



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE CIÊNCIAS EXATAS E EDUCAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA TÊXTIL

Quesli Martins

**FUNCIONALIZAÇÃO DE TECIDOS COM NANOCÁPSULAS E RECOBRIMENTOS
BIOPOLIMÉRICOS VISANDO PROTEÇÃO CONTRA MOSQUITOS**

BLUMENAU
2024

Quesli Martins

**FUNCIONALIZAÇÃO DE TECIDOS COM NANOCÁPSULAS E RECOBRIMENTOS
BIOPOLIMÉRICOS VISANDO PROTEÇÃO CONTRA MOSQUITOS**

Dissertação de mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Têxtil do Centro Tecnológico de Ciências Exatas e Educação da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de mestra em Engenharia Têxtil.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Andrea Cristiane Krause Bierhalz.

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Cristiane da Costa.

BLUMENAU
2024

Ficha catalográfica gerada por meio de sistema automatizado gerenciado pela
BU/UFSC. Dados inseridos pelo próprio autor.

Martins, Quesli
FUNCIONALIZAÇÃO DE TECIDOS COM NANOCÁPSULAS E
RECOBRIMENTOS BIOPOLIMÉRICOS VISANDO PROTEÇÃO CONTRA
MOSQUITOS / Quesli Martins ; orientadora, Andrea
Cristiane Krause Bierhalz, coorientadora, Cristiane da
Costa, 2024.
120 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Campus Blumenau, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Têxtil, Blumenau, 2024.

Inclui referências.

1. Engenharia Têxtil. 2. Têxtil de proteção. 3.
Repelente. 4. Gelificação iônica. 5. Neem. I. Bierhalz,
Andrea Cristiane Krause . II. Costa, Cristiane da . III.
Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós
Graduação em Engenharia Têxtil. IV. Título.

QUESLI MARTINS

**Funcionalização de tecidos com nanocápsulas e recobrimentos biopoliméricos
visando proteção contra mosquitos**

O presente trabalho em nível de Mestrado foi avaliado e aprovado, em 18 de abril de 2024,
pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof^a. Andrea Cristiane Krause Bierhalz, Dr^a.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Odinei Hess Gonçalves, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Alexandre José Sousa Ferreira, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi julgado
adequado para obtenção do título de Mestra em Engenharia Têxtil.

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Prof^a. Andrea Cristiane Krause Bierhalz, Dr^a.
Orientadora

Blumenau, 2024.

Este trabalho é dedicado a Quesli do futuro.
Que ela viva os sonhos e esqueça os medos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus por guiar meu caminho e ter me dado condições de chegar até aqui. Aos meus pais, David e Lindalva, por me ensinarem a lutar e por sua compreensão, mesmo quando tiveram que abrir mão da minha companhia e atenção. Acima de tudo, agradeço por sempre orarem por mim.

Aos meus irmãos, Agnaldo e Laissa, e minha cunhada, por me incentivarem.

Ao meu namorado, Lucas, por vibrar comigo, secar minhas lágrimas e estar sempre ao meu lado, me dando suporte, força e ânimo para não desistir.

À minha admirável orientadora Andrea Cristiane Krause Bierhalz, cujos ensinamentos valiosos que vão além do conhecimento acadêmico, pela sua orientação excelente e apoio constante. Sua paciência infinita, amizade e capacidade de motivar são inestimáveis.

À minha querida coorientadora Cristiane da Costa, por me guiar com parceria, me acalmar em momentos de aflição e apontar direções quando me sentia perdida.

À Bruna Porto, por esclarecer minhas dúvidas, realizar as micrografias e por ser um exemplo de comprometimento com a pesquisa.

Ao Matheus Campos Hemkemaier e José Marcelo Honório Ferreira Barros, por me auxiliarem nas coletas de dados e análises.

À professora Nara Rubiano da Silva, pela colaboração e ajuda na execução das análises de microscopia eletrônica de transmissão.

À Anton Paar, por disponibilizar o equipamento para análises de DLS.

À Dalneem, agradeço a parceria e por fornecerem o componente fundamental deste estudo, o óleo de neem.

À UMFG, representada pelo professor Álvaro Eduardo Eiras e pelo aluno de doutorado Tales Batista Ribeiro, expresse minha profunda gratidão pela generosidade em possibilitar e auxiliar na condução dos ensaios de repelência a mosquitos, viabilizando a avaliação e validação do meu trabalho.

Ao PGETEX e a UFSC Blumenau, pelo suporte e apoio durante todo o período.

À FAPESC pelo auxílio financeiro (edital n° 48/2021).

Por fim, agradeço a todos os colegas do mestrado com quem dividi minhas alegrias e angústias, por contribuírem ao longo dessa jornada.

“Tudo o que vier às tuas mãos, faça-o conforme as tuas forças”

(Eclesiastes 9:10)

RESUMO

Doenças transmitidas por mosquitos, como malária, dengue e Zika, representam graves ameaças à saúde pública global. Como estratégia para reduzir a exposição a esses vetores, têxteis funcionalizados com agentes repelentes podem ser utilizados em produtos como cortinas, têxteis para o lar e vestuários. Atualmente, repelentes químicos enfrentam desafios de toxicidade e resistência, aumentando o interesse por repelentes de origem natural. O óleo de neem (NSO) é seguro e apresenta comprovada atividade inseticida, sendo promissor para aplicação em têxteis. Dessa forma, este trabalho teve como objetivo desenvolver tecidos de 100% algodão funcionalizados com NSO para aplicação como têxteis repelentes/inseticidas. Visando melhorar a durabilidade do efeito, investigou-se a impregnação de nanocápsulas de quitosana (CS) com NSO e o recobrimento do tecido com NSO e CS. Para a encapsulação do NSO em CS, empregou-se a técnica de gelificação iônica com reticulação com tripolifosfato de sódio (TPP). A influência do tempo de dispersão ultrassônica durante a preparação da nanoemulsão óleo/água (Etapa 1) e incorporação da solução polimérica à nanoemulsão (Etapa 2) no tamanho e na estabilidade das nanocápsulas foi avaliada. O tamanho médio hidrodinâmico das partículas, determinado utilizando espalhamento de luz dinâmica (DLS), foi de 169 ± 10 nm para tempos de sonicação de 9 min e 27 min nas etapas 1 e 2, respectivamente, não havendo variação significativa após 7 meses de armazenamento. O índice de polidispersão (PDI) das dispersões foi de 0,242, indicando polidispersividade moderada. A análise morfológica das nanocápsulas indicou formato esférico e estrutura capsular. A impregnação da dispersão das nanocápsulas e da solução de recobrimento de CS e NSO nos tecidos foi realizada em *Foulard* avaliando tempos de imersão de 2, 30 e 60 min. Foi observado que o aumento do tempo de imersão aumenta a diferença total de cor e reduz o grau de branco dos tecidos, e a funcionalização com as nanocápsulas resultou em menores alterações. Ensaios de liberação *in vitro* indicaram cinética mais lenta e menor quantidade de óleo liberado para os tecidos com nanocápsulas. O tempo de imersão não influenciou significativamente no comportamento de liberação, mas houve redução na quantidade liberada em todas as amostras após um ciclo de lavagem. Os ensaios de FTIR confirmaram a formação das cápsulas e sua presença nos tecidos, assim como o recobrimento com CS e/ou NSO. A partir de ensaios de repelência contra mosquitos *Aedes aegypti*, foram obtidas taxas de proteção de até 75% para os tecidos com recobrimento com solução de CS e NSO e de 52% para as impregnadas com nanocápsulas. Tecidos funcionalizados com NSO seguido de recobrimento com CS e funcionalizados somente com NSO apresentaram taxas de 44% e 23%, respectivamente. Foi observado que tamanho da amostra e o número de camadas, além da gramatura, do tecido influenciam no aumento da eficácia do tratamento. De forma geral, os resultados indicaram que maior disponibilidade de agente ativo obtida pelo recobrimento com o uso combinado da CS e do NSO contribui para resultados promissores em termos de funcionalidade repelente contra mosquitos.

Palavras-chave: têxtil de proteção; repelente; gelificação iônica; neem; quitosana.

ABSTRACT

Mosquito-borne diseases such as malaria, dengue fever, and Zika pose serious threats to global public health. Textiles functionalized with repellent agents can be used as a strategy to reduce exposure to these. Currently, chemical repellents face toxicity and resistance challenges, increasing the interest in repellents of natural origin. Neem oil (NSO) is safe and has proven insecticidal activity, making it promising for textiles applications. Therefore, this study aimed to develop 100% cotton fabrics functionalized with NSO for application as repellent/insecticide textiles. To improve the durability of the effect, the impregnation of chitosan nanocapsules (CS) with NSO and coating of the fabric with NSO and CS were investigated. To encapsulate of NSO in CS, an ionic gelation technique with crosslinking with sodium tripolyphosphate (TPP) was used. The influence of ultrasonic dispersion time during the preparation of the oil/water nanoemulsion (Step 1) and incorporation of the polymeric solution into the nanoemulsion (Step 2) on the size and stability of the nanocapsules was evaluated. The average hydrodynamic particle size, determined using dynamic light scattering (DLS), was 169 ± 10 nm for sonication times of 9 and 27 min in steps 1 and 2, respectively, with no significant variation after 7 months of storage. The polydispersity index (PDI) of the dispersions was 0.242, indicating moderate polydispersity. Morphological analysis of the nanocapsules indicated a spherical shape and capsular structure. The impregnation of the nanocapsule dispersion and the CS and NSO coating solution into the fabrics was carried out in Foulard, evaluating immersion times of 2, 30, and 60 min. It was observed that increasing the immersion time increased the total color difference and reduced the degree of whiteness of the fabrics, and functionalization with nanocapsules resulted in smaller changes. In vitro, release tests indicated slower kinetics and less oil was released in to fabrics with nanocapsules. The immersion time did not significantly influence the release behavior, however there was a reduction in the amount released in all samples after a washing cycle. FTIR tests confirmed the formation of capsules and their presence in the fabrics, as well as the coating with CS and/or NSO. Based on repellency tests against *Aedes aegypti* mosquitoes, protection rates of up to 75% were obtained for fabrics covered with CS and NSO solutions and 52% for those impregnated with nanocapsules. Fabrics functionalized with NSO followed by coating with CS and functionalized only with NSO presented rates of 44% and 23%, respectively, and the sample size and number of layers of the fabric influenced the effectiveness of the treatment, in addition to the weight of the fabric. In general, the results indicate that greater availability of active agents obtained by coating with the combined use of CS and NSO contributes to promising results in terms of mosquito repellent functionality.

Keywords: protective textile; repellent; ionic gelation; neem; chitosan.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANOVA	Análise de variância
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
BG-Cage	Caixa de repelência BioGents Cages
CDC	Centro de Controle e Prevenção de Doenças dos Estados Unidos.
CIELab	Espaço de cor CIE L*a*b*, com coordenadas colorimétricas L*, a* e b*
CO	Sigla para a fibra têxtil de algodão
CS	Quitosana
CSNSO	Recobrimento de quitosana com óleo de neem incorporado
DEET	N,N-dietil-meta-toluamida
DLS	<i>Dynamic Light Scattering</i>
EPA	Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos
FTIR	Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier
LABENE	Laboratório de Beneficiamento
LABMAM	Laboratório de Meio Ambiente
LC ₅₀	Concentração letal média que leva à morte de 50% dos indivíduos
LC ₉₉	Concentração letal média que leva à morte de 90% dos indivíduos
LCME	Laboratório Central de Microscopia Eletrônica
LINTEC	Laboratório de Inovação Tecnológica e Empreendedorismo em Controle de Vetores
LTAM	Laboratório de Transformação Avançada de Materiais
MET	Microscopia Eletrônica de Transmissão
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
MO	Microscopia óptica
NPP	Nanocápsulas
NSO	Óleo de semente de neem
NSO+CS	Recobrimento de solução aquosa de neem, seguido de recobrimento de solução de quitosana
OE	Óleo essencial
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
OPAS	Organização Pan-Americana da Saúde
PDI	Índice de polidispersão
R ²	Coefficiente de correlação
TPP	Tripolifosfato de sódio
UV	Ultravioleta
UV-Vis	Ultravioleta visível
ΔE	Diferença total de cor
$\lambda_{\text{máx}}$	Comprimento de onda máximo de absorção

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	OBJETIVOS.....	14
1.1.1	Objetivos específicos	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1	DOENÇAS TRANSMITIDAS POR MOSQUITOS.....	15
2.2	MECANISMO DE AÇÃO REPELENTE	18
2.3	ÓLEO VEGETAL E O NEEM	21
2.3.1	Neem	22
2.4	TÊXTEIS COM EFEITO INSETICIDA	27
2.5	TIPOS DE FUNCIONALIZAÇÃO DE SUBSTRATOS TÊXTEIS	28
2.6	TÉCNICAS DE FUNCIONALIZAÇÃO DOS SUBSTRATOS TÊXTEIS	37
2.7	TÉCNICAS DE ENCAPSULAÇÃO	40
2.7.1	Emulsificação com gelificação iônica	43
2.7.2	Quitosana	45
2.8	TECIDOS DE ALGODÃO.....	46
2.9	CONSIDERAÇÕES SOBRE O ESTADO DA ARTE.....	47
3	MATERIAIS E MÉTODOS	48
3.1	MATERIAIS.....	48
3.2	MÉTODOS.....	49
3.2.1	Curva de calibração espectrofotométrica do óleo de semente de neem	50
3.2.2	Caracterização dos tecidos	50
3.2.3	Preparação do tecido	51
3.2.4	Recobrimento de quitosana-neem em substratos têxteis	51
3.2.5	NPPs de quitosana-neem para aplicação em substratos têxteis	53
3.2.5.1	<i>Preparo das nanocápsulas de quitosana-TPP com NSO</i>	54
3.2.5.2	<i>Caracterização das nanocápsulas obtidas</i>	56
3.2.5.2.1	Tamanho de partícula e estabilidade.....	56
3.2.5.2.2	Microscopia óptica (MO)	57
3.2.5.2.3	Microscopia Eletrônica de Transmissão (MET)	57
3.2.5.3	<i>Impregnação das nanocápsulas</i>	57
3.2.6	Caracterização dos substratos funcionalizados	58
3.2.6.1	<i>Ganho de massa</i>	58
3.2.6.2	<i>Análise morfológica dos tecidos</i>	58

3.2.6.3	<i>Análise de Transformada de Fourier por Infravermelho (FTIR)</i>	58
3.2.6.4	<i>Colorimetria</i>	59
3.2.7	Cinética de liberação do NSO em água	59
3.2.8	Lavagem dos tecidos	60
3.2.9	Avaliação de repelência <i>in vivo</i>	61
3.2.10	Análises estatísticas	63
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	63
4.1	CARACTERIZAÇÃO DOS TECIDOS.....	63
4.2	VARREDURA ESPECTROFOTOMÉTRICA E CURVA DE CALIBRAÇÃO DO ÓLEO DE SEMENTE DE NEEM	64
4.3	OBTENÇÃO DAS NANOCÁPSULAS DE QUITOSANA-NEEM/TPP	65
4.3.1	Influência do tempo de sonicação nas nanocápsulas de quitosana-neem/TPP e estabilidade das suspensões	65
4.3.1.1	<i>Estabilidade física da dispersão</i>	67
4.3.2	Morfologia das nanocápsulas obtidas	68
4.4	SELEÇÃO DAS CONDIÇÕES DE IMPREGNAÇÃO	70
4.4.1	Avaliação da secagem e cura	70
4.4.2	Avaliação do tempo de imersão no banho	77
4.5	COMPARATIVO ENTRE RECOBRIMENTO E IMPREGNAÇÃO DE NANOCÁPSULAS	83
4.6	AVALIAÇÃO DA REPELÊNCIA À MOSQUITOS DOS SUBSTRATOS TÊXTEIS FUNCIONALIZADOS.....	90
5	CONCLUSÃO	96
5.1	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	98
	REFERÊNCIAS	99

1 INTRODUÇÃO

As doenças transmitidas por mosquitos representam uma séria ameaça à saúde pública global, incluindo condições como malária, dengue, Zika, Chikungunya e febre amarela, todas com potencial para desencadear epidemias e afetar milhões de pessoas (CDC Foundation, 2017; Guarner; Hale, 2019). As diretrizes das autoridades de saúde pública são fundamentadas na prevenção e no controle, visando a reduzir a exposição aos vetores e a disseminação de doenças transmitidas pelas fêmeas dos mosquitos, que, ao picar para se alimentar, podem transmitir patógenos por meio de sua saliva (Poonia; Singh, 2020; OPAS/OMS 2023).

A estratégia de repelência é amplamente reconhecida como uma abordagem eficaz na prevenção de doenças transmitidas por vetores, uma vez que reduz substancialmente o contato direto destes com os seres humanos. A maioria dos repelentes de insetos convencionais contém compostos químicos ativos, como DEET (N,N-dietil-meta-toluamida), permetrina, aletrina ou picaridina (Mia *et al.*, 2020). No entanto, esses repelentes químicos enfrentam desafios relacionados à toxicidade para organismos não alvo e questões de resistência e impactos na saúde humana devido ao uso frequente (Ayinde; Morakinyo; Sridhar, 2020).

Como opção, para proporcionar proteção efetiva sem a necessidade de aplicação direta na pele, tem sido crescente a busca por alternativas naturais e seguras. Isso tem aberto espaço para o desenvolvimento de têxteis com propriedades repelentes/inseticidas. Esses tecidos podem ser obtidos incorporando substâncias ativas em sua estrutura e têm diversas aplicações, incluindo redes, cortinas, têxteis para o lar, roupas, uniformes militares e outros materiais repelentes de insetos e/ou inseticidas (Anuar; Yusof, 2016; Chatha *et al.*, 2019; Kakaria; Singh; Parmar, 2023).

O neem é conhecido por suas propriedades repelentes eficazes contra uma variedade de insetos, incluindo mosquitos (Debboun; Frances; Strickman, 2014). Além disso, sua utilização é considerada segura tanto para o meio ambiente quanto para a saúde humana, em comparação com repelentes químicos tradicionais, como o DEET (Prakash *et al.*, 2022). Sua origem a partir da planta de neem, de crescimento rápido e amplamente disponível em muitas regiões, promove a sustentabilidade (Oli; Gautam, 2022). A aceitação geral da comunidade em relação a produtos naturais e o potencial adicional do neem, como propriedades antifúngicas e antimicrobianas, o

tornam promissor para aplicações têxteis multifuncionais (Biswas *et al.*, 2002; Prakash *et al.*, 2022).

No entanto, apesar dos benefícios, os repelentes naturais também podem apresentar limitações relacionadas à durabilidade e eficiência do produto, dependendo da forma de aplicação e uma alternativa é a encapsulação desses agentes ativos. A encapsulação oferece uma série de vantagens, tais como a proteção da substância ativa contra degradação prematura, a liberação prolongada e a minimização do contato direto com a pele, tornando-a uma alternativa altamente desejável (Paulo, 2020; Rossi, 2022).

Dentre os diversos polímeros que podem ser utilizados para a encapsulação de agentes ativos, a quitosana se destaca. A quitosana, obtida da desacetilação da quitina, é um polissacarídeo catiônico e, portanto, com afinidade com as fibras celulósicas encontradas em tecidos de algodão (Cacuro, 2019). Essa propriedade única da quitosana não apenas facilita a sua aplicação em tecidos, mas também pode promover uma ligação estável e duradoura. Além disso, a quitosana é biocompatível e biodegradável, o que a torna ambientalmente amigável e adequada para diversas aplicações (Shirvan; Shakeri; Bashari, 2019).

A presença de cargas negativas na quitosana favorece a formação de cápsulas pela técnica de gelificação iônica. Essa técnica é simples e consiste na formação de estruturas, geralmente de dimensões nanométricas, como consequência do intercruzamento de polieletrólitos com cargas opostas. O tripolifosfato de sódio (TPP), um dos agentes mais utilizados para formação de cápsulas de quitosana, possui grupos fosfatos negativamente carregados que interagem com os grupos amino protonados da quitosana (Almeida, 2019; Karlsen, 2020; Silva *et al.*, 2022). Essa estratégia de encapsulação busca não apenas prolongar a durabilidade do efeito repelente, mas também contribuir para a proteção contra doenças transmitidas por vetores, promovendo a segurança, a eficácia e a sustentabilidade dos têxteis funcionais resultantes (Martins *et al.*, 2017).

Além de ser utilizada como material de parede para encapsulação, a quitosana tem sido explorada como um recobrimento em uma variedade de tecidos, introduzindo novas propriedades e funcionalidades (Elamri *et al.*, 2022). A sua notável atividade antibacteriana, por exemplo, desperta interesse em aplicações voltadas para a melhoria da higiene e segurança dos produtos têxteis (Costa *et al.*, 2018; Mondal;

Saha, 2019; Shirvan; Shakeri; Bashari, 2019). Além disso, graças às suas características poliméricas catiônicas únicas e às propriedades de formação de gel e filme, a combinação ou adição de outros materiais à quitosana possibilita a criação de tratamentos mais sofisticados e versáteis, como antichamas e repelentes (Bano, 2014; Revathi; Thambidurai, 2017; Zhou *et al.*, 2019; Hahn *et al.*, 2019; Wang *et al.*, 2020).

