, K. S.; KUPPAN GOKULAN; KHARE, S. **The Mucosal Microbiome: Impact of Nanoparticles and Nanomaterials**. *Toxicology of Nanoparticles and Nanomaterials in Human, Terrestrial and Aquatic Systems*, p. 353–381, 1 jul. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/9781119316329.ch13>. Acesso em: 27 abr. 2023.

WITITSUWANNAKUL, R. et al. **A rubber particle protein specific for Hevea latex lectin binding involved in latex coagulation**. *Phytochemistry*, v. 69, n. 5, p. 1111–1118, mar. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2007.12.007>. Acesso em: 05 abr. 2023.

WYPYCH, G. **Handbook of Solvents**. ChemTec Publishing, 2001. Acesso em: 30 nov. 2023.

YANG, J. et al. **Amorphous TiO₂ Shells: A Vital Elastic Buffering Layer on Silicon Nanoparticles for High-Performance and Safe Lithium Storage**. *Advanced Materials*, v. 29, n. 48, p. 1700523, 4 abr. 2017. Disponível em: <https://doi-org.ez314.periodicos.capes.gov.br/10.1002/adma.201700523>. Acesso em: 21 abr. 2023.

YANG, S. et al. **UV irradiation induced formation of Au nanoparticles at room temperature: The case of pH values**. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, v. 301, n. 1-3, p. 174–183, jul. 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2006.12.051>. Acesso em: 19 jun. 2023.

YOSHII, Y.; HIRONORI NIKI; DAISUKE SHIOMI. **Division-site localization of RodZ is required for efficient Z ring formation in *Escherichia coli***. *Molecular Microbiology*, v. 111, n. 5, p. 1229–1244, 1 maio 2019. Disponível em: <https://doi-org.ez314.periodicos.capes.gov.br/10.1111/mmi.14217>. Acesso em: 02 mai. 2023.

YU, S.; YIN, Y.; LIU, J. **Silver nanoparticles in the environment**. *Environ. Sci.: Processes Impacts*, v. 15, n. 1, p. 78–92, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1039/C2EM30595J>. Acesso em: 25 abr. 2023.

ZANCANELA, D. C. et al. **Natural rubber latex membranes incorporated with three different types of propolis: Physical-chemistry and antimicrobial behaviours**. *Materials Science & Engineering. C, Materials for Biological Applications*, v. 97, p. 576–582, 1 abr. 2019. Disponível em: <https://doi-org.ez314.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.msec.2018.12.042>. Acesso em: 03 de mai. 2023.

ZHANG, J.; WANG, C.; ZHAO, H. **Dynamic surfaces of latex films and their antifouling applications**. *Journal of Colloid and Interface Science*, 1 out. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2023.10.138>. Acesso em: 04 dez. 2023.

ZERAIK, A. E.; NITSCHKE, M. **Biosurfactants as Agents to Reduce Adhesion of Pathogenic Bacteria to Polystyrene Surfaces: Effect of Temperature and**

Hydrophobicity. *Current Microbiology*, v. 61, n. 6, p. 554–559, 27 abr. 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00284-010-9652-z>. Acesso em: 03 mai. 2023.

ZHANG, N.; CAO, H. **Enhancement of the Antibacterial Activity of Natural Rubber Latex Foam by Blending It with Chitin.** *Materials*, v. 13, n. 5, p. 1039, 26 fev. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ma13051039>. Acesso em: 03 de mai. 2023.

ZHANG, S. et al. **Copper nanoparticles and copper ions promote horizontal transfer of plasmid-mediated multi-antibiotic resistance genes across bacterial genera.** *Environment International*, v. 129, p. 478–487, ago. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.05.054>. Acesso em: 20 abr. 2023.

ZHANG, X.-F. et al. **Silver Nanoparticles: Synthesis, Characterization, Properties, Applications, and Therapeutic Approaches.** *International Journal of Molecular Sciences*, v. 17, n. 9, p. 1534, 13 set. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijms17091534>. Acesso em: 25 abr. 2023.

ZHOU, J. et al. **Amino-terminated hyperbranched polymer functionalized graphene oxide with in situ trapped silver nanoparticles for high-performance antibacterial nonwoven fabric.** *Journal of Applied Polymer Science*, v. 140, n. 7, 26 nov. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/app.53466>. Acesso em: 26 abr. 2023.

ZIMMERMANN, M. et al. **Teste de biocompatibilidade e resistência de membranas de látex em cães.** *Ciência Rural*, v. 37, n. 6, p. 1719–1723, dez. 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782007000600033>. Acesso em: 05 abr. 2023.

ZIMMERMANN, M. et al. **Membrana de látex natural de *Hevea brasiliensis* auxilia no processo de reparação tecidual em bovinos.** *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v. 70, n. 3, p. 741–748, jun. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1678-4162-9189>. Acesso em: 05 abr. 2023.

ZODROW, K. et al. **Polysulfone ultrafiltration membranes impregnated with silver nanoparticles show improved biofouling resistance and virus removal.** *Water Research*, v. 43, n. 3, p. 715–23, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2008.11.014>. Acesso em: 26 abr. 2023.