Portanto, este estudo tem como objetivo encapsular o óleo de neem em nanopartículas de quitosana para sua posterior aplicação em tecidos de algodão 100 %. A funcionalização via encapsulação será comparada com um acabamento de revestimento convencional, baseado na aplicação do óleo de neem diretamente no tecido ou em conjunto com uma cobertura de quitosana. Dessa forma, busca-se proteger o agente ativo de maneira eficaz, liberando gradualmente o repelente e mantendo sua eficácia por períodos mais longos, contribuindo para a prevenção de doenças transmitidas por vetores, ao mesmo tempo em que possíveis inconvenientes são reduzidos, como manchas e amarelecimento em têxteis ou volatilidade excessiva.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo desse trabalho foi a funcionalização de substratos têxteis com óleo de semente de neem nanoencapsulado ou revestido com quitosana visando aplicação repelente/inseticida.

1.1.1 Objetivos específicos

Os objetivos específicos desse trabalho foram:

- a) Desenvolver nanocápsulas de quitosana/TPP carregadas com óleo de semente de neem;
- b) Avaliar o efeito do tempo de dispersão ultrassônica no tamanho, dispersão de tamanho e estabilidade das nanocápsulas;
- c) Realizar a funcionalização de tecidos 100 % algodão de diferentes gramaturas com óleo de semente de neem encapsulado ou associado a um revestimento de quitosana por meio de impregnação no *Foulard*;
- d) Avaliar os efeitos do tempo de imersão e condições de secagem e cura na alteração da cor e na cinética de liberação *in vitro* do óleo de neem;
- e) Estudar a atividade repelente *in vivo* dos tecidos funcionalizados em diferentes tamanhos de amostras.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 DOENÇAS TRANSMITIDAS POR MOSQUITOS

Desde a década de 1870, já era de conhecimento da comunidade médica que os mosquitos podiam transmitir doenças aos seres humanos (CDC Foundation, 2017). Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2020), 17 % de todas as doenças infecciosas são transmitidas por vetores, podendo ser causadas por patógenos, como parasitas, bactérias ou vírus. Nos Estados Unidos e territórios norte-americanos, existem mais de 200 espécies de mosquitos, porém, aproximadamente 12 deles têm o potencial de espalhar agentes patogênicos e, conseqüentemente, são considerados vetores de doenças (CDC, 2020). No Brasil, a quantidade exata de espécies vetoras e não vetoras pode variar ao longo do país e ao longo do tempo devido a fatores ambientais e epidemiológicos, não havendo um número indicativo.

As doenças transmitidas por mosquitos representam uma grave ameaça à saúde pública em todo o mundo, sendo a malária, a dengue, a Zika, a Chikungunya e a febre amarela algumas das mais comuns (CDC Foundation, 2017; Guarner; Hale, 2019). Essas doenças têm o potencial de causar grandes epidemias e afetar milhões de pessoas, especialmente em regiões tropicais e subtropicais. Além dos riscos à saúde humana e econômica, o uso excessivo de inseticidas químicos convencionais para controlar mosquitos vetores tem levado ao desenvolvimento de resistência biológica, tornando esses insetos mais difíceis de serem controlados e causando conseqüências ambientais negativas (Ayinde; Morakinyo; Sridhar, 2020; Poonia; Singh, 2020).

As doenças transmitidas por mosquitos, conhecidas como arboviroses, são causadas principalmente pelos mosquitos fêmeas das espécies *Aedes aegypti* e *Aedes albopictus*, responsáveis por disseminar doenças como Chikungunya, Zika, dengue e febre amarela (OPAS, 2023). A malária, por sua vez, é transmitida pelo mosquito fêmea do gênero *Anopheles* (ONU, 2016). Além dessas citadas, o Quadro 1 menciona as doenças causadas pelos diferentes gêneros de mosquitos.

A crescente urbanização e mobilidade humana contribuem para a disseminação dessas doenças, afetando mais de 4 bilhões de pessoas em áreas de risco de dengue em todo o mundo (ONU, 2016; CDC, 2023). A Figura 1 apresenta um

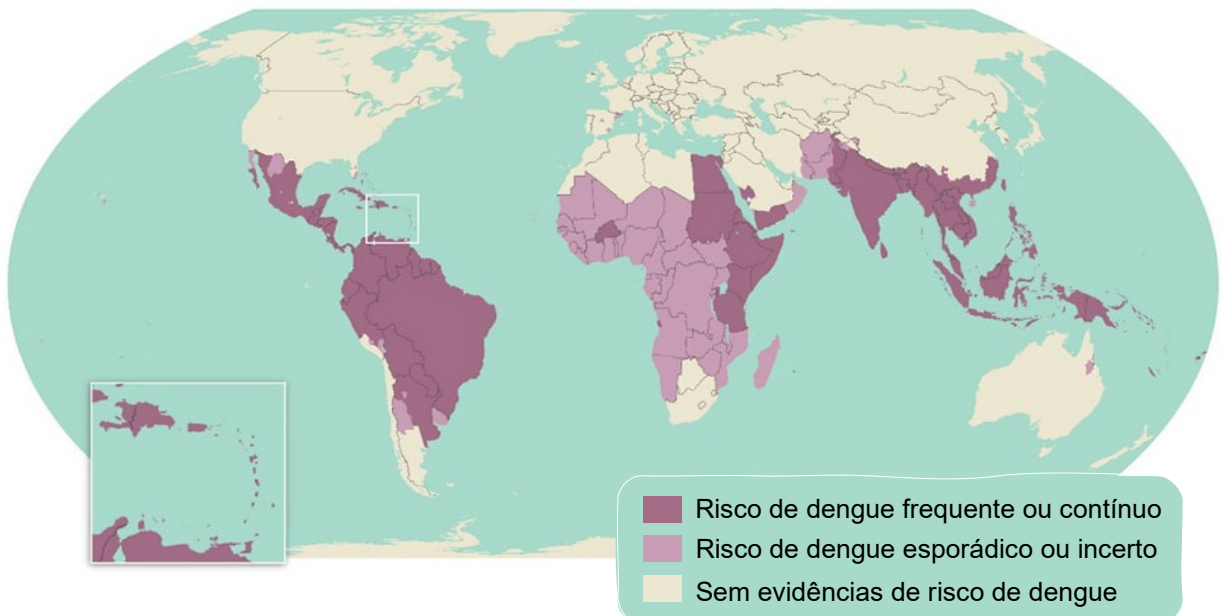
esquema informando as áreas com risco de infecção de dengue, de acordo com o Centro de Controle e Prevenção de Doenças (CDC) dos Estados Unidos.

Quadro 1 - As doenças causadas por diferentes gêneros de mosquitos

Vetor	Gênero	Doença causada	Tipos de patógeno
Mosquito	<i>Culex</i>	Encefalite japonesa	Vírus
	<i>Culex quinquefasciatus</i>	Filariose linfática	Parasita
		Febre do Nilo Ocidental	Vírus
		Chikungunya	Vírus
	<i>Aedes</i>	Dengue	Vírus
	<i>Aedes aegypti</i>	Febre do Vale do Rift	Vírus
		Febre Amarela	Vírus
		Zika	Vírus
	<i>Anopheles</i> <i>Anopheles stephensi</i>	Malária	Parasita

Fonte: Adaptado de Xin e Wang (2018), OMS (2020) e Kakaria, Singh e Parmar (2023)

Figura 1 - Mapa de áreas com risco de dengue



Fonte: Adaptado de CDC (2023)

Dados epidemiológicos têm evidenciado o aumento expressivo do número de casos e o impacto dessas doenças em diferentes regiões do mundo. A incidência da dengue, por exemplo, aumentou drasticamente de 500 mil casos em 2000, para 5,2 milhões em 2019 (ONU, 2023). O Brasil lidera o número de casos de dengue e malária em relação aos demais países da região das Américas. Somente no ano de 2020

foram relatados mais de 1,6 milhão de casos de dengue na região, com o Brasil registrando 65 % desses casos e 95 % das notificações de Chikungunya (ONU, 2020). Em 2022, até novembro, foram contabilizados mais de 1,3 milhão de casos prováveis de dengue no Brasil, representando um aumento de 182 % em relação ao mesmo período no ano anterior (UNICEF, 2022). Em 2023, ocorreram mais de 5,5 milhões de casos, enquanto só nas primeiras quatro semanas de 2024, de acordo com a OMS, o país atingiu 262.247 ocorrências (ONU, 2024). Segundo a OPAS (2024), nas primeiras cinco semanas de 2024, a região das américas teve aumento de 157% em comparação com o mesmo período em 2023 e 225 % em comparação com a média dos últimos 5 anos na região.

As mudanças climáticas influenciam a disseminação dessas doenças, pois temperaturas mais altas e maior umidade proporcionam condições mais favoráveis à reprodução dos mosquitos vetores, aumentando o risco de surtos (CDC Foundation, 2022; OPAS, 2023). Dessa forma, esforços de controle são essenciais para a erradicação dos vetores e combater a disseminação dessas doenças (Chagas *et al.*, 2023). Medidas simples, como eliminar criadouros de mosquitos e utilizar repelentes e inseticidas, ou materiais tratados com eles, podem ajudar a reduzir a exposição ao vetor e a propagação das doenças transmitidas por mosquitos (Brasil, 2023; EPA, 2023; OPAS, 2023).

As recomendações da OPAS/OMS (2023) para prevenir e/ou controlar a infestação de vetores é pautada essencialmente em uso de diversas intervenções, com frequência em combinação estratégicas e de maneira sinérgica. Seja com o uso de larvicidas, pulverizantes inseticidas para os mosquitos adultos, medidas preventivas individuais, como repelentes com uso estritamente de acordo com as instruções do rótulo do produto, mosquiteiros, impregnados ou não com inseticida, dentre outros.

O desenvolvimento de resistência biológica aos inseticidas convencionais aumenta a urgência de encontrar alternativas eficazes e ecologicamente corretas. A busca por novos compostos mosquicidas e a implementação de medidas preventivas são essenciais para reduzir o impacto dessas doenças e garantir a segurança da população.

2.2 MECANISMO DE AÇÃO REPELENTE

O sucesso de um mosquito reside em sua habilidade de localizar e se aproximar de um hospedeiro potencial, avaliar a qualidade da fonte de alimento e iniciar a alimentação sem alertar o hospedeiro de sua presença (Paluch; Bartholomay; Coats, 2010). Esse processo é executado com precisão para assegurar o crescimento e a reprodução do mosquito.

Os mosquitos usam o olfato como um meio primário para detectar seus hospedeiros e são mais ativos no início da manhã e ao anoitecer, tornando esses períodos de maior risco de picadas para algumas espécies (Raji *et al.*, 2019; Maia, 2020; OPAS, 2023). Os maiores índices de infestação de mosquitos adultos ocorrem durante os verões e os menores no inverno (Ferreira *et al.*, 2017). A fêmea do mosquito necessita do sangue em seu organismo para adquirir proteínas e amadurecer seus ovos, impulsionando seu ciclo de vida (SES MG, 2023). Durante a alimentação, ela libera saliva na área de picada, contendo proteínas que podem causar reações alérgicas em algumas pessoas, como inchaço, coceira e urticária. Para indivíduos mais sensíveis, podem ocorrer bolhas, hematomas ou reações inflamatórias acentuadas. Além disso, se o mosquito estiver abrigando um patógeno, como vírus, protozoários ou nematóides, há possibilidade de transmissão aos humanos por meio da saliva (Poonia; Singh, 2020).

A estratégia de repelência é amplamente reconhecida como uma abordagem eficaz para a prevenção de doenças transmitidas por vetores, uma vez que sua aplicação reduz significativamente o contato direto entre seres humanos e vetores. Sua utilização é recomendada por organizações de saúde e controle de doenças, como a Organização Mundial da Saúde (OMS), os Centros de Controle e Prevenção de Doenças (CDC) e outros órgãos de saúde nacionais e mundiais que tratam da saúde pública.

O conhecimento do mecanismo de ação dos repelentes de insetos é fundamental para compreender sua eficácia na prevenção de doenças transmitidas por mosquitos (Poonia; Singh, 2020). Esses produtos são formulados para atuar como uma barreira química entre os mosquitos e a pele exposta, diminuindo a probabilidade de picadas e, conseqüentemente, de transmissão de patógenos (EPA, 2023).

Os repelentes de mosquitos operam por meio de dois mecanismos principais: o modo olfativo e o modo tátil. No modo olfativo, também conhecido como repelência

à transpiração, os poros de detecção de umidade nos mosquitos, que são usados para localizar fontes vivas, são bloqueados, evitando assim a localização dos seres humanos (Patil; Patil, 2022). Por outro lado, o modo tátil envolve a ação de substâncias repelentes no sistema nervoso dos mosquitos, induzindo confusão e desorganização em seu comportamento antes que possam efetuar a picada. Esse modo também é denominado repelência de contato direto, pois afasta os insetos da superfície, impedindo que se alimentem de sangue humano (Gupta; Gupta, 2019). Geralmente, os mosquitos são atraídos por corpos quentes e úmidos que emitem dióxido de carbono (Debboun; Frances; Strickman, 2014). No entanto, ao bloquear os orifícios de detecção de umidade no modo olfativo e causar desorientação no modo tátil, os repelentes minimizam o contato entre mosquitos e seres humanos, reduzindo assim a ameaça de picadas e transmissão de doenças.

A maioria dos repelentes de insetos contém compostos químicos ativos, como DEET (N,N-dietil-meta-toluamida), permetrina, aletrina ou picaridina, que afetam o olfato dos mosquitos, interferindo em sua habilidade de localizar seus hospedeiros através do dióxido de carbono, do ácido láctico e de outros compostos químicos liberados pelo corpo humano (Debboun; Frances; Strickman, 2014; Xin; Wang, 2018; Mia *et al.*, 2020; CDC, 2023). Esses compostos atuam de forma a mascarar o odor humano ou emitir um cheiro desagradável para os insetos, dificultando a localização do hospedeiro e, assim, reduzindo a probabilidade de picadas (Debboun; Frances; Strickman, 2014; Xin; Wang, 2018). No entanto, os repelentes químicos enfrentam desafios relacionados à toxicidade para organismos não-alvo, usabilidade na presença de pessoas asmáticas ou com alergias respiratórias, formigamento, queimação e coceira na pele, redução da aceitação do consumidor e o potencial para insetos desenvolverem resistência a certos produtos químicos (Paluch; Bartholomay; Coats, 2010; FIOCRUZ, 2015; Webb; Hess, 2016; ANVISA, 2020; Ayinde; Morakinyo; Sridhar, 2020; Mia *et al.*, 2020; Vargas *et al.*, 2022).

Nos últimos anos, pesquisadores têm se dedicado a encontrar alternativas ecologicamente corretas e economicamente viáveis para combater os mosquitos vetores (Chatterjee *et al.*, 2023). Há um longo histórico de utilização de plantas como medida de proteção. Alguns repelentes de insetos utilizam ingredientes naturais, como óleos de citronela, eucalipto, neem, tomilho, alecrim, citronela cravo, limão ou hortelã-pimenta, que têm propriedades repelentes, associadas à presença de pequenas

quantidades de isoprenóides (Xin; Wang, 2018; Patil; Patil, 2022; Kakaria; Singh; Parmar, 2023). Compostos específicos, como eugenol, limoneno e azadiractina, presentes em materiais vegetais, podem atuar afetando os sentidos dos mosquitos, assim como os repelentes químicos sintéticos (Chatterjee *et al.*, 2023). Eles têm a capacidade de mascarar odores, interferir nos receptores sensoriais dos insetos ou, até mesmo, causar um efeito irritante na pele dos insetos, fazendo com que eles se afastem ou evitem entrar em contato com o hospedeiro. Esses repelentes, de efeito irritante, não necessariamente evitam que os insetos se aproximem, mas desencorajam as picadas devido à irritação causada (Debboun; Frances; Strickman, 2014). Além disso, esses compostos naturais têm sido explorados como alternativas ecologicamente corretas e menos tóxicas, oferecendo uma abordagem mais sustentável para a proteção contra picadas de insetos e prevenção de doenças (Kantheti; Rajitha; Padma, 2020; Kidile; Sharma, 2022).

Nem todos os repelentes são igualmente eficazes contra todos os tipos de insetos, e essa informação é crucial para orientar a escolha do repelente mais adequado em diferentes situações e ambientes (Debboun; Frances; Strickman, 2014). A eficácia das substâncias repelentes, sejam sintéticas ou naturais, pode variar de acordo com a concentração do ingrediente ativo, a duração da proteção oferecida e o tipo de mosquito presente na região (Kuri-Morales *et al.*, 2017; Teli; Chavan, 2017; Devi; Pandey, 2020; Endris; Govindan, 2021). Além disso, fatores individuais, como a transpiração, podem afetar a durabilidade da proteção (EPA, 2023).

Apesar de serem uma ferramenta valiosa na prevenção de doenças arbovirose e malária, os repelentes de insetos não fornecem proteção absoluta e não devem ser considerados a única medida de prevenção. A implementação de estratégias combinadas, como modificação ambiental, controle biológico, controle físico e controle químico, é essencial para assegurar uma proteção completa e efetiva contra doenças transmitidas por mosquitos (Maia, 2020; Kakaria; Singh; Parmar, 2023). Essas estratégias abrangem o uso de roupas de mangas compridas e calças, instalação de telas nas janelas, eliminação de possíveis criadouros de mosquitos e o controle dos vetores em áreas de alta incidência (Poonia; Singh, 2020; Opas, 2023). Além disso, outros métodos amplamente adotados para prevenir a presença de mosquitos incluem a aplicação de inseticidas no interior de residências e edifícios, conhecida como pulverização residual interna, a realização de fumigações, o uso de

barreiras de ar, a utilização de raios ultrassônicos, entre diversas opções disponíveis (Choudhury, 2017). Ao adotar tais medidas em conjunto, é possível reduzir significativamente o risco de infecções e garantir uma proteção abrangente contra essas doenças potencialmente graves.

2.3 ÓLEO VEGETAL E O NEEM

O uso de repelentes químicos para o controle de insetos e artrópodes tem gerado preocupações em relação ao meio ambiente e à segurança de seres humanos, animais e espécies aquáticas. Além disso, o desenvolvimento de resistência por parte dos insetos é um problema cada vez mais comum, especialmente com o uso de inseticidas sintéticos à base de piretróides. Essa resistência é capaz de alterar o tempo de resposta ou fazer com que haja um aumento na concentração dos produtos aplicados (Chatterjee *et al.*, 2023). Nesse contexto, há uma tendência crescente em usar produtos naturais como alternativa aos repelentes químicos.

Ao contrário dos repelentes químicos, os produtos naturais são considerados seguros e ecologicamente corretos, por não produzirem subprodutos prejudiciais ao meio ambiente (Poonia; Singh, 2020). No entanto, é importante notar que a eficácia e a segurança desses produtos dependem da sua formulação e concentração, assim como ocorre com os repelentes químicos (Devi; Pandey, 2020; Singh; Sheikh, 2022). Além disso, cabe ressaltar que esses produtos podem não proporcionar a mesma proteção prolongada que alguns repelentes químicos convencionais, devido à volatilidade e sensibilidade à luz, calor e pH.

Vários estudos indicam substâncias naturais, como os óleos de capim-limão, de eucalipto, de cravo, de hortelã-pimenta e de neem, como eficazes para uso em repelentes de mosquitos (Xin; Wang, 2018; Asadollahi *et al.*, 2019).

É interessante notar que a maioria das plantas utilizadas como repelentes também é empregada como aromatizante em alimentos ou na indústria de perfumes, o que pode justificar a associação desses óleos como alternativas naturais e mais seguras ao DEET (Maia; Moore, 2011). Entretanto, nem todos os repelentes naturais podem ser considerados igualmente seguros, podendo oferecer riscos em termos de sensibilidade/irritação da pele, fototoxicidade e, em alguns casos, potencial carcinogênico (Agnihotri *et al.*, 2019; (Gupta; Gupta, 2019).

De acordo com a ANVISA (2020), os inseticidas chamados “naturais”, como as velas, os odorizantes de ambientes, os limpadores e os incensos, à base de citronela, andiroba, óleo de cravo, entre outros, não possuem comprovação de eficácia. No entanto, o óleo de neem, que possui a substância azadiractina, é aprovado para uso em inseticidas, desde que o produto esteja registrado. As características e propriedades deste óleo, utilizado neste estudo, são detalhadas no subitem a seguir.

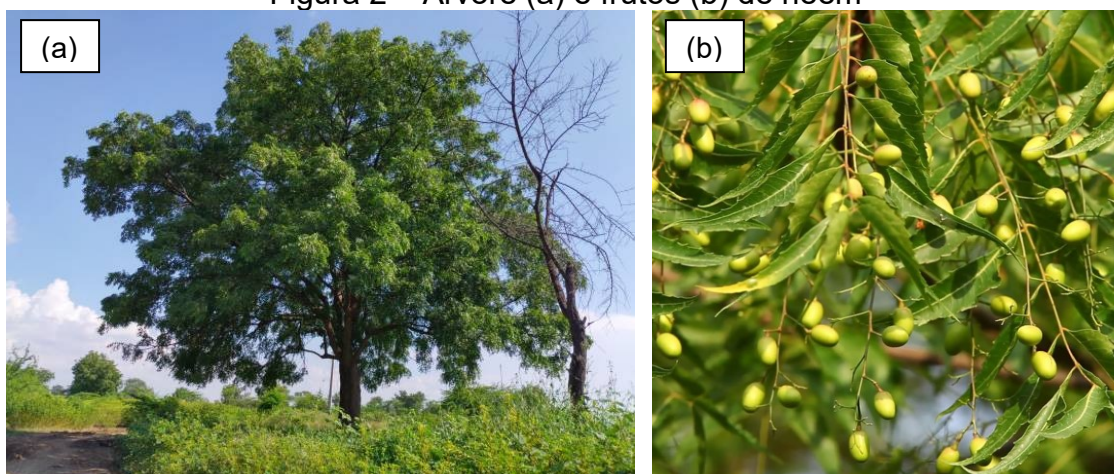
2.3.1 Neem

A *Azadirachta indica*, mais conhecida como a árvore do neem, pertence à família *Meliaceae*. Originária das regiões tropicais, essa árvore é reconhecida por sua excepcional adaptabilidade e resistência em diversos ambientes (Rojas-Sandoval; Acevedo-Rodríguez, 2022). Seu crescimento robusto é evidenciado pela sua capacidade de prosperar em altitudes que podem atingir até 1500 m e diferentes tipos de solo (Benelli *et al.*, 2017). Além disso, a árvore do neem possui capacidade de adaptação a amplas variações de temperatura, com sua resistência abrangendo de 0 a 49°C, e exibindo uma notável resposta a níveis variados de precipitação pluviométrica (Oli; Gautam, 2022; Neem Foundation, 2023).

Apesar de ser frequentemente cultivada por suas características ornamentais e sombreamento, as folhas, cascas, flores, semente e óleo de neem apresentam potencial para diversas aplicações (Mujallid, 2019). Suas partes são utilizadas em várias indústrias, como farmacêuticas, desinfetantes, biopesticidas, cosméticos, têxteis e indústrias de borracha, além de produtos agrícolas, sabão e produtos veterinários (Oli; Gautam, 2022; Prakash *et al.*, 2022; Singh; Dongre, 2022).

A árvore de neem (Figura 2) possui mais de 300 constituintes químicos identificados em suas várias partes, sendo que as maiores concentrações desses compostos ativos estão contidas nas sementes, com cerca de 100 fitoconstituintes biologicamente ativos (Alzohairy, 2016; Pascoli *et al.*, 2019; Alba *et al.*, 2023). Esses constituintes abrangem uma ampla gama de compostos bioativos, incluindo triterpenóides, limonóides, flavonoides, antioxidantes e ácidos graxos (Prakash *et al.*, 2022).

Figura 2 – Árvore (a) e frutos (b) de neem



Fonte: Thorat (2020) e Plantei Garden Center (2024)

O Quadro 2 apresenta os principais constituintes do neem e suas atividades biológicas. Cada um desses componentes desempenha um papel único e importante nas propriedades terapêuticas e inseticidas do neem, contribuindo para sua eficácia e versatilidade.

Quadro 2 - Constituintes do neem e suas atividades biológicas

Constituinte	Usos terapêuticos
Azadiractina	Repelente de insetos
Gedunin	Vasodilatador, antimalárico, anticâncer
Nimbidina	Anti-inflamatório, antifúngico, hipoglicêmico, antibacteriano
Nimbin	Anti-inflamatório, antipirético, anti-histamínico, antifúngico, antisséptico
Nimbolide	Anticancerígeno, antimalárico
Quercetina	Antioxidante
Salanin	Repelente de insetos

Fonte: Adaptado de Biswas *et al.* (2002) e Prakash *et al.* (2022)

No conjunto desses componentes, destaca-se a presença proeminente da azadiractina, um triterpenóide da classe dos limonóides (Debboun; Frances; Strickman, 2014). Esta substância presente predominantemente nas sementes da árvore de neem, constitui aproximadamente de 0,2 % a 0,6 % da massa total, podendo ser extraída através do processo de obtenção do óleo de neem a partir dessas sementes (Devi; Maji, 2011; Costa, 2014).

A obtenção do óleo de neem pode ser realizada por dois métodos distintos a partir das sementes secas: a prensagem a frio ou a extração com solvente

(Roychoudhury, 2016). A técnica de extração com solvente apresenta o risco de prejudicar a integridade química dos compostos bioativos presentes de forma que a técnica de prensagem a frio é mais indicada para aplicações que dependem dos componentes voláteis, como em pesticidas e inseticidas. (Khanam *et al.*, 2017; Roychoudhury, 2016; Poonia; Singh, 2020).

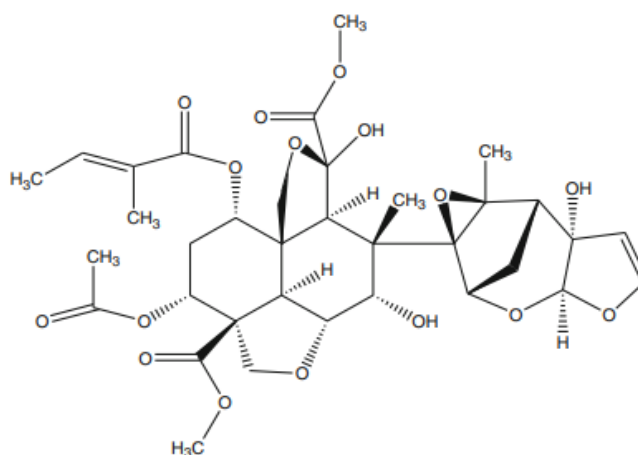
O óleo de semente de neem (NSO), que é um óleo não comestível, possui uma cor entre marrom esverdeado e amarelo acastanhado, e é uma combinação do óleo essencial e ácidos graxos, sendo que estes últimos podem compreender até 50 % da massa total da semente (Rukmini, 1987; Stoytcheva, 2011; Khanam *et al.*, 2017; Affincy; Ramakrishnan, 2021). A presença desses constituintes de gordura no óleo é crucial para a preservação dos limonóides, e, por conseguinte, para a manutenção da bioatividade destes compostos (Benelli *et al.*, 2017).

A composição química do NSO é complexa, sendo rica em terpenóides, limonóides e compostos voláteis de enxofre, que conferem um caráter amargo/acre e um aroma que remete à alho e enxofre (Roychoudhury, 2016; Neem Foundation, 2023). Entretanto, esse aroma peculiar limita seu uso em algumas aplicações (Affincy; Ramakrishnan, 2021). Além disso, o NSO contém vitamina E e outros aminoácidos essenciais (Stoytcheva, 2011).

A qualidade do óleo está intrinsecamente ligada à sua composição, a qual exerce influência direta sobre suas propriedades. Outro ponto importante é que a temperatura desempenha um papel considerável na qualidade do NSO, pois essa qualidade tende a diminuir à medida que a temperatura aumenta. Indicações de baixa qualidade do NSO podem ser identificadas através do aumento nos valores de ácido, saponificação e peróxido, além da redução do valor de iodo quando submetido a temperaturas elevadas (Roychoudhury, 2016).

A azadiractina, cuja estrutura é apresentada na Figura 3, está presente em quantidades substanciais no óleo de neem, resultando em atividade contra diversos insetos, incluindo mosquitos, pulgas, ácaros, besouros e moscas. Esse composto desempenha não somente o papel de repelente e inseticida, cuja ação foi relatada pela primeira vez por Sharma, Ansari e Razdan (1993), mas também apresenta propriedades antifúngicas, antivirais e antibacterianas.

Figura 3 - Estrutura química da azadiractina



Fonte: De *et al.* (2013)

Tratando-se dos insetos, a azadiractina pode interferir em diferentes processos fisiológicos. As formulações de semente de neem podem romper ou inibir o desenvolvimento de ovos e larvas de insetos, bloquear a mudança de pele de larvas e ninfas, romper o acasalamento e a comunicação sexual, repelir larvas e insetos adultos, impedir a fêmea de botar ovos, esterilizar os adultos, envenenar larvas adultas, impedir a alimentação e inibir a formação de quitina (Stoytcheva, 2011; Oliveira, 2015; Singha; Singhal, 2006; Chaudhary, 2017; Paula; Ribeiro; Samuels, 2017; Bekele, 2018; Chatterjee *et al.*, 2023).

Apesar de todo o impacto nocivo da azadiractina aos insetos, dentre vários inseticidas à base de plantas, o óleo de neem é o menos tóxico para os seres humanos e tem baixa toxicidade contra organismos benéficos, como abelhas, e espécies aquáticas (Boeke *et al.*, 2004; Brahmachari, 2004; Roychoudhury, 2016; Prakash *et al.*, 2022; Vithalkar; Kaiwartya; Patel, 2023).

A azadiractina possui rápida degradação por microrganismos e exposição à luz, tanto no solo quanto na água e nas plantas. A meia-vida da azadiractina varia de acordo com as condições ambientais, sendo de 3 a 44 dias no solo, 48 minutos a 4 dias na água e de 1 a 2,5 dias nas folhas das plantas. Os demais componentes do óleo de neem também são decompostos por micróbios em ambientes de solo e água (Krzyzaniak; Simmons; Shepard, 2016; Benelli *et al.*, 2017).

No estudo de Shivakumar *et al.* (2010), uma rede multifilamento de poliéster tratada com azadiractina mostrou que *Aedes Aegypti* apresentou uma maior taxa de mortalidade em concentrações mais baixas (LC₅₀ - 46,606 ppm; LC₉₉ - 323,815 ppm),

enquanto *Culex Quinquefasciatus* foi mais suscetível a doses comparativamente mais elevadas (LC₅₀ - 77,774 ppm; LC₉₉ - 462,363 ppm).

A pesquisa realizada por Ayinde, Morakinyo e Sridhar (2020) investigou a repelência e os efeitos bioinseticidas do óleo de *Azadirachta indica* em *Anopheles Gambiae*, utilizando porquinhos-da-índia previamente tratados com óleo misturado com parafina em concentrações de 10 a 40 % (v/v). Os testes de repelência mostraram uma proteção significativa contra os mosquitos adultos em todas as concentrações, sendo o efeito mais pronunciado observado com 40 % (v/v) de extrato do óleo de neem em parafina, alcançando 95 % de repelência em 4 horas de exposição. O óleo de neem demonstrou uma atividade inseticida multifuncional, proporcionando uma alta taxa de proteção (92-100 %) contra *Anopheles Gambiae*.

Taheri *et al.*, 2020 compararam a eficácia do óleo de neem e do DEET contra *Anopheles Stephensi*, usando voluntários para aplicação na pele, demonstrando que o óleo de neem em nanoemulsão proporcionou uma proteção significativamente mais duradoura do que o óleo de neem prensado a frio convencional (não formulado). O óleo de neem foi formulado em doses de 77 µg/cm² e o DEET em 308 µg/cm². A formulação de óleo de neem em nanoemulsão aumentou seu tempo de proteção de 0,5 h para 4 h e o tempo até a falha de 1,5 h para 5,5 h, em comparação ao óleo de neem não formulado. Enquanto, o tempo de proteção de 6 h e o tempo de falha de 7,30 h foram obtidos para DEET.

Esses estudos, preocupados com a segurança dos agentes sintéticos, buscaram alternativas utilizando o neem como potencial repelente de mosquitos transmissores de doenças, e encontraram resultados promissores.

Entretanto, há fatores que podem dificultar o seu uso. Por exemplo, alergias de contato (dermatite) quando aplicado diretamente e em excesso, alta volatilidade dos seus componentes e degradação da azadiractina quando exposta a variação de pH, luz e calor (Shivakumar *et al.*, 2010; Costa, 2014; Debboun; Frances; Strickman, 2014; Groot; Jagtman; Woutersen, 2017). Também há a necessidade de concentrações relativamente altas para obter alta mortalidade, quando utilizado sozinho (Schmutterer, 1990).

2.4 TÊXTEIS COM EFEITO INSETICIDA

A maioria dos repelentes, como loções, cremes, sprays ou soluções, requer aplicação direta na pele humana. Além disso, essas formulações têm eficácia e durabilidade limitadas, o que torna necessário reaplicá-las frequentemente ou substituí-las (Kakaria; Singh; Parmar, 2023). No entanto, apesar de geralmente ser considerado seguro para o uso humano, esses repelentes aplicados diretamente na pele podem levar à irritação e ressecamento da pele (Xin; Wang, 2018). Em resposta a essas questões, houve um avanço na criação de têxteis repelentes de mosquitos como uma alternativa para proporcionar proteção efetiva sem a necessidade de aplicação direta na pele.

Materiais têxteis repelentes de insetos são usados como uma barreira protetora contra picadas de artrópodes e doenças transmitidas por eles. Esses produtos podem incluir redes, cortinas, têxteis para o lar, roupas, uniformes militares e outros materiais repelentes de insetos e/ou inseticidas (Anuar; Yusof, 2016; Chatha *et al.*, 2019; Kakaria; Singh; Parmar, 2023). Geralmente, os têxteis repelentes de insetos são obtidos incorporando substâncias inseticidas ou repelentes, sintéticas ou naturais, no substrato. Uma vantagem importante dos têxteis repelentes de insetos com componentes naturais é sua natureza eco amigável e biodegradável, minimizando o impacto ambiental (Poonia; Singh, 2020).

O uso de tratamento inseticida de roupas militares com inseticidas piretróides sintéticos, geralmente permetrina, foi sugerido pela primeira vez na década de 1970 (Debboun; Frances; Strickman, 2014). Nos últimos anos, diversos estudos têm relatado o uso de mosquiteiros com inseticidas piretróides sintéticos (Chatha *et al.*, 2019; Figueira, 2022). Entretanto, o desenvolvimento de resistência nos mosquitos vetores aos inseticidas usados no tratamento é um possível impedimento para o sucesso dos mesmos, além problemas de odor, oleosidade ou mudanças de cor no tecido (Debboun; Frances; Strickman, 2014; Anuar; Yusof, 2016; Ayinde; Morakinyo; Sridhar, 2020).

Nos Estados Unidos, de acordo com as diretrizes da EPA (2023), a permetrina é atualmente o único repelente de insetos autorizado para o tratamento de roupas em instalações industriais, sendo classificadas como produtos pesticidas. Já no Brasil, não há uma determinação específica sobre os produtos que podem ser utilizados. De acordo com o posicionamento da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA),

a regularização de repelentes ou inseticidas aplicados em tecidos deve ser feita como saneantes. Além disso, é necessário apresentar estudos de irritação, sensibilização cutânea e fotossensibilização, quando houver contato do ativo com a pele.

Existem duas categorias principais para esses materiais: inseticidas e repelentes. No Brasil, as regulamentações, incluindo as Resoluções da ANVISA, permitem classificar os produtos repelentes como saneantes ou cosméticos, dependendo do tipo de uso: os produtos cosméticos são aplicados externamente no corpo humano, enquanto os produtos saneantes são utilizados em ambientes e superfícies inanimadas. Por outro lado, os inseticidas são classificados exclusivamente como saneantes de acordo com a legislação brasileira (ANVISA, 2019).

O uso de agentes inseticidas em produtos têxteis promove uma barreira protetora contra mosquitos, mantendo-os afastados. Agentes inseticidas sintéticos ou naturais, podem ser incorporados ao material durante diferentes estágios de fabricação, como na preparação de fibras, fios, tecidos e roupas (Xin; Wang, 2018; Lundin *et al.*, 2022). No entanto, a eficiência do produto e durabilidade varia de acordo com o tipo de aplicação realizada.

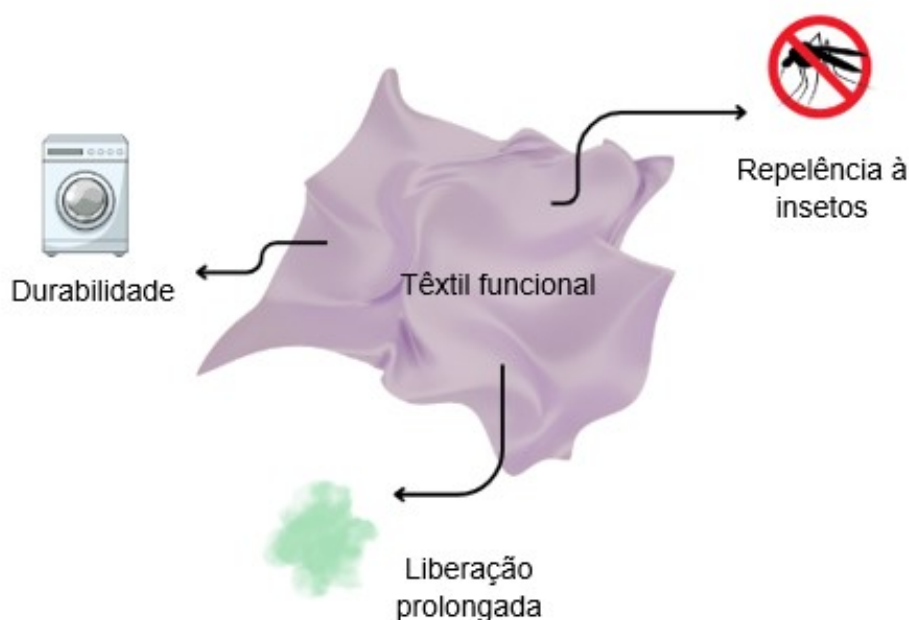
2.5 TIPOS DE FUNCIONALIZAÇÃO DE SUBSTRATOS TÊXTEIS

Têxteis repelentes fazem parte do grande grupo dos têxteis funcionais, que são materiais têxteis projetados para desempenhar funções específicas, além das características tradicionais, como conforto e aparência. Esses têxteis são desenvolvidos por meio de tratamentos, acabamentos ou incorporação de materiais que conferem essas propriedades especiais, como repelência de insetos, proteção UV, propriedades antibacterianas, controle de odor, isolamento térmico, entre outras (Rahman; Tumpa, 2023). Entretanto, ao agregar valor através dessas novas propriedades, é importante que a característica original dos próprios materiais têxteis não seja prejudicada.

No desenvolvimento de produtos têxteis repelentes, é importante estabelecer uma harmonia entre o tipo de fibra e o composto repelente a ser integrado, de forma a não comprometer as características originais dos materiais têxteis em si (Erukoha; Hassandoust; Talbalaghi, 2023). Tais produtos, para ganhar aceitação no mercado, devem possuir características como a capacidade de repelir uma ampla variedade de

espécies de insetos, serem atóxicos e não irritantes para a pele, serem inodoros para os humanos e ao mesmo tempo desagradáveis para os mosquitos. Além disso, devem apresentar resistência à água (lavagem), boa durabilidade sob atrito e abrasão e serem de baixo custo (Bezerra; Silva; Lis, 2019). A Figura 4 apresenta as principais características de um artigo têxtil intitulado como repelente de insetos.

Figura 4 - Características de um artigo têxtil repelente de insetos



Fonte: Adaptado de Bezerra, Silva e Lis (2019)

Visando a obter tais características, diversas técnicas podem ser utilizadas para incorporar agentes repelentes de mosquitos em tecidos. Estas podem ser resumidas em quatro principais técnicas convencionais de acabamento têxtil, que são: absorção, incorporação, revestimento e encapsulamento (micro e nano) (Anuar; Yusof, 2016; Xin; Wang, 2018; Poonia; Singh, 2020; Kakaria; Singh; Parmar, 2023).

A técnica de absorção envolve a aplicação direta de agentes repelentes por meio de métodos como pulverização, imersão, exaustão ou o processo de *pad-dry-cure* nos tecidos (Anuar; Yusof, 2016). A incorporação envolve o pré-tratamento durante a fabricação ou tingimento, onde os agentes repelentes são integrados ao próprio material têxtil. O revestimento envolve a aplicação de uma camada de agente funcional sobre as fibras têxteis, podendo ser recoberto por uma camada polimérica,

proporcionando proteção, ou, até mesmo, incorporado diretamente na solução polimérica (Poonia; Singh, 2020).

Já o encapsulamento é uma técnica na qual as substâncias repelentes são encapsuladas em cápsulas de tamanho micrométrico ou nanométrico, que são então misturadas à solução de ligação com o substrato têxtil, visando obter maior durabilidade do efeito por meio de uma liberação prolongada do agente encapsulado (Paulo, 2020; Rossi, 2022). Devido ao pequeno diâmetro, o nanoencapsulamento é considerado uma técnica avançada de encapsulação que permite uma maior penetração nos tecidos, melhor eficiência na liberação dos agentes repelentes e pode oferecer vantagens específicas em termos de estabilidade, durabilidade e interação com as fibras têxteis, sem afetar a respirabilidade e a sensação ao toque (Santos *et al.*, 2022).

O Quadro 3 apresenta alguns estudos realizados nos últimos anos, visando a obtenção de têxteis repelentes de insetos e/ou inseticidas.

No levantamento realizado, observa-se a viabilidade de funcionalização de substratos em diferentes etapas do processo de fabricação, incluindo a preparação de fibras, fios e tecidos. No entanto, há certas limitações a serem consideradas. Geralmente, a maioria das substâncias repelentes de insetos é à base de óleo, tornando necessário o desenvolvimento de um agente repelente de insetos à base de água para o tratamento têxtil (Xin; Wang, 2018).

Analisando os trabalhos apresentados, evidencia-se que os resultados mais promissores surgem a partir da incorporação de compostos sintéticos durante a etapa de extrusão do fio ou incorporação destes elementos no acabamento dos tecidos. Contudo, tais repelentes sintéticos, apesar de possuírem durabilidade notável, enfrentam restrições devido aos seus efeitos tóxicos (Patil; Patil, 2022; Kakaria; Singh; Parmar, 2023). Além disso, a aplicação de DEET em elastano, viscose e acetato pode ocasionar danos às fibras, devido ao conteúdo químico, afetando sua durabilidade e integridade (Brown; Hebert, 1997; Anuar; Yusof, 2016). No entanto, é segura para tecidos de algodão, lã e poliamida, mas devem ser usados com cautela por causa de seus impactos prejudiciais como alergia, dermatite e efeitos colaterais cardiovasculares e neurológicos (Anuar; Yusof, 2016; Patil; Patil, 2022; Kakaria; Singh; Parmar, 2023).

Quadro 3 - Estado da arte dos têxteis repelentes e/ou inseticidas

(continua)

Agente ativo (Óleos essenciais/ extratos/componentes sintéticos)	Gênero de mosquito	Substrato têxtil	Técnica de funcionalização	Método de avaliação	Resultado	Referência
OEs de cravo, cedro, eucalipto, hortelã-pimenta, lavanda e jasmim	Não especificado	Tecido de algodão	Complexos de inclusão	Teste de gaiola	Repelência de 40-64 %. Jasmim: Fraca eficácia Eucalipto: Inibidor alimentar Cravo: Inibidor alimentar Lavanda: Repelente potencial Hortelã-pimenta: Repelente potencial Cedro: Inseticida de mosquitos	Khanna e Chakraborty (2018)
Permetrina	<i>Aedes</i>	Tecido algodão e poliamida (50:50)	Deposição assistida por plasma	Teste de tubo	98 % Mortalidade	Mosurkal <i>et al.</i> (2020)
DEET-NH ₂	Não especificado	Tecido de poliamida 6	Exaustão	Teste de gaiola	100 % Repelência	Singh e Sheikh (2022)
Extrato metanólico de calêndula	Não especificado	Tecido de algodão	Exaustão	Teste de gaiola	85 % Repelência	Devi e Pandey (2020)

Quadro 3 - Estado da arte dos têxteis repelentes e/ou inseticidas

(continuação)

Agente ativo (Óleos essenciais/ extratos/componentes sintéticos)	Gênero de mosquito	Substrato têxtil	Técnica de funcionalização	Método de avaliação	Resultado	Referência
Extrato metanólico de hortelã-pimenta e alho	<i>Aedes</i>	Malha de algodão	Exaustão e <i>Pad-dry</i>	Teste do cone e teste da gaiola	49,3-85,6 % Repelência e mortalidade	Parvez <i>et al.</i> (2023)
DEET e Icaridina	<i>Anopheles</i>	Poli(etileno-co-vinil acetato) (EVA), polietileno linear de baixa densidade e argila orgânica	Extrusão	Teste de gaiola	53-100 % (DEET) 46-100 % (Icaridina) Repelência	Mapossa <i>et al.</i> (2019)
DEET	<i>Anopheles</i>	Polietileno de alta densidade e EVA	Fibras bicomponentes Fiação por fusão termoplástica	Teste de gaiola	90 % Repelência	Sibanda <i>et al.</i> (2018)

Quadro 3 - Estado da arte dos têxteis repelentes e/ou inseticidas

(continuação)

Agente ativo (Óleos essenciais/ extratos/componentes sintéticos)	Gênero de mosquito	Substrato têxtil	Técnica de funcionalização	Método de avaliação	Resultado	Referência
Óleo de neem	<i>Culex</i>	Tecido Cambraia (linho ou algodão) Tecido Casement (linho ou algodão)	Formulação <i>Pad-dry</i> e Spray	Teste de gaiola	Repelência. <i>Pad-dry</i> : 72-84 % (tecido Cambraia) 68-81 % (tecido Casement) Spray: 60-66 % (tecido Cambraia) 64-70 % (tecido Casement)	Rastogi, Jain e Negi (2022)
Extrato aquoso de broto de bambu e extrato metanólico de neem folhas	Não especificado	Tecido de algodão	Imersão	Teste de gaiola	Repelência Melhores resultados para o neem, tanto com o tecido ainda úmido quanto seco	Kidile e Sharma (2022)
Repelente comercial de óleo de eucalipto limão	<i>Aedes</i>	Malha de poliamida e elastano (80:20)	Infusão	Teste de gaiola	100 % Repelência	Halbkat <i>et al.</i> (2019)

Quadro 3 - Estado da arte dos têxteis repelentes e/ou inseticidas

(continuação)

Agente ativo (Óleos essenciais/ extratos/componentes sintéticos)	Gênero de mosquito	Substrato têxtil	Técnica de funcionalização	Método de avaliação	Resultado	Referência
Limoneno e permetrina	<i>Culex</i>	Tecido de algodão	Microcápsulas <i>Pad-dry</i>	Teste do cone	Mortalidade. 53,9 % (Permetrina) 40,8 % (Limoneno) Repelência mesmo após 20 ciclos de lavagem	Türkoğlu <i>et al.</i> (2020)
Limoneno	Não especificado	Tecido de linho	Microcápsulas <i>Pad-dry-cure</i>	Não especificado, mas usou testes padrão da OMS	95 % Repelência Mortalidade após 6 e 12 h	Rehan <i>et al.</i> (2018)
OE de citronela	<i>Aedes</i>	Tecido misto de algodão e poliéster (50:50)	Microcápsulas <i>Pad-dry-cure</i>	Teste de gaiola	Repelência. Sem lavar 70-95 % Após 30 lavagens 45-80 % Quanto maior a concentração de microcápsulas no banho, maior a % de repelência	Tariq <i>et al.</i> (2022)

Quadro 3 - Estado da arte dos têxteis repelentes e/ou inseticidas

(conclusão)

Agente ativo (Óleos essenciais/ extratos/componentes sintéticos)	Gênero de mosquito	Substrato têxtil	Técnica de funcionalização	Método de avaliação	Resultado	Referência
OE de eucalipto	<i>Aedes</i>	Tecido misto de algodão e poliéster (60:40)	Microcápsulas <i>Pad-dry-cure</i>	Teste de gaiola	Repelência. 93-96 % (sem lavar) 60-73 % (após 40 lavagens)	<i>Anwar et al.</i> (2023)
OEs de eucalipto e alecrim	<i>Aedes,</i> <i>Anopheles</i> e <i>Culex</i>	Tecido de algodão	Microcápsulas <i>Pad-dry-cure</i>	Teste de gaiola	100 % Eucalipto 40-49 % Alecrim.	<i>Dhillon et al.</i> (2021)
OEs de hortelã- pimenta, lavanda, canela e óleo de perfumaria comercial	<i>Aedes</i>	Tecido de linho	Nanocápsulas <i>Pad-dry-cure</i>	Teste de gaiola	73-99 % Repelência Em ordem decrescente: hortelã- pimenta > perfumado comercial > lavanda > canela	<i>Mohamed et</i> <i>al.</i> (2023)
Óleo de silicone e óleo de pinho	Não especificado	Tecido felpudo de algodão Malha de algodão	Nanoemulsão <i>Pad-dry</i>	Teste da câmara de excitação	80-100 % Repelência	<i>Pukale et al.</i> (2017)

Fonte: Do autor

Em relação aos repelentes naturais, a eficácia tende a ser notavelmente mais curta do que a dos sintéticos, devido à sua maior volatilidade (Abrantes *et al.*, 2021). Adicionalmente, em aplicações diretas, alguns agentes inseticidas, especialmente óleos naturais, podem causar manchas e amarelecimento nos produtos têxteis (Türkoğlu *et al.*, 2020; Rastogi; Jain; Negi, 2022).

De acordo com Mapossa *et al.* (2021), vários fatores impactam o desempenho dos repelentes. Esses fatores englobam a abrasão, que pode ocasionar a perda do repelente, a evaporação, onde o tempo de proteção geralmente apresenta relação inversamente proporcional à taxa de evaporação do repelente, e a temperatura, que influencia a evaporação do repelente, bem como a duração da eficácia do princípio ativo.

No que diz respeito aos estudos relacionados aos têxteis impregnados com neem para fins repelentes, observa-se uma lacuna de pesquisa. Não foram identificados estudos que se concentrassem na encapsulação do neem com o propósito de desenvolver têxteis repelentes. No entanto, existem algumas investigações que exploraram acabamentos utilizando diretamente as folhas de neem ou o óleo de neem.

Mujallid (2019) desenvolveu um acabamento têxtil repelente de insetos em tecido 100 % algodão, empregando extrato aquoso obtido das folhas verdes e secas da árvore de neem. Em sua pesquisa, demonstrou uma eficácia de 80 % contra mosquitos ao utilizar as folhas verdes e 60 % com as folhas secas. Além disso, observou um impacto significativo das soluções extraídas nas características do tecido, como permeabilidade ao ar, rigidez e drapeabilidade.

Kidile e Sharma (2022) utilizaram extrato metanólico de folhas de neem e extrato aquoso de broto de bambu para tratar um tecido de malha 100 % algodão. As amostras funcionalizadas foram testadas quanto à repelência em uma gaiola com mosquitos, com avaliações realizadas em diferentes períodos. O critério para considerar uma amostra como não repelente foi quando os mosquitos permaneceram por mais de 10 min sem serem repelidos. Os resultados demonstraram que as amostras tratadas com extrato de broto de bambu mantiveram uma excelente repelência a mosquito em condições úmidas. No entanto, em condições secas, a repelência permaneceu boa até 3 dias e após 1 semana se tornou não repelente. Por outro lado, as amostras tratadas com extrato de folhas de neem apresentaram uma

excelente repelência desde o primeiro dia, tanto em condições úmidas quanto secas. A repelência permaneceu boa até 5 dias, tornando-se moderada após 1 semana e fraca após 10 dias. Após 2 semanas, as amostras tratadas com extrato de folhas de neem perderam completamente sua capacidade repelente e foram consideradas não repelentes.

O estudo conduzido por Rastogi, Jain e Negi (2022) explorou a formulação de óleo de neem para aplicação em acabamentos têxteis com propriedades repelentes. Foram avaliadas as características repelentes das formulações, o impacto da lavagem, a vida útil das formulações e os efeitos nos tecidos. As formulações, compostas por água, emulsificante e, opcionalmente, benzoato de sódio como conservante, foram aplicadas em tecidos Cambraia e Casement, cuja composição não foi especificada podendo ser de linho ou algodão. Duas técnicas de acabamento foram empregadas: impregnação *pad-dry* e pulverização. As formulações, tanto com quanto sem conservante, demonstraram estabilidade durante um período de 4 meses de armazenamento. Os testes de repelência realizados 24 h após o tratamento mostraram taxas entre 60 % e 84 %, variando com base na concentração de óleo no acabamento e no tipo de tecido. Após 15 dias, houve uma redução de 10 % na eficácia repelente, acompanhada de um leve amarelecimento nos tecidos tratados, especialmente naqueles submetidos à pulverização.

Esse levantamento realizado reforça o potencial de utilização do neem em aplicações têxteis como repelente, tornando-o uma alternativa mais segura e ambientalmente amigável em comparação com repelentes químicos. No entanto, pode apresentar limitações, como a necessidade de reaplicação frequente, no substrato têxtil, devido à sua volatilidade e sensibilidade a fatores ambientais. Além disso, a aplicação direta do óleo nos tecidos pode levar a problemas estéticos, como manchas e alterações na cor dos materiais. A encapsulação do óleo de neem pode, portanto, representar uma solução promissora para esses desafios.

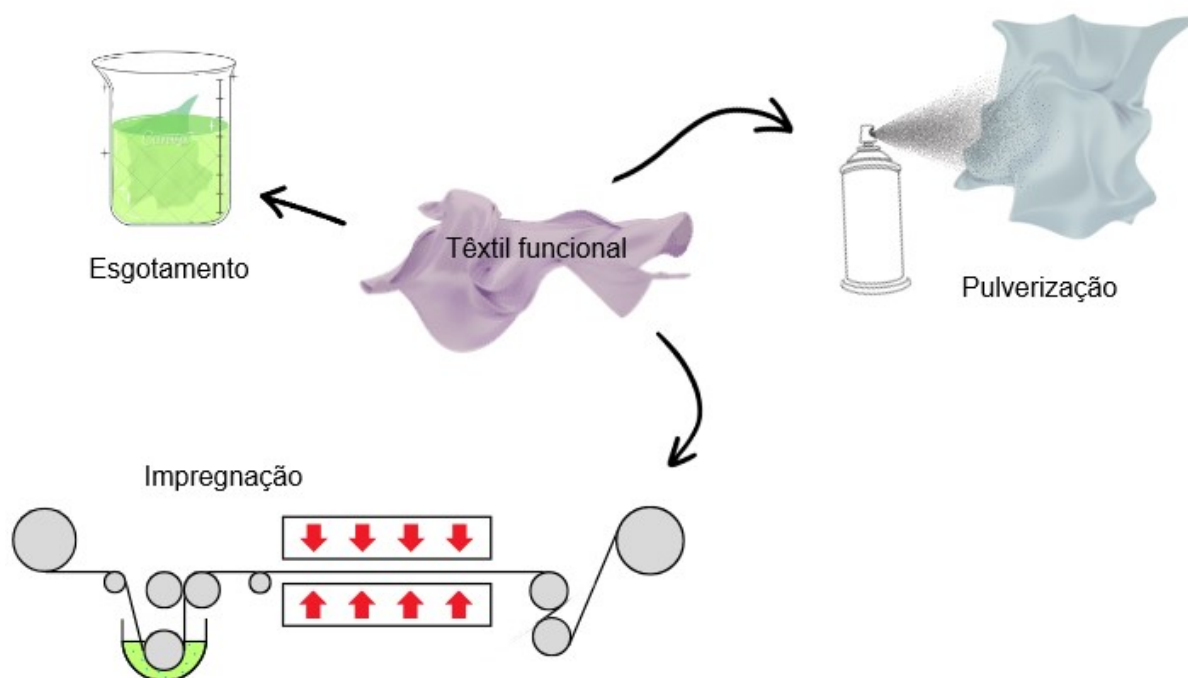
2.6 TÉCNICAS DE FUNCIONALIZAÇÃO DOS SUBSTRATOS TÊXTEIS

É possível conferir acabamentos repelentes à mosquitos aos substratos têxteis utilizando uma variedade de métodos. Essas técnicas incluem a imersão convencional, conhecida como esgotamento, impregnação, cura a seco, acabamento de vestuário, pulverização, e ciclo de enxágue em lavanderia com encapsulados e

emulsificação de repelentes (Xin; Wang, 2018; Santos, 2021). A Figura 5 ilustra os métodos mais utilizados para funcionalização no caso dos têxteis repelentes e inseticidas.

O esgotamento é um processo descontínuo que envolve a imersão do material têxtil em um banho, mantendo-se em movimento durante um período e a uma temperatura específica. Após essa etapa, o banho é drenado, e o material têxtil é submetido à secagem, sem a necessidade de lavagem subsequente (Valle *et al.*, 2021). Nesse método, a migração do aditivo funcional da solução para a interface da fibra é acompanhada pela adsorção à superfície da fibra. Posteriormente, ocorre a difusão do aditivo da superfície para o interior da fibra, seguida pela fixação, na qual as moléculas do aditivo são ligadas por meio de ligações covalentes, pontes de hidrogênio ou outras forças físicas (Salem, 2010).

Figura 5 - Técnicas de funcionalização de substratos têxteis.

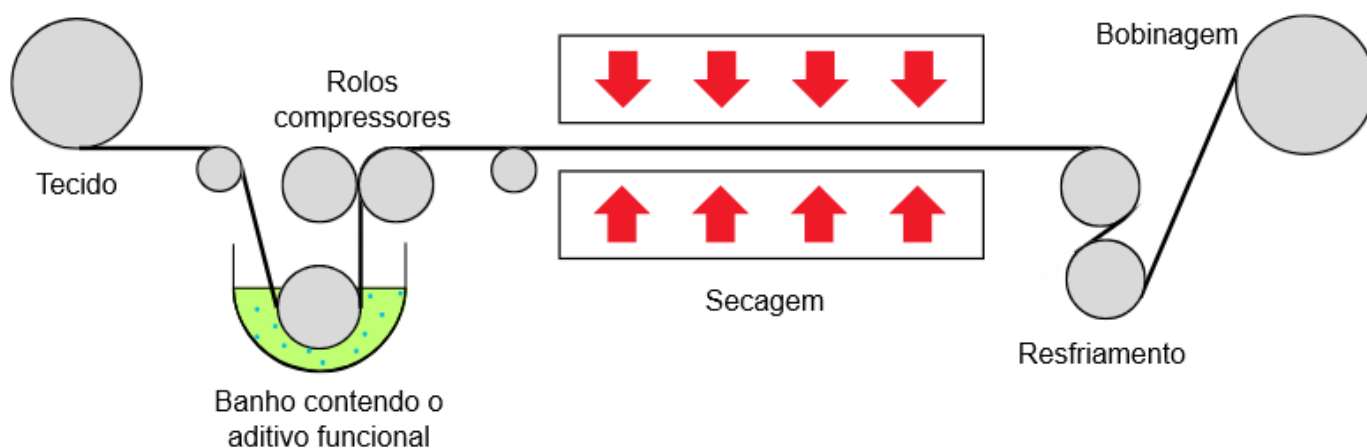


Fonte: Adaptado de Santos (2021)

A pulverização, por sua vez, pode ser realizada com pó fino ou suspensões líquidas, aplicando-se o polímero sobre a superfície fibrosa de forma mais flexível. Nesse processo, é possível controlar a taxa de pulverização, o tempo de rotação e o tempo de processamento. Após a aplicação, o têxtil é submetido a prensagem e cura (Valle *et al.*, 2021).

O método de impregnação envolve a imersão do material têxtil em um reservatório contendo um banho concentrado do aditivo funcional, seguida pela passagem do material pelo *Foulard*. Este equipamento, cujo princípio de funcionamento está ilustrado na Figura 6, é constituído por rolos de compressão que removem o ar dos poros das fibras e o excesso de solução na superfície, e definem a espessura final da impregnação (Santos, 2021). Essa técnica se diferencia das abordagens de pulverização e revestimento, pois permite uma incorporação mais uniforme do aditivo ao longo do comprimento e largura do substrato têxtil, penetrando nas fibras do tecido (Carvalho, 2014; Morisso; Silva, 2017).

Figura 6 - Esquema de funcionamento do equipamento *Foulard*



Fonte: Adaptado de Gries *et al.* (2016)

A taxa de adsorção do insumo funcional depende da pressão exercida pelos rolos no tecido e da velocidade de avanço. O processo de impregnação segue geralmente três etapas distintas: imersão, secagem e cura, conhecido como o método *pad-dry-cure*. Em alguns casos, apenas as etapas de imersão e secagem são utilizadas, chamadas de *pad-dry*. Essas etapas são realizadas com parâmetros específicos de temperatura e tempo (Santos, 2021). A secagem pode ser realizada por vários métodos, como convecção de calor, contato com superfícies metálicas aquecidas, radiação infravermelha, micro-ondas, ondas de alta frequência, combustão e vácuo. A etapa de cura ou fixação ocorre em temperaturas mais elevadas em relação à secagem ou, até mesmo, sob luz UV (Li; Boyter; Qian, 2005; Carvalho, 2014; Morisso; Silva, 2017).

2.7 TÉCNICAS DE ENCAPSULAÇÃO

A aplicação de repelentes em tecidos desempenha um papel fundamental na proteção contra insetos e pragas que podem transmitir doenças ou causar desconforto. No entanto, a maioria dos repelentes enfrenta problemas de durabilidade, principalmente quando aplicados em têxteis e submetidos à lavagem. Isso ocorre devido à natureza hidrofílica das fibras naturais, em contraste com a natureza geralmente oleofílica das substâncias repelentes, o que representa um grande desafio para os cientistas na busca por uma ligação eficaz entre o repelente e o tecido, devido à sua fraca afinidade (Kamari *et al.*, 2021). A encapsulação dos agentes ativos representa uma alternativa promissora para melhorar a eficácia e a durabilidade desses produtos.

A encapsulação refere-se à tecnologia de confinar materiais ativos, sejam eles sólidos, líquidos ou mesmo gasosos, dentro de camadas poliméricas. Essas camadas têm a capacidade de alterar as propriedades físico-químicas e liberar os materiais de forma prolongada, tanto em termos de velocidade quanto de quantidade, em condições específicas (Ezhilarasi *et al.*, 2012; Bratovic; Suljagic, 2019). Esse processo em que o agente ativo é envolto por uma matriz polimérica, cujas condições específicas de cada processo podem variar significativamente o tamanho das cápsulas formadas, geralmente resulta em partículas de tamanhos nano e microscópicos (BISCAIA, 2019).

A nanoencapsulação envolve a criação de partículas com diâmetros que variam, cientificamente, entre 1 e 100 nm, enquanto na escala micro vão de 100 a 1000 nm, pois nem todos os materiais que estão na escala nanométrica são definidos como nanotecnologia (Hupffer; Lazzaretti, 2019; Apolinário *et al.*, 2020; Shroff; Karolia; Dolez, 2022). No entanto, estruturas nano com núcleo e invólucro típica, resultam em tamanhos tamanho de partícula, geralmente, até a 500 nm. (Aschner, 2009; Rao; Geckeler, 2011; Daudt *et al.*, 2013; Hayles *et al.*, 2017)

Essa redução para a escala nanométrica resulta em um significativo aumento na relação entre a área da superfície e o volume das partículas. Como consequência, as nanocápsulas apresentam maior biodisponibilidade, redução na quantidade necessária de repelente, e minimização do impacto no meio ambiente e na saúde humana (Martins *et al.*, 2017).

Apesar dessas vantagens, é importante considerar que, embora as nanocápsulas tenham a capacidade de penetrar profundamente nos poros do tecido, não possuem afinidade direta com as fibras. Isso requer a introdução de um ligante específico para promover essa ligação, atuando como um modificador de superfície para melhor aderência das nanocápsulas às fibras têxteis (Kala *et al.*, 2019). Esse processo garante a estabilidade das partículas no tecido e evita sua remoção durante as lavagens sucessivas, conferindo maior atividade e durabilidade ao tratamento, além de permitir maior atividade (Mohamed *et al.*, 2023).

Existem várias técnicas disponíveis para a nanoencapsulação e a seleção do método apropriado está ligada à finalidade da aplicação, ao tamanho desejado das partículas, ao mecanismo de liberação pretendido, às características físico-químicas tanto do material do núcleo quanto do material da cápsula, toxicidade, escala de produção e fator econômico (Martins *et al.*, 2017; Costa, 2020; Valle *et al.*, 2021).

As metodologias de encapsulamento são agrupadas em três categorias principais (Bratovic; Suljagic, 2019). O primeiro grupo abrange os processos físicos, que se baseiam na manipulação física para encapsular materiais. Isso inclui métodos como secagem por pulverização, revestimento e extrusão (Silva *et al.*, 2022).

O segundo grupo é composto por processos físico-químicos, que incluem a coacervação simples e complexa, em que polímeros são usados para encapsular materiais, a gelificação iônica, que é baseada na interação de um polímero catiônico ou aniônico com uma molécula de carga oposta, o aprisionamento em lipossomas, emulsificação e evaporação do solvente, nanoprecipitação, encapsulação por fluido supercrítico etc. (Ayyaril *et al.*, 2023). Essas técnicas exploram as interações entre substâncias ativas e componentes químicos para encapsulá-las de forma eficaz (Ozkan *et al.*, 2019; Barroso *et al.*, 2021).

Por fim, o terceiro grupo compreende processos químicos, nos quais ocorrem reações químicas para formar as cápsulas. Entre essas técnicas, destacam-se a polimerização interfacial, onde ocorre uma reação entre materiais na interface; a inclusão molecular, que envolve a formação de complexos entre moléculas; a polimerização em miniemulsão, em que ocorre simultaneamente a produção do polímero e a encapsulação (Ozkan *et al.*, 2019; Barroso *et al.*, 2021).

Esses métodos oferecem flexibilidade na produção de nanoencapsulados, permitindo que os pesquisadores ajustem as técnicas de acordo com as necessidades

específicas de suas aplicações, uma vez que a viscosidade das soluções, taxa de fluxo, diâmetro do bocal ou orifício, velocidade de agitação e assim por diante podem variar o tamanho das cápsulas formadas (Teodoro, 2016).

O Quadro 4 apresenta vantagens e desvantagens dos métodos físicos, físico-químicos e químicos comumente utilizados para encapsulação de óleo vegetal, de acordo com Silva *et al.* (2022).

Quadro 4 - Vantagens e desvantagens dos métodos mais comuns para encapsulação de óleo vegetal

Método	Vantagens	Desvantagens
Secagem por Pulverização	<ul style="list-style-type: none"> - Equipamentos industriais amplamente disponíveis; - Potencial para produção em grande escala com equipamentos simples; - Eficiência elevada e custos de processo reduzidos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Limitações na escolha de materiais de revestimento com boa solubilidade em água; - Transporte de uma baixa porcentagem de moléculas ativas.
Liofilização	<ul style="list-style-type: none"> - Excelente reidratação do produto em pó; - Alta qualidade do produto final. 	<ul style="list-style-type: none"> - Processo demorado com baixa temperatura e alto vácuo; - Custos operacionais elevados.
Coacervação Complexa	<ul style="list-style-type: none"> - Condições de reação moderadas durante o processamento; - Custos de equipamento menores; - Maior capacidade de carga. 	<ul style="list-style-type: none"> - Otimização demorada e trabalhosa; - Parâmetros operacionais podem afetar diversas propriedades físicas e químicas.
Gelificação Iônica	<ul style="list-style-type: none"> - Custos relativamente baixos; - Não exige equipamento especializado, altas temperaturas ou solventes orgânicos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Necessidade de um banho gelificante e formulação complexa; - Processo demorado com baixa reprodutibilidade em pequena escala.
Deposição Eletrostática Camada por Camada	<ul style="list-style-type: none"> - Proteção das gotículas de emulsão contra oxidação ou agregação lipídica; - Controle ou liberação de materiais ativos; - Aumento da estabilidade contra agentes ambientais devido a camadas interfaciais mais espessas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Restrições à ampla comercialização devido aos custos elevados associados ao controle preciso da composição do sistema.

Fonte: Adaptado de Silva *et al.* (2022)

Em relação ao óleo de neem encapsulado, a literatura registra estudos envolvendo aplicações na agricultura utilizando polímeros como zeína (Pascoli *et al.* (2019) e quitosana/TPP e quitosana/glutaraldeído (Paulraj *et al.*, 2017). Embora o glutaldeído tenha se mostrado mais eficaz como reticulador, este tem sido evitado pela toxicidade e possíveis prejuízos à saúde. Já o tripolifosfato de sódio (TPP) é apresentado na literatura como um reticulante não tóxico (Luvezuti, 2010; Lima, 2013).

Devido as propriedades lipofílicas do óleo de semente de neem, o que significa que é solúvel em solventes orgânicos, mas tem pouca afinidade com a água, algumas técnicas de encapsulamento não podem ser utilizadas (Martins *et al.*, 2017). Entretanto, a combinação de emulsificação com gelificação iônica pode ser uma abordagem interessante nesse caso, pois essa estratégia pode aproveitar as propriedades de ambos os métodos para melhorar a eficiência da encapsulação.

2.7.1 Emulsificação com gelificação iônica

A emulsificação é uma técnica que viabiliza a dispersão de óleo em uma fase aquosa, criando pequenas gotículas de óleo (Assis *et al.*, 2012). Isso é alcançado através da aplicação de energia, geralmente na forma de energia mecânica, que visa reduzir o tamanho médio das gotículas dos dois líquidos não miscíveis, promovendo assim a homogeneização (Holkem *et al.*, 2015).

Dado que a agitação mecânica aplicada não impede a reassociação das partículas, tornando os sistemas emulsionantes termodinamicamente instáveis e suscetíveis à separação das fases aquosa e orgânica, a formação de nanoemulsões pode ser alcançada através da criação de uma pré-emulsão (Holkem *et al.*, 2015; Teodoro, 2016). Essa pré-emulsão, contendo surfactantes que reduzem a tensão superficial e aumentam a estabilidade das emulsões, é posteriormente homogeneizada usando um dispositivo ultrassônico, como um processador com ponta de titânio. Por meio do fenômeno de cavitação e das implosões das bolhas induzidas pelas ondas sonoras do dispositivo ultrassônico, ocorre uma liberação local significativa de energia que é utilizada para reduzir o tamanho das gotículas da pré-emulsão (Carvalho, 2021).

De acordo com Carvalho (2021), o método de nanoemulsificação é indicado para a produção de nanoemulsões em pequena escala devido à limitação do alcance das ondas sonoras, que diminui com o aumento do volume de líquido. Este método é

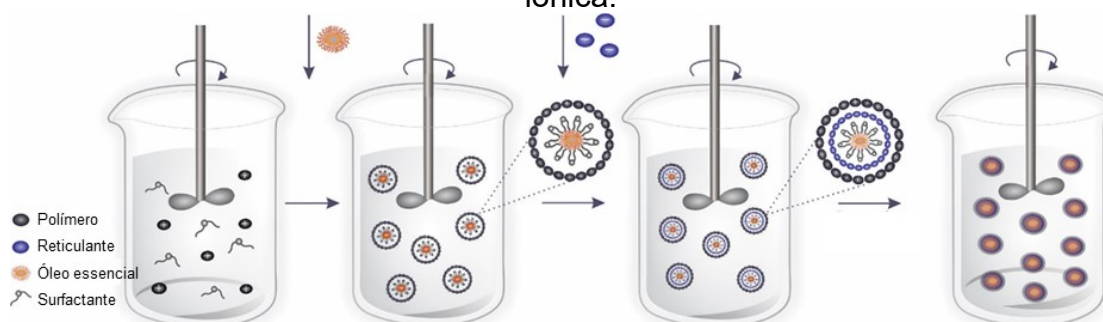
preferido devido à necessidade reduzida de tensoativos, menor consumo de energia e produção de nanoemulsões homogêneas. No entanto, apresenta desvantagens, como o aquecimento da amostra devido às ondas sonoras, possibilidade de contaminação por resíduos da sonda de titânio e falta de reprodutibilidade no tamanho das gotículas devido à sensibilidade às variações na altura da sonda no material.

Por outro lado, a gelificação iônica, ou ionotrópica, é um processo físico-químico que envolve a formação de estruturas gelatinosas, frequentemente esféricas e de tamanho nanométrico, mediante a interação entre as cargas opostas de um polímero e os contra-íons de um agente reticulante (Almeida, 2019; Alexandrino, 2020). A partir da interação entre as duas espécies ocorre a reticulação iônica, ocasionando a coagulação e gerando sistemas coloidais estáveis (Lima, 2013). Du *et al.* (2008) e Qi e Xu, (2004) prepararam partículas de quitosana de tamanhos médios entre 40 e 100 nm por este método.

Nessa abordagem, o composto ativo a ser encapsulado é previamente dissolvido, disperso ou emulsionado em uma solução polimérica aquosa, contendo surfactante. Em seguida, as cadeias poliméricas carregadas interagem eletrostaticamente com polieletrólitos de carga oposta (agente reticulante), que são introduzidos na solução polimérica, por meio de gotejamento a partir de uma seringa ou pipeta de calibre reduzido (Lima, 2013; Takihara *et al.*, 2017). Quando as gotículas dessa solução reticulante entram em contato com a solução polimérica, desencadeiam a formação de estruturas gelatinosas esféricas, dentro das quais o material ativo fica disperso na matriz polimérica, resultando na formação de partículas que incorporam o material do núcleo (Valle *et al.*, 2021; Silva *et al.*, 2022).

A Figura 7 mostra um diagrama esquemático da técnica de gelificação iônica.

Figura 7 - Diagrama esquemático da preparação das nanocápsulas via gelificação iônica.



Fonte: Adaptado de Valle *et al.* (2021)

As interações eletrostáticas desencadeiam a formação de géis insolúveis, pois o processo de endurecimento ocorre instantaneamente. Conforme Aranha (2015), ele tem início na superfície onde os íons divalentes reagem com as cadeias poliméricas carregadas negativamente. Isso resulta na formação de uma estrutura tridimensional rígida com alto teor de água. Além disso, os íons se difundem para o interior da partícula, promovendo a reticulação do exterior para o interior.

A combinação das técnicas de emulsificação e gelificação iônica é uma abordagem simples e eficaz para encapsular substâncias. Essa metodologia não requer a utilização de solventes orgânicos, não exige condições extremas de temperatura ou pH, é de custo relativamente baixo e pode ser aplicada em diversas áreas (Almeida, 2019; Karlsen, 2020; Silva *et al.*, 2022). Essa abordagem tem se mostrado bem-sucedida ao utilizar polissacarídeos naturais, como o alginato de sódio e a quitosana, para criar produtos biocompatíveis e biodegradáveis (Silva *et al.*, 2022). Esses materiais são preferidos devido à sua baixa reatividade com os agentes ativos, ausência de toxicidade, biodegradabilidade e facilidade de dissolução em meios suaves, como água ou soluções ácidas diluídas, que permitem a rápida formação de géis (Matté; Rosa, 2013; Valle *et al.*, 2021). No entanto, a eficácia desse método está intrinsecamente ligada às condições específicas de processo, que incluem a seleção adequada de polímeros e surfactantes, a concentração dos ingredientes, o pH e a temperatura (Teodoro, 2016; Valle *et al.*, 2021).

2.7.2 Quitosana

A quitosana é um polissacarídeo linear com caráter catiônico, derivado da desacetilação parcial da quitina. Este polímero pode ser obtido a partir de fontes como o exoesqueleto de crustáceos, como camarões e caranguejos, bem como a partir de micelas de fungos (Cacuro, 2019; Shirvan; Shakeri; Bashari, 2019; Valle *et al.*, 2021).

Reconhecida por sua biodegradabilidade, atoxicidade, biocompatibilidade e bioatividade, a quitosana possui a notável capacidade de formar géis em meios com pH abaixo de 9. Sua alta solubilidade e carga positiva em soluções ácidas tornam o ácido acético o solvente mais empregado para a formação de acetato de quitosana, seguido de ácidos fórmico e láctico (Lima, 2013; Cacuro, 2019; Shirvan; Shakeri; Bashari, 2019; Elamri *et al.*, 2022).

Entretanto, é importante destacar que esse biopolímero é insolúvel em soluções aquosas neutras ou alcalinas e nos solventes orgânicos mais comuns, devido às suas fortes ligações de hidrogênio (Elamri *et al.*, 2022). Além disso, a solubilidade da quitosana está diretamente relacionada à quantidade de grupos amino protonados (NH^{3+}) presentes na cadeia polimérica após a dissolução em meio ácido, ou seja, à medida que o grau de protonação aumenta progressivamente, também aumenta a solubilização da quitosana (Hamedi *et al.*, 2018; (Xavier, 2023).

O estado protonado da quitosana favorece a interação eletrostática dos polímeros de quitosana com diversas superfícies carregadas negativamente, por exemplo, íons e o algodão, que possui um grupo aldeído em suas extremidades (—COH) (Oliveira, 2017; Alexandrino, 2020; Xavier, 2023). Quando se trata da interação entre a quitosana e as fibras celulósicas, predominam as interações intermoleculares, incluindo ligações de hidrogênio e forças de Van der Waals (Elamri *et al.*, 2022). Em meios aquosos, os grupos hidroxilas (—OH) da celulose podem ionizar, estabelecendo ligações iônicas com a quitosana, justificando uma de suas aplicações na indústria têxtil (Shirvan; Shakeri; Bashari, 2019).

A combinação da quitosana com o tripolifosfato de sódio (TPP), um reticulante poliânion não tóxico, desencadeia um processo de reticulação iônica no sistema. Isso ocorre devido à atração entre grupos fosfatos negativamente carregados (—PO_4^{3-}), que estão presentes na estrutura do TPP, e os grupos amino protonados da quitosana (—NH^{3+}). Essas interações possibilitam a formação de nanopartículas de quitosana-TPP, e a densidade de cargas na estrutura dessas partículas pode ser controlada com base no pH da solução (Weber, 2016; (Cunha, Alexandrinho E Assis, 2017; Alexandrino, 2020).

2.8 TECIDOS DE ALGODÃO

A fibra de algodão (CO) é predominantemente composta de celulose, um polímero natural formado por longas cadeias de moléculas de glicose unidas por ligações glicosídicas (Gonçalves *et al.*, 2017). A estrutura altamente ordenada da celulose confere ao algodão sua resistência e capacidade de absorção de água, propriedades que o tornam um material têxtil desejável para aplicação de acabamentos (Wakelyn *et al.*, 2006). Quando o tecido de algodão é tratado com nanocápsulas ou recobrimentos de quitosana contendo agentes ativos, como o óleo

de neem, podem ocorrer uma série de interações químicas e físicas que modificam suas propriedades superficiais e funcionais, amplificando as vantagens inerentes ao algodão. A quitosana, com suas propriedades antimicrobianas, se liga eficazmente às fibras de celulose do algodão, formando uma barreira que ajuda a prevenir o crescimento de microrganismos nocivos (Makhlouf; Abdelkhalik; Ameen, 2022). O óleo de neem, encapsulado em nanocápsulas, fornece uma liberação controlada de seus componentes ativos, conferindo ao tecido propriedades repelentes de insetos e antifúngicas (Prakash et al., 2022). Essa combinação de tratamentos torna o algodão ainda mais versátil e funcional, mantendo suas qualidades naturais de conforto e respirabilidade, enquanto adiciona benefícios protetores (Wakelyn *et al.*, 2006).

Sendo assim, a escolha do algodão como base para esses tratamentos é estratégica devido à sua estrutura química compatível. As fibras de celulose do algodão possuem grupos hidroxila que interagem bem com os grupos amina da quitosana, permitindo uma adesão forte e duradoura (Shirvan; Shakeri; Bashari, 2019). Essa compatibilidade química garante que os tratamentos permaneçam eficazes mesmo após múltiplas lavagens.

2.9 CONSIDERAÇÕES SOBRE O ESTADO DA ARTE

O estado da arte aborda a relevância significativa na busca por soluções naturais e eficazes para repelir mosquitos, especialmente o *Aedes aegypti*, transmissor de doenças como a dengue, Zika e Chikungunya. O campo da encapsulação de repelentes naturais em têxteis para repelir mosquitos e outros insetos está experimentando um crescimento considerável. Avanços recentes em técnicas de encapsulação possibilitaram uma liberação mais controlada de agentes ativos, como o óleo de neem, ampliando assim a eficácia dos têxteis repelentes. Estudos demonstraram que têxteis tratados com agentes repelentes/inseticidas apresentam uma notável eficácia na prevenção de picadas de mosquitos, reduzindo, conseqüentemente, o risco de transmissão de doenças como a malária e a dengue.

No entanto, apesar dos avanços, ainda existem desafios a serem superados. A durabilidade do efeito repelente, em particular, permanece uma preocupação, com muitos produtos perdendo eficácia após várias lavagens. Além disso, questões ambientais relacionadas ao uso de certos materiais levantam preocupações sobre a segurança ecológica desses produtos. A crescente demanda por alternativas naturais

aos repelentes químicos abre caminho para a expansão do mercado de têxteis repelentes naturais, representando oportunidade para inovação e crescimento no setor.

As descobertas até o momento destacam o potencial do óleo de neem como agente larvicida, bem como as possibilidades do uso de alguns compostos em aplicações têxteis para repelir mosquitos e conferir propriedades antimicrobianas. Além disso a obtenção de cápsulas contendo óleos naturais também tem sido explorada com a aplicabilidade prática dessa tecnologia.

Entretanto, é necessário considerar questões como as condições de preparação dos têxteis acabados com o óleo, possíveis alterações físicas nos tecidos, a tendência da liberação do óleo e os impactos desses fatores simulando condições reais de uso também merece atenção. Dessa forma, o estudo atual visa contribuir no desenvolvimento de têxteis repelentes de mosquitos mais eficazes, sustentáveis e amplamente acessíveis.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS

Como substrato têxtil, utilizou-se dois tecidos de composição 100% algodão (CO) alvejado e cor branca (branco óptico).

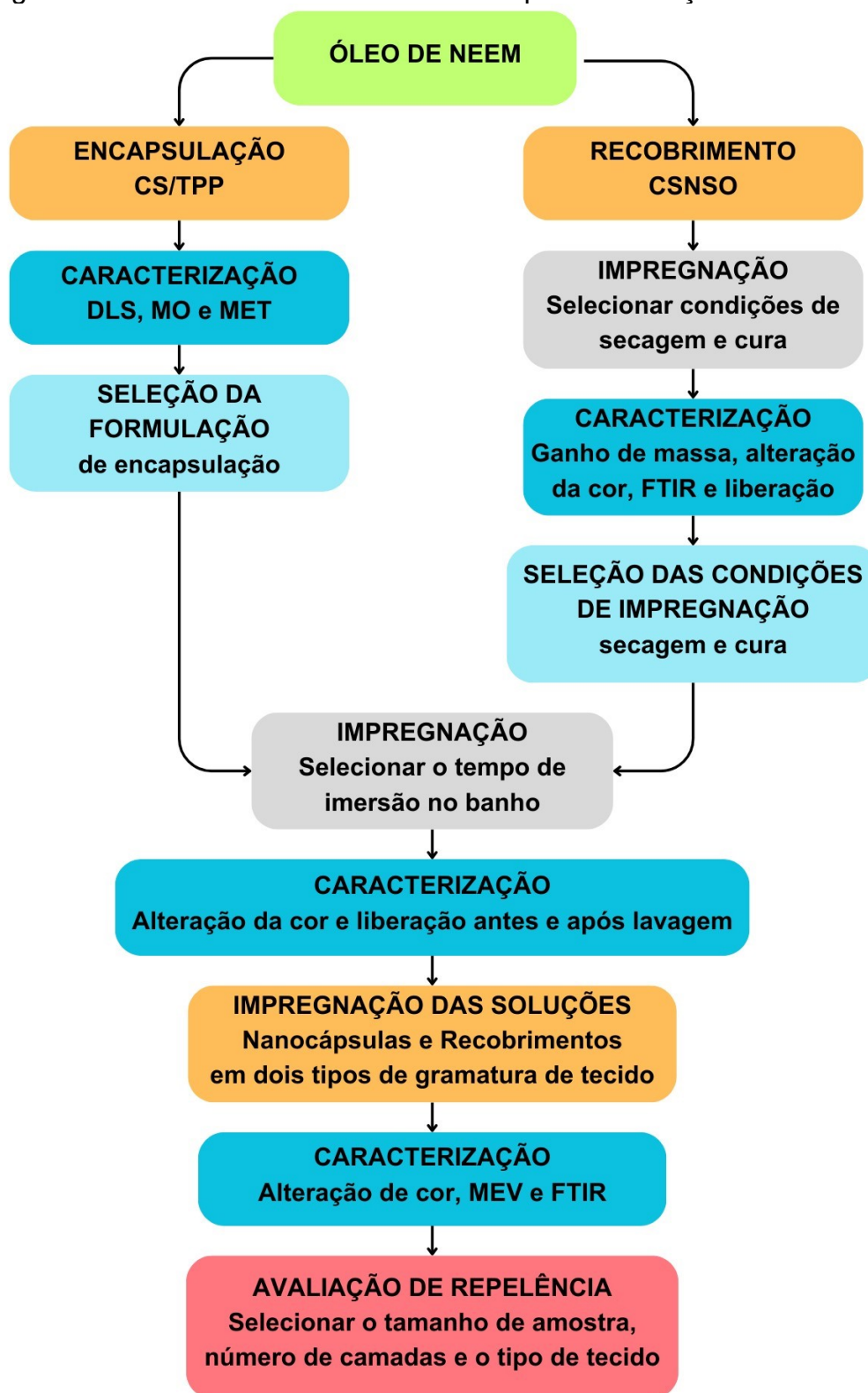
O biopolímero utilizado para o recobrimento e como material de parede para o preparo das nanocápsulas foi a quitosana de média viscosidade e grau de desacetilação entre 75-85 % (Sigma-Aldrich, EUA). Óleo de semente de neem prensado a frio, fornecido pela empresa Dalneem (Brasil), foi usado como agente repelente.

Outros reagentes incluíram o tripolifosfato de sódio (TPP) como agente complexante, o Tween 80 (Polissorbato, densidade entre 1,01 e 1,09 g/cm³, Êxodo Científica, Brasil) como estabilizante/surfactante e ácido acético glacial (PM 60,05, Vetec, Brasil) como solubilizante para a quitosana. Para a solução do banho de impregnação foram utilizados ácido cítrico anidro (PM 192,12, Neon) como agente ligante e fosfato de sódio monobásico anidro (PM 119,98, LAFAN Química Fina) como catalisador. Lauril éter sulfato de sódio (PM 288,38, Alphatec) foi utilizado nos ensaios de lavagens dos tecidos.

3.2 MÉTODOS

No fluxograma, Figura 8, são apresentadas as etapas realizadas na pesquisa.

Figura 8 - Resumo dos métodos utilizados para elaboração do trabalho



Fonte: Do autor

3.2.1 Curva de calibração espectrofotométrica do óleo de semente de neem

Para determinar o comprimento de onda de maior absorbância para o óleo de semente de neem prensado a frio, foi realizada uma varredura de uma solução de óleo em álcool isopropílico 1 µg/mL em espectrofotômetro UV-Visível (modelo UV-M51, Bel Engineering). A partir de uma solução de óleo em álcool isopropílico de 0,5 µg/mL, foram realizadas sete diluições em água resultando em soluções com concentrações entre 0,005 e 0,1 µg/mL. Posteriormente, todas as soluções, em triplicata, foram submetidas à análise de absorbância, utilizando o comprimento de onda característico previamente determinado na varredura espectrofotométrica. Os dados de absorbância obtidos foram então plotados em um gráfico em função da concentração para determinação da equação da reta e coeficiente de correlação.

3.2.2 Caracterização dos tecidos

Dois tecidos de composição 100% algodão (CO) alvejado e de cor branca (branco óptico) foram utilizados como substrato têxtil. Ambos foram caracterizados conforme as normas da ABNT para definição da gramatura, densidade do tecido e padronagem.

Conforme a norma ABNT NBR 10591:2008, a gramatura, que se refere ao peso do tecido por unidade de área, foi obtida a partir do corte de 5 amostras do tecido, cada uma com dimensões de 15 x 15 cm, retiradas na diagonal e acondicionadas para posterior pesagem. Utilizou-se uma balança de precisão para pesar cada uma das 5 amostras, e os pesos individuais em gramas (g) foram registrados. Por fim, a gramatura foi calculada usando a Equação 1 abaixo, com o resultado expresso em gramas por metro quadrado (g/m²):

$$\text{Gramatura (g/m}^2\text{)} = \frac{\text{massa média das amostras}}{\text{área da amostra}} \quad (1)$$

Para determinar a densidade dos tecidos, utilizando uma lupa conta-fios e uma agulha, e seguindo a norma ABNT NBR 10588:2015, contou-se o número de linhas e colunas por uma polegada, em 5 diferentes pontos dos tecidos, determinando o número de fios de urdume por polegada e o número de fios de trama por polegada. Em seguida, foi calculada a média da quantidade de fios de urdume por polegada e a

média de fios de trama por polegada. As médias foram somadas para obter a densidade do tecido, conforme a Equação 2 abaixo:

$$\text{Densidade do tecido (fios/polegada)} = \frac{\text{média de urdumes} + \text{média de tramas}}{\text{polegada}} \quad (2)$$

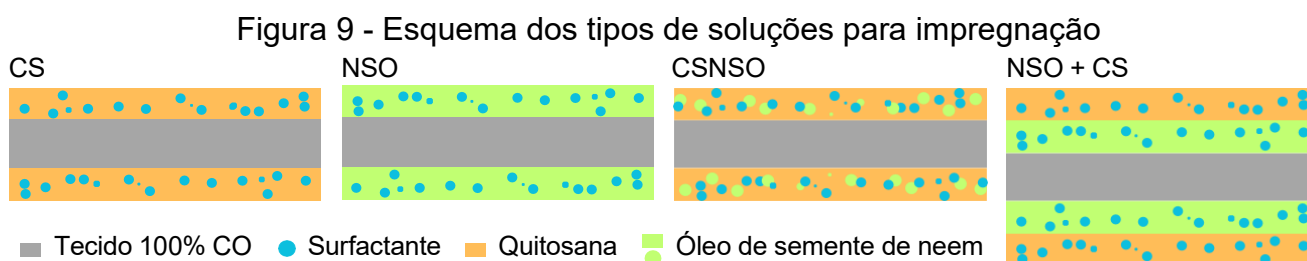
Já os tipos de ligamento dos tecidos, conhecido também como padronagem, foram definidos com base na norma ABNT NBR 12546:2017.

3.2.3 Preparação do tecido

Os tecidos foram desengomados e submetidos a uma lavagem a fim de retirar as impurezas que pudessem dificultar a funcionalização. O processo de lavagem ocorreu em temperatura ambiente (fria), utilizando 2 g/L de detergente neutro comercial e sem branqueador óptico. O procedimento incluiu dois enxágues e foi realizado em uma máquina doméstica *Front Load* (modelo Lava e Seca Electrolux Intuitive de 9 kg). A secagem subsequente ocorreu na mesma máquina a 45 °C, utilizando o ciclo normal.

3.2.4 Recobrimento de quitosana-neem em substratos têxteis

O recobrimento dos substratos foi realizado por meio de impregnação utilizando quatro tipos diferentes de tratamento, conforme esquematizado na Figura 9.



Fonte: Do autor

O tratamento CS se refere ao recobrimento do tecido com solução de quitosana a 1 % e surfactante (Tween 80). No tratamento NSO, o recobrimento contém óleo de semente de neem (NSO) e surfactante. Já os tratamentos CSNSO e NSO+CS contêm óleo, quitosana e surfactante. No CSNSO, uma única solução de impregnação contendo esses componentes é utilizada como recobrimento. Já o tratamento NSO +

CS possui duas etapas: primeiro, a solução de NSO é aplicada no tecido de algodão, seguida pela impregnação com a solução de CS 1 %.

A solução de NSO e Tween 80 foi preparada pela combinação desses na proporção em massa de 1:3 de óleo para surfactante, utilizando uma concentração de Tween 80 a 5 % (m/v) em água deionizada. A mistura foi agitada em temperatura ambiente por 30 min a 500 rpm.

A solução de quitosana (CS) 1 % (m/v) foi preparada dissolvendo quitosana em uma solução aquosa de ácido acético a 1 % (v/v) sob agitação magnética a 500 rpm e 25 °C. Após a dissolução por 30 min, 5 % (m/v) de Tween 80 foi adicionado à solução de quitosana, e a mistura foi agitada por 10 min adicionais.

Para a solução de quitosana-neem (CSNSO), o NSO foi adicionado à emulsão de quitosana com Tween 80 previamente preparada, na proporção em massa de 1:3 de óleo para surfactante, sob agitação por 2 min.

Inicialmente, o estudo para seleção das condições do processo de impregnação foi realizado somente para o tratamento CNSO, variando tempo de imersão no banho, temperatura e tempo de secagem e condição e tempo de cura. As amostras de tecido, previamente lavadas e cortadas, foram submersas em um banho constituído pela solução CSNSO, que continha 0,5 % (m/v) de fosfato de sódio monobásico como catalisador e 1 % (m/v) de ácido cítrico como agente de ligação (Yang *et al.*, 2013). Esse processo de submersão foi conduzido por tempos de 2, 30 ou 60 min seguindo uma relação de banho de 1:20, ou seja, 1 g de tecido para 20 mL de solução de banho.

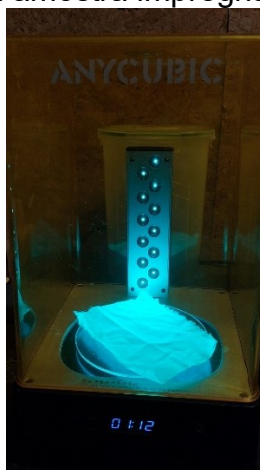
Em seguida, o processo de impregnação foi realizado utilizando um *Foulard* horizontal de laboratório (Mathis, modelo FVH-B-350/500), ajustando-o para um *pick-up* entre 90 e 100 %. Após a primeira passagem pelos rolos, os tecidos foram encharcados no banho e passados pelo *Foulard* novamente.

O percentual de banho retido pelo tecido (*pick-up*) foi determinado pesando o tecido antes e depois da impregnação através do *Foulard*, nos estados seco e úmido, respectivamente. O *pick-up* foi calculado utilizando a Equação 3:

$$\text{Pick-up (\%)} = \frac{\text{Massa úmida} - \text{Massa seca}}{\text{Massa seca}} \times 100 \quad (3)$$

Seguindo a técnica *pad-dry-cure*, após a passagem no Foulard, a secagem das amostras foi avaliada em temperatura ambiente por 12 h ou em estufa com circulação de ar a 80°C por 5 min. Os tempos de secagem em cada temperatura foram definidos como o tempo a partir do qual não havia mais variação de massa das amostras de tecido. Em relação à etapa de cura, foi avaliada a reticulação em estufa a 140°C por 2 min e a irradiação de luz UV por 3 min. Para esse processo, foi utilizada uma máquina de cura e limpeza (Anycubic, modelo Wash & Cure Machine 2.0) para irradiação de luz UV no comprimento de onda 405 nm. Esse equipamento possui plataforma rotacional 360 e base refletiva, conforme mostra a Figura 10, permitindo um alcance completo da luz UV em toda a amostra.

Figura 10 – Máquina de cura UV, em funcionamento, utilizada para irradiação da luz na amostra impregnada



Fonte: Do autor

A partir dos melhores parâmetros de tempo de imersão, secagem e cura, o processo foi repetido para as amostras CS, NSO e NSO+CS.

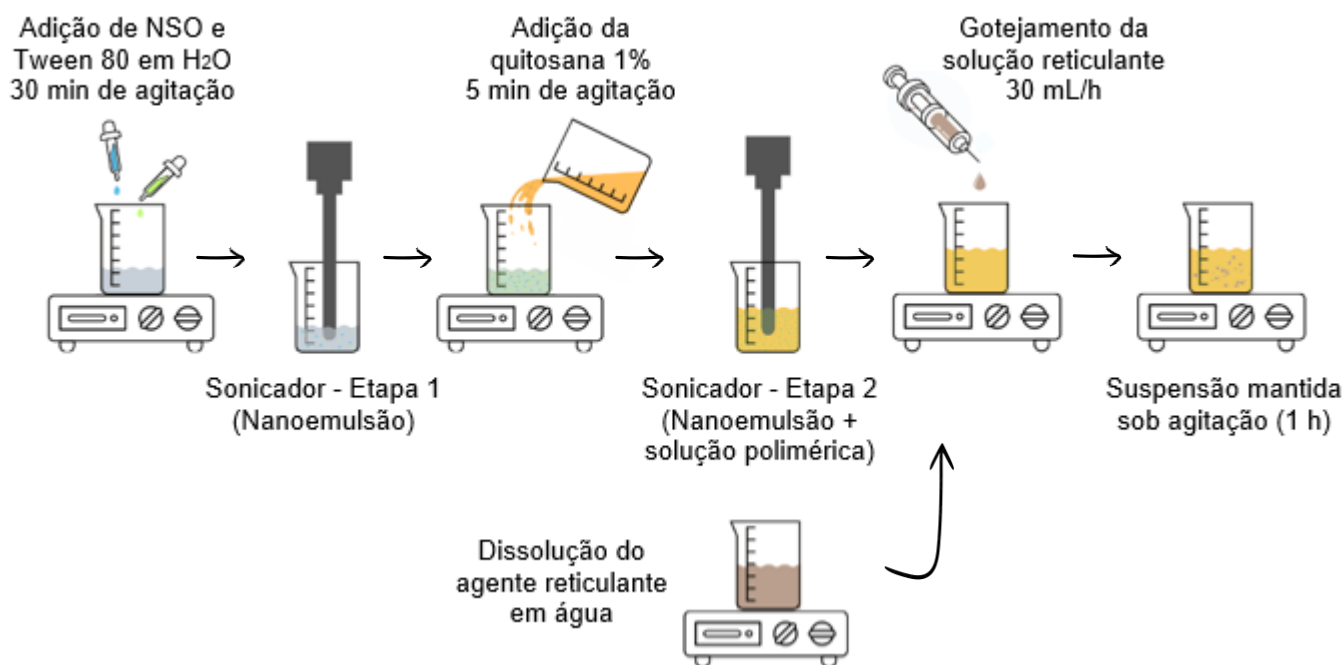
3.2.5 NPPs de quitosana-neem para aplicação em substratos têxteis

A seguir, são apresentados o método de preparo das nanocápsulas de quitosana carregadas com óleo de neem, as técnicas de caracterização utilizadas e a forma de aplicação delas nos substratos têxteis.

3.2.5.1 Preparo das nanocápsulas de quitosana-TPP com NSO

A Figura 11 apresenta o esquema de preparo das nanocápsulas de quitosana-TPP com NSO, via gelificação iônica com uso de sonificador nas etapas de homogeneização.

Figura 11 - Esquema do preparo das nanocápsulas



Fonte: Do autor

A nanoemulsão óleo/água foi preparada com base na metodologia de Sekar *et al.* (2015), com algumas modificações. A fase dispersa consistiu em 0,3 g de óleo de semente de neem (NSO) e Tween 80, em uma concentração de 1% (m/v) em relação à água deionizada, que foram misturados com 10 mL da fase contínua. Essa mistura foi realizada à temperatura ambiente por 30 min utilizando um agitador magnético a 250 rpm. Após esse período, a mistura foi submetida a um processo de homogeneização de alta energia com o auxílio de um processador ultrassônico de ponteira (US Solid, EUA), operando a 20 kHz e com potência máxima de 450 W em tempos de 9, 18 ou 27 min (Etapa 1 da Figura 11). A sonicação ocorreu no Laboratório de Transformação Avançada de Materiais (LTAM) da UFSC - Campus Blumenau, em banho de gelo para evitar o aquecimento da dispersão, com ciclos de 1 min ligado e

30 s desligado, mantendo uma amplitude fixa de 40 % e utilizando uma ponteira de 6 mm de diâmetro.

A solução de quitosana a 1 % (m/v) foi preparada dissolvendo 0,3 g de quitosana em 30 mL de uma solução aquosa de ácido acético 1 % (v/v). Essa solução foi preparada sob agitação magnética a 500 rpm, à temperatura ambiente, por um período de 3 h. Após a completa dissolução, a solução foi deixada em repouso em ambiente refrigerado por aproximadamente 12 h, com o objetivo de garantir sua estabilização e eliminar quaisquer bolhas de ar formadas durante o processo de agitação.

Após o preparo da nanoemulsão da Etapa 1, a solução de quitosana foi adicionada à nanoemulsão de forma gradual, vertendo sob agitação constante a 500 rpm. A agitação foi mantida durante todo o processo, garantindo a incorporação uniforme da solução polimérica na nanoemulsão. Após a completa adição da solução de quitosana, a mistura passou por uma fase adicional de homogeneização intensa utilizando o processador ultrassônico (Etapa 2 da Figura 11), em tempos de 18 ou 27 min, seguindo os mesmos parâmetros de ciclos e amplitude. Novamente, o processo ocorreu em banho de gelo.

A solução reticulante de TPP (tripolifosfato de sódio) foi preparada na concentração 0,75 % (m/v), mantendo a proporção 1:2 (m/m) em relação à quitosana, em 20 mL de água deionizada. A dissolução foi realizada por meio de um agitador magnético operando a 500 rpm por 5 min.

As nanocápsulas foram formadas adicionando-se a solução de TPP à mistura contendo quitosana, surfactante e óleo, de forma controlada e contínua, utilizando uma bomba de infusão (Fresenius Kabi, modelo Injectomat Agilia) com uma seringa de 10 mL a uma taxa de 30 mL/h. A ponta da seringa foi posicionada a uma distância de 15 cm acima da superfície do banho gelificante. Para evitar a aglomeração das esferas, a solução gelificante foi agitada suavemente por um agitador magnético durante todo o processo de gotejamento.

Após a conclusão do processo de gotejamento, a dispersão resultante foi submetida a agitação magnética adicional por 60 min, garantindo o endurecimento das cápsulas formadas. Posteriormente, a dispersão das nanocápsulas foi armazenada na geladeira para uso futuro.

Pela combinação dos tempos de processamento utilizados na Etapa 1 (preparação da nanoemulsão óleo/água) e Etapa 2 (incorporação da solução polimérica à nanoemulsão), foram obtidas 6 amostras distintas, conforme apresentado na Tabela 1.

Ensaio preliminares indicaram que a variação na Etapa 1 teve um impacto maior na formação e tamanho das cápsulas do que a variação na Etapa 2, levando ao estudo de uma condição de tempo adicional nessa etapa em particular. Todas as amostras foram produzidas em triplicata.

Tabela 1 - Delineamento experimental para análise de variação temporal no processamento das nanocápsulas de quitosana.

Amostra	Tempo de processamento (min)	
	Etapa 1	Etapa 2
A	9	18
B	9	27
C	18	18
D	18	27
E	27	18
F	27	27

Fonte: Do autor

3.2.5.2 Caracterização das nanocápsulas obtidas

3.2.5.2.1 Tamanho de partícula e estabilidade

O diâmetro hidrodinâmico médio (em intensidade) das partículas e o Índice de Polidispersão (PDI) foram determinados por espalhamento de luz dinâmica (DLS - *Dynamic Light Scattering*) utilizando o equipamento Litesizer DLS 500 (Anton Paar, Áustria) com seleção automática entre três ângulos de detecção 15°, 90° e 175°, um laser de 658 nm e faixa de medição de diâmetro de partículas entre 0,3 nm a 10 µm.

Para realizar as medições, 1,5 mL das dispersões de nanocápsulas obtidas, foram centrifugadas em microcentrífuga analógica (modelo DT-10K+-BI, marca Daiki) por 10 segundos a fim de separar os aglomerados de partículas. A análise foi conduzida a 25°C, com três execuções por amostra, a partir de uma alíquota das dispersões com diluição prévia de 1 gota em 3 mL de água deionizada.

A estabilidade das dispersões de nanopartículas também foi avaliada a partir da medição de tamanho de partícula por DLS. As medidas das amostras após 1 dia de preparo foram comparadas com suspensões armazenadas em ambiente refrigerado por 90, 180 e 210 dias. Utilizou-se o equipamento Zetasizer Nano S90 (Malvern Panalytical) com parâmetros de medição idênticos aos do equipamento anterior, exceto pela detecção fixa a 90° em relação ao laser de 633 nm.

3.2.5.2.2 Microscopia óptica (MO)

A morfologia das cápsulas de quitosana foi vista em microscópio óptico de luz transmitida, modelo AxioLab.A1, marca Zeiss. Amostras da dispersão de nanopartículas foram depositadas sobre uma lâmina de vidro e cobertas por uma lamínula para análise. As imagens foram obtidas utilizando lente objetiva de 50x, sendo a análise realizada no Laboratório de Microscopia e Análise Estrutural (LAMAE) do Campus Blumenau.

3.2.5.2.3 Microscopia Eletrônica de Transmissão (MET)

As características de forma e tamanho das cápsulas selecionadas foram avaliadas por meio de Microscopia Eletrônica de Transmissão (MET), utilizando o equipamento JEM-1011 TEM (100 kV). Estes ensaios foram conduzidos no Laboratório Central de Microscopia Eletrônica (LCME) da UFSC, a uma tensão de aceleração de 80 kV (AZEVEDO *et al.*, 2014; SANCHES *et al.*, 2020). Para a preparação das amostras, uma gota da dispersão de nanocápsulas foi aplicada sobre uma grade de cobre revestida com Formvar.

3.2.5.3 Impregnação das nanocápsulas

Para a aplicação das nanocápsulas nas amostras de tecido foi utilizado um banho constituído pela dispersão de nanocápsulas cuja massa de óleo encapsulado equivalêsse ao utilizado nos ensaios de recobrimento. Adicionalmente, o banho continha 0,5 % (m/v) de fosfato de sódio monobásico como catalisador e 1 % (m/v) ácido cítrico como agente ligante. As condições de temperatura e tipo de cura utilizadas seguiram as condições selecionadas no método do recobrimento, sendo avaliados tempos de imersão de 2, 30 e 60 min. A impregnação em *Foulard* foi realizada conforme detalhado no item 3.2.4.

3.2.6 Caracterização dos substratos funcionalizados

A seguir, são apresentadas as técnicas de caracterização que foram utilizadas para caracterizar os substratos funcionalizados por recobrimento e por esgotamento, seguido de impregnação de nanocápsulas.

3.2.6.1 Ganho de massa

Com o objetivo de avaliar a adesão do material impregnado nos tecidos, as amostras foram pesadas, antes de qualquer procedimento, em uma balança analítica para verificar sua massa inicial. Após a impregnação, secagem e cura, as amostras foram pesadas novamente. A equação utilizada para avaliar o percentual de ganho de massa está apresentada a seguir.

$$\text{Ganho de massa (\%)} = \frac{\text{Massa final} - \text{Massa inicial}}{\text{Massa inicial}} \times 100 \quad (4)$$

3.2.6.2 Análise morfológica dos tecidos

A morfologia da superfície das amostras de tecido acabado foi analisada por microscopia eletrônica de varredura (MEV), comparando com amostras não acabadas. A análise foi realizada usando o equipamento JEOL JSM-6390LV (8 kV), no Laboratório Central de Microscopia Eletrônica (LCME) da UFSC. O tecido com dimensões de 1 cm² foi colado sobre a tira de carbono. As amostras foram recobertas com ouro antes das análises para garantir a condutividade.

3.2.6.3 Análise de Transformada de Fourier por Infravermelho (FTIR)

Para confirmar as ligações entre os acabamentos e a fibra dos tecidos, foram feitas análises por espectrofotômetro de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) em modo de refletância total atenuada (ATR). Os ensaios de FTIR-ATR foram executados no Laboratório de Análise Térmica e Espectroscopia (LTE) da UFSC - Campus Blumenau, utilizando o equipamento Cary 660 FTIR (Agilent Technologies, EUA). Os comprimentos de onda utilizados na análise foram de 4000 a 450 cm⁻¹, com 32 varreduras e resolução de 4 cm⁻¹. Amostras sem e com acabamento tiveram os espectros de FTIR-ATR comparados, a fim de identificar possíveis alterações ocasionadas pelas variações das condições de impregnação.

3.2.6.4 Colorimetria

Os parâmetros colorimétricos e o grau de branco (branco Berger) do tecido de algodão após as impregnações foram avaliados utilizando o espectrofotômetro de reflectância Datacolor 500® no Laboratório de Integrado Têxtil (LINTEX), do Departamento de Engenharia Têxtil da UFSC, Campus Blumenau. A análise foi realizada no espaço de cores CIELab, utilizando o iluminante D65 e um ângulo de observador de 10° com uma abertura de 6,6 mm.

No sistema CIELab, L^* representa a luminosidade da cor ($L^* = 0$ para preto e $L^* = 100$ para branco), a^* é o eixo verde (-)/vermelho (+) e b^* é o eixo azul (-)/amarelo (+). A diferença total de cor (ΔE), calculada pela Equação 5, foi utilizada para comparar os tecidos não tratados (controle) com os tecidos tratados com recobrimentos CS, NSO, NSO-CS e CSNSO e as nanocápsulas NPP, onde ΔL^* , Δa^* e Δb^* são as diferenças entre os valores de L^* , a^* e b^* respectivamente, do tecido de algodão antes e após o tratamento.

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \quad (5)$$

3.2.7 Cinética de liberação do NSO em água

Para monitorar a liberação do NSO ao longo do tempo e obter informações sobre sua cinética de liberação em meio aquoso, foram preparadas amostras dos tecidos tratados com um tamanho de 8 cm². Em triplicata, essas amostras foram colocadas em um recipiente contendo 20 mL de água deionizada. O sistema foi mantido a uma temperatura constante de 25°C e submetido a agitação a 150 rpm em uma incubadora *shaker* do modelo NL-343-01 da marca New Lab. O ensaio foi realizado no Laboratório de Meio Ambiente (LABMAM) do Departamento de Engenharia Têxtil da UFSC, Campus Blumenau.

Em intervalos de tempo pré-determinados, alíquotas de 3 mL da solução foram retiradas da amostra e analisadas por espectrofotômetro UV-Vis (modelo AJX-1900, Micronal), utilizando uma cubeta de quartzo, no comprimento de onda de 220 nm. A absorbância obtida foi utilizada para calcular a concentração de óleo liberado na água, com base na curva de calibração do óleo previamente obtida. Após cada medição, as alíquotas foram devolvidas à solução original para garantir que o volume do sistema não sofresse alterações.

Adicionalmente, a fim de avaliar a influência do tempo de imersão no banho de impregnação na resistência da funcionalização, conduziu-se uma análise da liberação e retenção do agente ativo após a lavagem do tecido tratado, baseado em Kamari *et al.* (2021). Este processo foi quantificado por meio de ensaios de liberação *in vitro*, utilizando novamente a espectrofotometria UV-Vis.

3.2.8 Lavagem dos tecidos

A norma ABNT NBR ISSO 105-C06:2010 foi adaptada para a avaliação da perda de funcionalidade decorrente da ação de dessorção e/ou abrasão em um ensaio que simula uma lavagem doméstica. As adaptações feitas na norma foram: a substituição do sabão padrão pelo lauril éter sulfato de sódio, devido à indisponibilidade do sabão padrão no laboratório durante o estudo, e a não utilização do tecido testemunha, já que o objetivo não era avaliar a solidez da cor, que é o foco principal da norma original.

Os ensaios de resistência à lavagem foram conduzidos no Laboratório de Beneficiamento (LABENE) da UFSC, campus Blumenau, empregando o equipamento de tingimento por canecos HT-IR DYER, modelo TC-2200 da marca Texcontrol, indicado para testes de resistência à lavagem.

Inicialmente, uma solução detergente foi preparada dissolvendo 4 g/L de lauril éter sulfato de sódio, um detergente em pó aniônico, com o auxílio de um agitador de pás a 500 rpm por 5 min. Posteriormente, 150 mL da solução detergente foi adicionado a cada recipiente de aço inoxidável com capacidade de 550 mL. Dez esferas de aço com 6 mm de diâmetro foram então colocadas em cada recipiente, seguidas pela introdução dos corpos de prova (tecido de algodão funcionalizado, medindo 10 x 5 cm).

Os recipientes foram posicionados na máquina e um ciclo de 30 min de rotação teve início a uma temperatura de 30 ± 2 °C. Após a conclusão do ciclo, as amostras foram enxaguadas duas vezes em béqueres, utilizando 100 mL de água deionizada, sendo agitadas manualmente com um bastão de vidro por 1 minuto. O excesso de água foi removido por meio de pressão manual seguida pelo uso de papel toalha para absorção da água. Os corpos de prova foram secos à temperatura ambiente.

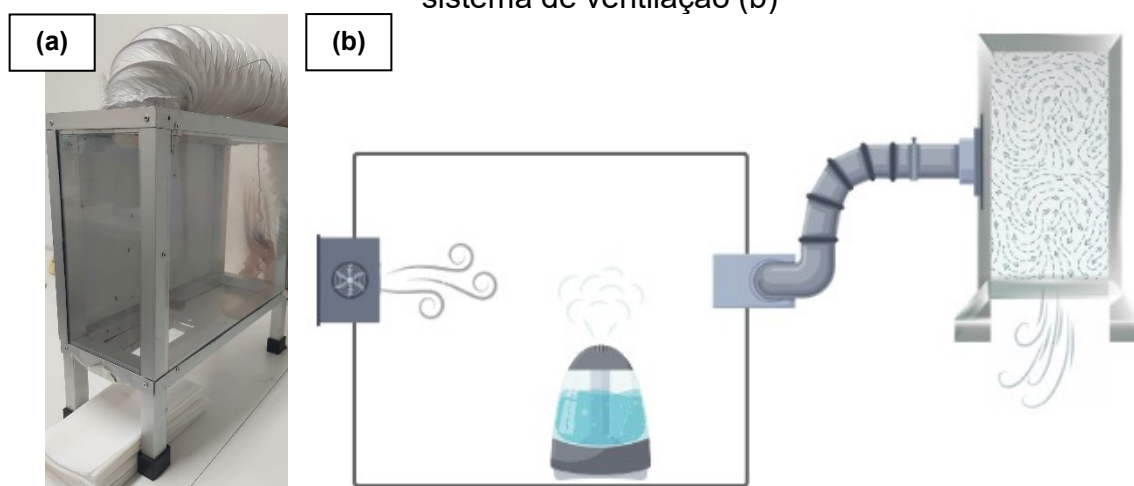
3.2.9 Avaliação de repelência *in vivo*

Os ensaios de avaliação de repelência *in vivo* foram realizados no Laboratório de Inovação Tecnológica e Empreendedorismo em Controle de Vetores (LINTEC) do Departamento de Parasitologia na Universidade Federal de Minas Gerais, em amostras acabadas (nanocápsulas e recobrimento).

Foram utilizadas caixas de repelência BioGents Cages (BG-Cage), de acordo com Obermayr, Rose e Geier (2010), sendo um método adequado para a avaliação de repelência de materiais têxteis tratados (BIOGENTS, 2024).

A BG-Cage consiste em uma caixa com um volume aproximado de 0,027 m³ (41 x 41 x 16 cm), com uma parede lateral feita de alumínio, enquanto a outra lateral e a parede frontal são feitas em acrílico transparente. O piso da gaiola é feito de uma chapa metálica e a parte do fundo é coberta por um tecido confeccionado em poliamida para permitir a liberação dos mosquitos. A chapa metálica que compõe o piso possui uma janela de teste de 56 cm² (14,8 x 3,8 cm), cortada no centro da borda frontal, conforme Figura 12a.

Figura 12 - Caixa de repelência BioGents Cage (a) e esquema da estrutura do sistema de ventilação (b)



Fonte: Do autor

Antes do início dos testes, o sistema de fluxo de ar, apresentado na Figura 12b, foi ligado durante 3 min, com o intuito de realizar uma renovação do ar dentro das caixas de teste. Em cada teste foram utilizadas 35 fêmeas de *Aedes aegypti*. A utilização de fêmeas no ensaio de repelência é pelo fato de que são as fêmeas que se alimentam de sangue para obter os nutrientes necessário para o desenvolvimento

dos seus ovos. Como a transmissão do vírus da dengue ocorre através das picadas dessas fêmeas infectadas, os ensaios de repelência são conduzidos utilizando-se fêmeas de mosquitos para simular as condições reais de exposição.

Sendo assim, as 35 fêmeas foram inseridas na BG-Cage 5 min antes do início dos testes para aclimação dos insetos. Após esse período, posicionou-se a parte interna do antebraço abaixo da janela de testes, conforme Figura 13. A presença de uma tela evitou o contato direto dos mosquitos com o voluntário. No antebraço exposto à caixa, foram colocadas as amostras de tecido funcionalizadas com as diferentes soluções de acabamento e amostra controle (sem tratamento). A exposição do braço teve duração de 2 min, período este em que foi observada a quantidade de mosquitos que se aproximaram da janela de teste. Após finalizar o teste, o sistema de ventilação de ar foi acionado conectado à gaiola por 3 min, para remover quaisquer odores remanescentes. Para cada tratamento e para a amostra controle, foram realizadas 5 repetições. A eficácia dos tratamentos foi determinada comparando o número de aproximações/tentativas de picadas no braço associado à amostra controle e no braço com a amostra tratada, de acordo com a Equação 6:

$$\text{Proteção (\%)} = \frac{\text{Controle} - \text{Tratamento}}{\text{Controle}} \times 100 \quad (6)$$

Figura 13 - Voluntário com o antebraço sob a parte inferior da caixa de repelência, realizando o experimento



Fonte: Do autor

3.2.10 Análises estatísticas

A análise de variância (ANOVA) foi conduzida com um nível de confiança de 95% ($p \leq 0,05$) para comparar os diferentes conjuntos. As diferenças entre os conjuntos analisados foram identificadas através da aplicação do teste de Tukey para ANOVA, com o objetivo de determinar a significância estatística entre as comparações realizadas. A análise estatística dos dados foi realizada utilizando o software Statistica 12 (Stat Soft Inc., EUA).

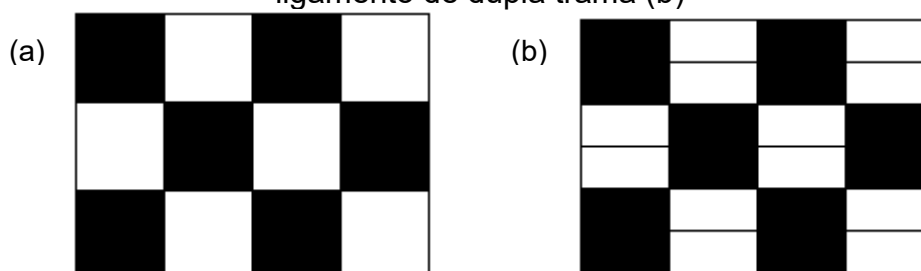
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta sessão são apresentados os resultados obtidos dos ensaios relacionados à caracterização dos tecidos, e do óleo de semente de neem, através da construção da curva de calibração, aos efeitos das condições de secagem e cura nos recobrimentos, às nanocápsulas formadas a partir de diferentes tempos de sonicação, além da atividade repelente do substrato de algodão revestido com as nanocápsulas de quitosana-neem, quitosana e/ou óleo de neem.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS TECIDOS

Utilizando as normas ABNT NBR 10591, ABNT NBR 10588 e ABNT NBR 12546, os dois tecidos foram caracterizados em relação as suas gramaturas, densidades e padronagens. O primeiro tecido, T1, possui gramatura de 123 g/m², 147 fios por polegada e ligamento simples. Já o segundo tecido, T2, apresenta gramatura de 143 g/m², 154 fios por polegada e ligamento de tela ampliada em trama, também conhecido como ligamento de dupla trama, determinado pelas mesmas normas e apresentados na Figura 14.

Figura 14 – Diagramas dos tecimentos tipo tela com ligamento simples (a) e ligamento de dupla trama (b)



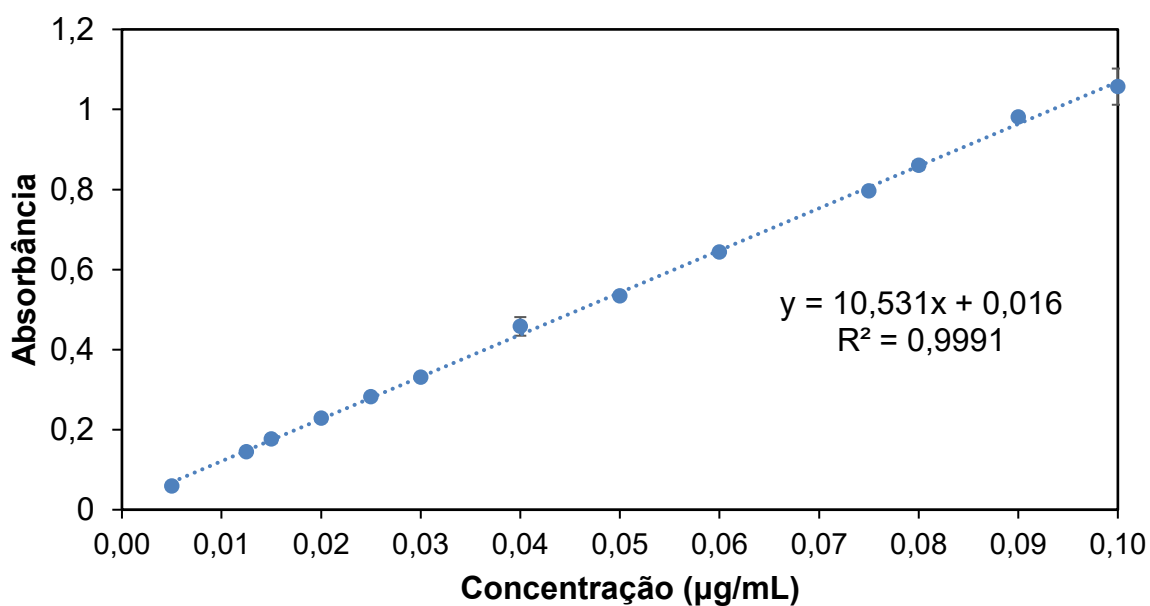
Fonte: Do autor

4.2 VARREDURA ESPECTROFOTOMÉTRICA E CURVA DE CALIBRAÇÃO DO ÓLEO DE SEMENTE DE NEEM

O procedimento de varredura espectrofotométrica do óleo de semente de neem, indicou o comprimento de onda de maior absorbância ($\lambda_{\text{máx}}$) como sendo 220 nm, compatível com o obtido por Kamlapurkar *et al.* (2019). Esse comprimento de onda corresponde ao pico da azadiractina, o componente de maior interesse por ser responsável pela maior parte da atividade repelente do óleo de semente de neem (RIBEIRO *et al.*, 2006; DEVI; MAJI, 2009 e 2011; PATRÍCIO, 2018; DEEPA; GURURAJ; PADMA, 2022).

A partir das medidas de absorbância das diferentes concentrações de óleo de semente de neem dissolvido em álcool isopropílico e diluído em água, foi obtida a curva de calibração, apresentada na Figura 15. Observou-se a relação linear entre a absorbância e a concentração das soluções contendo o óleo de neem, com um valor de coeficiente de correlação (R^2) igual a 0,9991, indicando o bom ajuste do modelo linear aos dados de absorbância.

Figura 15 - Curva de calibração para o NSO no comprimento de onda 220 nm



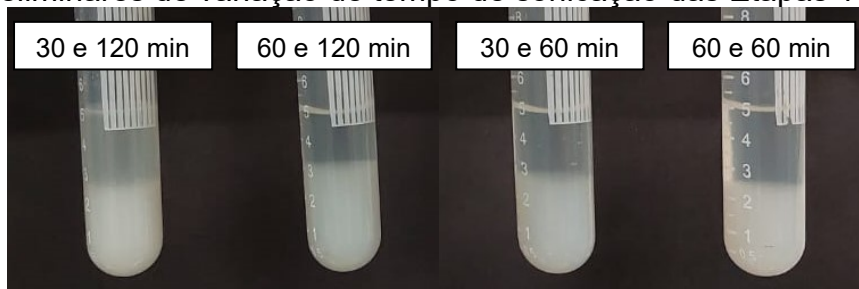
Fonte: Do autor

4.3 OBTENÇÃO DAS NANOCÁPSULAS DE QUITOSANA-NEEM/TPP

4.3.1 Influência do tempo de sonicação nas nanocápsulas de quitosana-neem/TPP e estabilidade das suspensões

Em testes preliminares, foram avaliados tempos de sonicação de 30 e 60 min para a primeira etapa de processamento (preparo da nanoemulsão) e 60 e 120 min para a segunda etapa (combinação da solução polimérica à nanoemulsão). Entretanto, após deixar as dispersões em repouso por 1 h, percebeu-se um início de separação de fases. Na Figura 16 são apresentadas fotografias das dispersões após 12 h de repouso, onde é possível observar a formação dos precipitados em todas as condições. Além disso, as análises de DLS apresentaram diâmetros hidrodinâmicos com alta variação de intensidade e índices de polidispersão (PDIs) elevados, ultrapassando os limites de medição do equipamento, o que não é adequado para a aplicação estudada.

Figura 16 - Separação de fases observada, após 12h de repouso, nos testes preliminares de variação de tempo de sonicação das Etapas 1 e 2



Fonte: Do autor

Ao reduzir os tempos de sonicação, observou-se uma melhora na estabilidade e assim seguiu-se conforme o delineamento experimental apresentado na Tabela 1, com tempos variando de 9 a 27 min na Etapa 1 e de 18 a 27 min na Etapa 2. As dispersões obtidas apresentaram uma coloração branco-amarelado e leitosa, mas nem todas foram visualmente homogêneas, algumas amostras apresentaram partículas ou aglomerados visíveis a olho nu.

A Tabela 2 apresenta os resultados de tamanho médio e PDI para as dispersões obtidas a partir dos diferentes tempos de sonicação.

Tabela 2 - Índice de polidispersão e tamanho médio das nanocápsulas de quitosana e óleo de neem

Amostra	Tempo (min)		Tamanho médio (nm)	Índice de polidispersão (PDI)
	Etapa 1	Etapa 2		
A	9	18	158 ± 17 ^a	0,215 ± 0,041 ^a
B	9	27	169 ± 10 ^a	0,242 ± 0,009 ^a
C	18	18	398 ± 231 ^a	0,226 ± 0,082 ^a
D	18	27	352 ± 339 ^a	0,250 ± 0,029 ^a
E	27	18	179 ± 38 ^a	0,217 ± 0,089 ^a
F	27	27	583 ± 393 ^a	0,274 ± 0,012 ^a

Letras minúsculas iguais na mesma coluna indicam que não houve diferença significativa ($p > 0,05$) de acordo com o Teste de Tukey.

Fonte: Do autor

O tamanho médio das partículas e o PDI são parâmetros que desempenham um papel importante na avaliação da qualidade, estabilidade, uniformidade e dispersão das nanopartículas. Além disso, essas características exercem influência direta na distribuição das partículas no banho de impregnação e entrada das mesmas nos poros do tecido (Kala *et al.*, 2019). O tamanho médio das partículas variou entre 158 ± 17 e 583 ± 393 nm. De acordo com Daudt *et al.* (2013), valores inferiores a 300 nm são característicos de submicrométricos, enquanto aqueles acima dessa faixa são classificados como microcápsulas. Assim, entende-se que os resultados obtidos por meio da técnica DLS, para amostras A e B, estão alinhadas com a escala nano para cápsulas poliméricas analisadas.

O PDI está relacionado à uniformidade no tamanho das nanopartículas na amostra e varia numa escala de 0 a 1, onde o valor 0 representa um material altamente homogêneo, também conhecido como monodisperso, e o valor 1 sugere uma alta heterogeneidade, caracterizando uma amostra polidispersa (Kumar; Dixit, 2017). Os valores obtidos para os materiais foram inferiores a 0,3 (Kumar; Dixit, 2017), indicando uma polidispersividade moderada nas dispersões (Malvern Panalytical, 2017).

Apesar das discrepâncias entre as médias dos tamanhos, a análise de variância ANOVA, com 95% de confiança para comparação entre os tipos de amostras, indicou que não existe diferença significativa entre os tempos de processamento estudados. Sendo assim, seguiu-se a análise com base na menor variação de resultados, entre as repetições, e aspectos visuais.

Embora a formulação A tenha resultado em um menor tamanho de partículas e um baixo PDI, uma das repetições apresentou aglomerados e cápsulas visíveis a olho nu. Já a formulação E, teve maior variação entre as repetições e apresentou aglomerados e cápsulas visíveis em duas delas. Nas formulações C, D e F, houve a formação de aglomerados e cápsulas visíveis nas três repetições. Em contraste, a amostra B demonstrou uma maior reprodutibilidade em seus resultados, e não foi observada a presença de aglomerados visíveis a olho nu no período de análise. Dado que o estudo envolve materiais de origem natural na produção dessas cápsulas, sujeitos a possíveis interferências das condições ambientais, a menor variação entre as repetições, mesmo quando produzidas em dias distintos, emerge como a escolha mais adequada para dar continuidade ao trabalho.

No entanto, é importante ressaltar que os erros associados nos tamanhos das partículas podem estar relacionados à influência da posição da ponteira ultrassônica (Mujumdar; Kumar; Pandit, 1997). Portanto, é importante manter fatores geométricos, como a altura e o diâmetro do recipiente onde as soluções são preparadas, bem como a posição precisa da ponteira dentro do recipiente, de forma consistente e controlada.

Outro aspecto relevante a ser observado é que estudos anteriores demonstraram uma relação inversa entre o tamanho das partículas e o tempo de sonicação. Isso ocorre porque a energia ultrassônica auxilia na dispersão das partículas e na quebra de aglomerados, resultando em partículas menores e mais uniformes (Murtaza; Ahmad, 2012; Floris *et al.*, 2013; Depaoli, 2019). Neste estudo, tanto nos experimentos preliminares quanto nos resultados apresentados, observou-se que tempos mais curtos de processamento levaram a resultados mais favoráveis. Essa tendência pode estar relacionada aos danos que um excesso de processamento pode causar à estrutura do polímero, prejudicando a formação das nanocápsulas (Floris *et al.*, 2013; Furtado, 2018). Um aspecto adicional a considerar é que a aplicação excessiva de energia conduz à criação de nanopartículas excessivamente pequenas, as quais não mantêm estabilidade no sistema e, conseqüentemente, tendem a coalescer, levando à formação de aglomerados (Murtaza; Ahmad, 2012).

4.3.1.1 Estabilidade física da dispersão

Considerando a melhor reprodutibilidade da amostra B, esta foi avaliada também em relação à estabilidade de tamanho e PDI ao longo do tempo. Os resultados desses

ensaios para medidas após 1, 90, 180 e 210 dias de preparo das amostras estão registrados na Tabela 3. As diferenças entre os resultados para 1 dia da Tabela 2 e da Tabela 3 podem ser atribuídas à mudança do equipamento de medida.

Tabela 3 – Índices de polidispersão (PDI) e tamanho médio da amostra B armazenadas por até 210 dias

Amostra	Intervalo de tempo entre produção e análise (dias)	Tamanho médio (nm)	PDI
B	1	131 ± 2 ^a	0,242 ± 0,018 ^{abc}
	90	136 ± 3 ^{bc}	0,235 ± 0,012 ^{abc}
	180	131 ± 2 ^a	0,207 ± 0,007 ^a
	210	133 ± 2 ^{ab}	0,268 ± 0,024 ^{bc}

Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa ($p > 0,05$) de acordo com o Teste de Tukey.

Fonte: Do autor

Os resultados indicam que não houve diferença significativa no tamanho médio e no PDI após 210 dias (7 meses) de armazenamento das dispersões, confirmando a estabilidade física das partículas obtidas com tempos de sonicação de 9 e 27 minutos nas Etapas 1 e 2, respectivamente. Essas observações são importantes ao selecionar as amostras considerando não apenas as mudanças nos tamanhos médios das partículas em relação aos tempos de processo, mas também as alterações na distribuição da população de partículas ao longo do tempo.

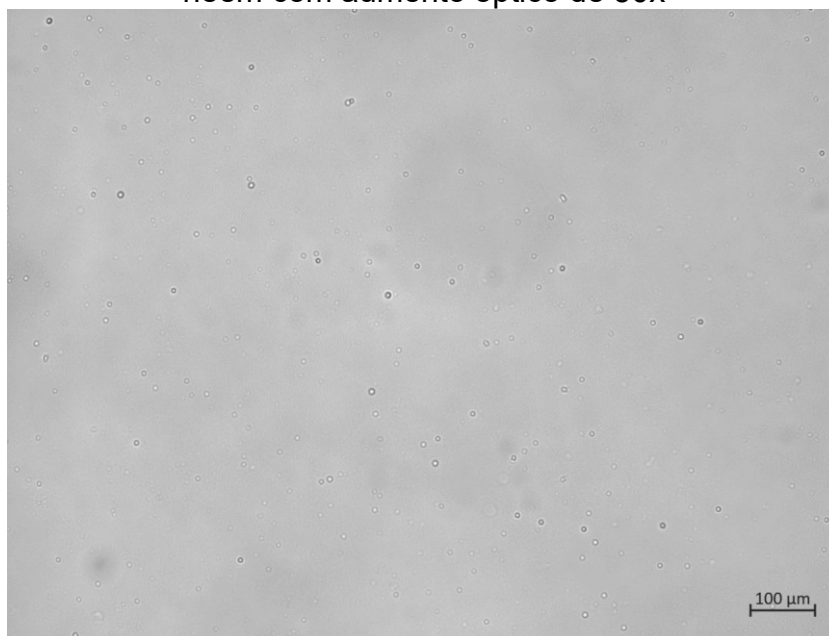
4.3.2 Morfologia das nanocápsulas obtidas

A morfologia das cápsulas de CS/TPP carregadas com óleo de neem (amostra B - 9 e 27 min), obtidas da análise por microscopia óptica, está apresentada na Figura 17. Na imagem, é possível observar a presença de partículas de formato esférico com uma estrutura capsular, ou seja, com a separação do núcleo e do material de parede.

A Figura 18 apresenta a imagem obtida por meio de microscopia eletrônica de transmissão (MET), que confirma o formato esférico das partículas. As análises realizadas utilizando o *software* ImageJ revelaram um tamanho médio de 69 ± 10 nm para as cápsulas de CS/TPP carregadas com óleo de neem. A discrepância no tamanho entre as microscopias MET e as medições de espalhamento de luz pode ser explicada pelo raio de hidratação das cápsulas, especialmente devido às suas superfícies hidrofílicas. As características de tamanho, forma e eficácia das nanopartículas variam conforme a fonte vegetal utilizada. De acordo com Atkovska *et*

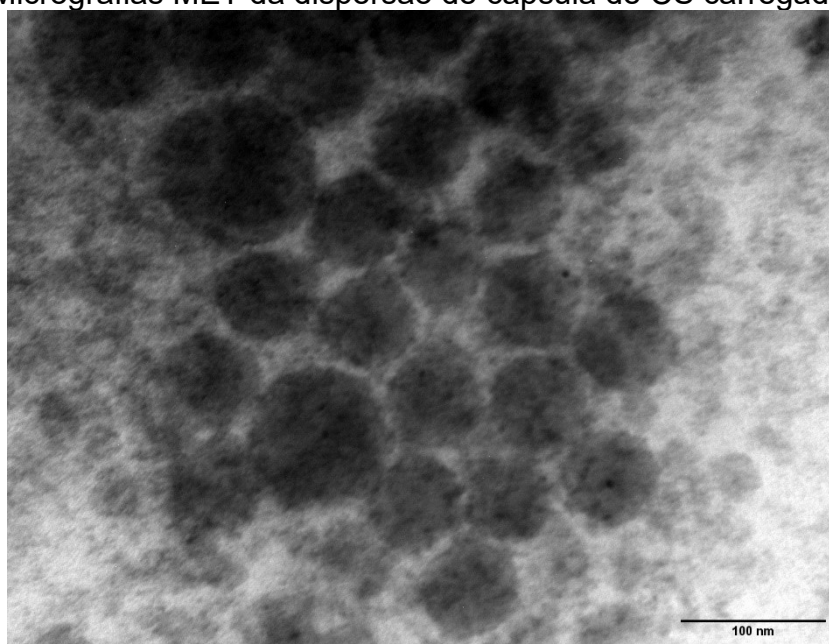
al. (2023), nanopartículas carregadas com neem são predominantemente esféricas, o que corrobora com o visualizado nesse estudo.

Figura 17 - Estrutura morfológica da cápsula de CS/TPP carregadas com óleo de neem com aumento óptico de 50x



Fonte: Do autor

Figura 18 - Micrografias MET da dispersão de cápsula de CS carregadas com neem



Fonte: Do autor

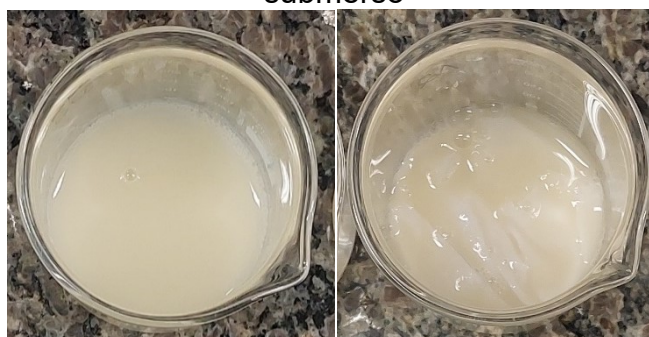
4.4 SELEÇÃO DAS CONDIÇÕES DE IMPREGNAÇÃO

4.4.1 Avaliação da secagem e cura

A seleção das condições de impregnação foi realizada utilizando o tecido de menor gramatura (T1) e o tratamento de recobrimento com óleo de neem incorporado na solução de quitosana (CSNSO). Inicialmente, o tempo de submersão foi fixado em 30 min e foram avaliados os efeitos da temperatura de secagem (ambiente ou 80°C) e do tipo de cura (temperatura de 140°C ou radiação UV) no ganho de massa, alteração de cor e liberação do óleo dos tecidos.

As soluções para impregnação apresentaram aspecto líquido homogêneo e coloração do tipo amarelo-leitoso, conforme é possível observar na Figura 19.

Figura 19 - Aspecto visual da solução de impregnação CSNSO com e sem tecido submerso



Fonte: Do autor

Após a impregnação das soluções de recobrimento nos substratos têxteis, foi avaliada a absorção de massa nos mesmos, pesando as amostras antes e após o processo. Por meio da diferença de massa, foi determinado o percentual de recobrimento presente nas amostras, utilizando a Equação 4. Os resultados estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Ganho de massa dos substratos variando as condições de impregnação

Secagem	Cura	Ganho de massa (%)
T _{amb} - 12 h	140 °C - 2 min	6,34 ± 0,46 ^{ac}
80 °C - 5 min	140 °C - 2 min	5,79 ± 0,35 ^a
T _{amb} - 12 h	Luz UV - 3 min	8,64 ± 0,47 ^b
80 °C - 5 min	Luz UV - 3 min	7,78 ± 0,16 ^{bc}

Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa ($p > 0,05$) de acordo com o Teste de Tukey.

Fonte: Do autor

Os resultados de ganho de massa apresentados indicam a presença do recobrimento na superfície dos substratos têxteis, variando de acordo com as condições de tratamento realizado.

Não houve diferença significativa no ganho de massa entre as amostras que passaram pelo mesmo processo de cura, independentemente do tipo de secagem. No entanto, para uma mesma condição de secagem, é possível perceber que há diferença em relação a condição de cura utilizado. Tanto para as amostras com secagem a temperatura ambiente quanto para as amostras com secagem a 80°C, a combinação com a cura UV resultou em ganhos de massa significativamente maiores do que a cura a 140°C. Esse resultado pode estar relacionado com a evaporação mais lenta do óleo com a cura utilizando luz UV, permitindo que tratamento seja retido de forma mais eficaz nas fibras do tecido e resultando em um maior ganho de massa. Isso também pode ser atribuído à capacidade da cura UV de promover uma reticulação mais eficiente da quitosana, aumentando assim a aderência e a retenção do recobrimento no tecido.

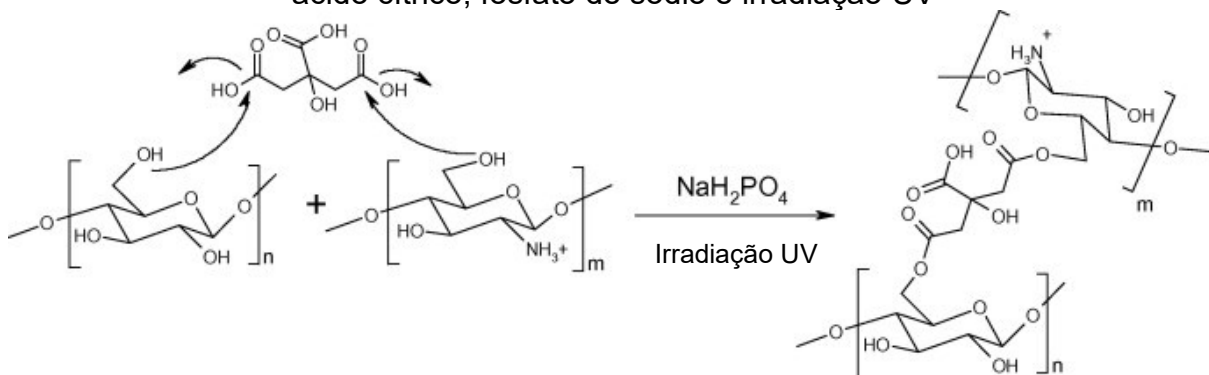
Em um processo de impregnação têxtil utilizando o método *pad-dry-cure*, a etapa de cura costuma se referir à fixação dos componentes do tecido e não a uma reticulação propriamente dita, podendo ser tanto uma reação da espécie com a fibra quanto a formação de um filme polimérico nas fibras (Li *et al.*, 2008). Com as temperaturas mais elevadas tradicionalmente utilizadas nas etapas de cura, há um aumento na mobilidade molecular, permitindo que as moléculas de quitosana se movam e se entrelacem mais eficientemente com as fibras de algodão (Eltahlawy *et al.*, 2005). Além disso, é desencadeada a esterificação dos grupos hidroxila na celulose e dos grupos carboxila no ácido cítrico, sendo a forma mais comum de fixar quitosana em têxteis, por meio da interação eletrostática com o grupo amino da quitosana (Coma *et al.*, 2003; Antunes *et al.*, 2021; Elamri *et al.*, 2023).

No entanto, os compostos voláteis podem evaporar durante o processo de acabamento, principalmente na etapa de cura térmica em alta temperatura, proporcionando efeitos contraditórios na durabilidade do tratamento, abrindo espaço para estudo com outros processos de cura (Li *et al.*, 2008).

A irradiação UV, provoca modificações na superfície do polímero, criando radicais livres (Figura 20) nos átomos de nitrogênio ou oxigênio do polissacarídeo (Alonso *et al.*, 2009). Esses sítios ativos facilitam a formação de ligações covalentes

mais fortes entre a quitosana e a fibra de algodão, contribuindo para uma adesão mais eficaz do tratamento, sem que haja efeitos negativos na estrutura da fibra (Ferreo *et al.*, 2014).

Figura 20 - Esquema de reação da reticulação entre a quitosana e algodão usando ácido cítrico, fosfato de sódio e irradiação UV



Fonte: Adaptado de Alonso *et al.* (2009)

Li, Boyter e Qian (2010), investigaram a durabilidade do acabamento com microcápsulas de fragrância de limão em tecido de algodão, submetido a cura UV ou cura térmica. Os resultados mostraram que a resistência à lavagem foi duas vezes superior para o tratamento com cura UV em comparação com a cura térmica. Além disso, as vantagens adicionais da cura UV, como menor consumo de energia, cura à temperatura ambiente, economia de espaço e alta eficiência de produção, contribuem para o interesse nessa tecnologia (Li *et al.*, 2008; Bahria; Erbil, 2016; Singh; Sheikh, 2020). Por outro lado, apesar dos benefícios de durabilidade, a ativação por luz pode potencialmente causar degradação do óleo de neem (Krzyzaniak; Simmons; Shepard, 2016; Benelli *et al.*, 2017).

Nazari *et al.* (2009) estudaram o uso de nanopartículas de TiO₂, hipofosfito de sódio e ácidos policarboxílicos (ácido cítrico ou ácido 1,2,3,4-butano tetracarboxílico - BTCA) em tecido de algodão, utilizando três diferentes condições de cura. Estas incluíram irradiação UV (UVA, 15 min), condição de alta temperatura (150 °C, 5 min para ácido cítrico e 180 °C, 2 min para BTCA), e uma combinação entre ambas. Os resultados mostraram que o processo de reticulação foi mais eficiente sob as condições de UV-alta temperatura do que quando realizadas isoladamente, seguido pela cura apenas em alta temperatura e, por último, pela irradiação UV.

Apesar das diferenças entre o tipo de cura utilizada, de acordo com Ferrero e Periolatto (2012), a cura UV resulta na mesma estrutura polimérica encontrada para a quitosana curada termicamente.

Com o objetivo de compreender a relação entre o ganho de massa na aparência do substrato, foi realizada uma análise da alteração de cor por meio do sistema CIELab. A Tabela 5 apresenta os valores obtidos para cada um dos parâmetros do sistema CIELab (L^* , a^* , b^*) e o resultado obtido para a diferença total de cor (ΔE).

Tabela 5 - Variações nos parâmetros de cor para diferentes condições de impregnação de CSNSO para o tecido T1

Tratamento secagem-cura	L^*	a^*	b^*	ΔE	Nota ΔE
Controle	$89,98 \pm 0,19^c$	$3,09 \pm 0,03^b$	$-10,31 \pm 0,32^c$	-	-
Ta.140	$91,32 \pm 0,14^a$	$1,43 \pm 0,10^a$	$-3,81 \pm 0,61^b$	$6,39 \pm 0,61^b$	2
80.140	$91,37 \pm 0,09^a$	$1,74 \pm 0,06^a$	$-5,79 \pm 0,29^a$	$4,46 \pm 0,25^a$	2,5
Ta.UV	$91,43 \pm 0,06^{ab}$	$1,42 \pm 0,20^a$	$-5,26 \pm 0,84^{ab}$	$5,06 \pm 0,85^{ab}$	2,5
80.UV	$91,71 \pm 0,13^b$	$1,57 \pm 0,07^a$	$-4,78 \pm 0,34^{ab}$	$5,53 \pm 0,35^{ab}$	2

As siglas apresentadas para o tratamento representam a secagem a temperatura ambiente (Ta) ou a 80°C e as condições de cura a 140°C ou irradiação UV. Letras minúsculas iguais na mesma coluna indicam que não houve diferença significativa ($p > 0,05$) de acordo com o Teste de Tukey.

Fonte: Do autor

As amostras impregnadas apresentaram menores valores de a^* e maiores valores de b^* , indicando uma coloração mais esverdeada e amarelada, característica do óleo de semente de neem, quando comparado ao tecido não tratado (Chatterjee *et al.*, 2023). Além disso, pode-se observar um leve aumento da luminosidade (L^*) da cor para todos os tratamentos.

Em relação ao ΔE (diferença total de cor), a norma ABNT NBR ISO 105-A05:2007 fornece uma classificação na mudança de cor em escala de cinza, onde 5 representa a melhor classificação e 1 a pior. Com base nesse padrão e nos resultados obtidos, observa-se que, independentemente das condições de impregnação, todas as amostras apresentaram diferenças de cor elevadas. Entretanto, entre os diferentes tratamentos avaliados, observou-se que a menor diferença total de cor foi obtida para as amostras secas e curadas com temperatura (80.140), indicando uma maior uniformidade no acabamento entre os casos estudados. Essa menor diferença de cor pode estar relacionada ao menor ganho de massa observado nesse tratamento em

comparação com os outros, uma vez que a quantidade de tratamento absorvido pelo tecido tende a influenciar diretamente a diferença de cor observada.

As amostras também foram avaliadas em relação ao grau de branco, cujos resultados estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Variações no grau de branco para diferentes condições de impregnação de CSNSO para o tecido T1

Tratamento secagem-cura	Branco CIE	ΔBco CIE	Branco Berger	ΔBco Berger
Controle	125,26 \pm 0,52 ^c	-	121,35 \pm 0,58 ^c	-
Ta.140	96,98 \pm 2,78 ^a	-26,03 \pm 2,78 ^a	94,91 \pm 2,78 ^a	-27,87 \pm 2,91 ^a
80.140	106,30 \pm 1,54 ^b	-16,71 \pm 1,53 ^b	104,39 \pm 1,68 ^b	-18,02 \pm 1,62 ^b
Ta.UV	103,97 \pm 3,81 ^b	-19,06 \pm 3,81 ^b	102,48 \pm 3,72 ^b	-20,54 \pm 4,07 ^b
80.UV	102,3 \pm 1,49 ^{ab}	-20,71 \pm 1,48 ^{ab}	100,52 \pm 1,49 ^{ab}	-22,40 \pm 1,60 ^{ab}

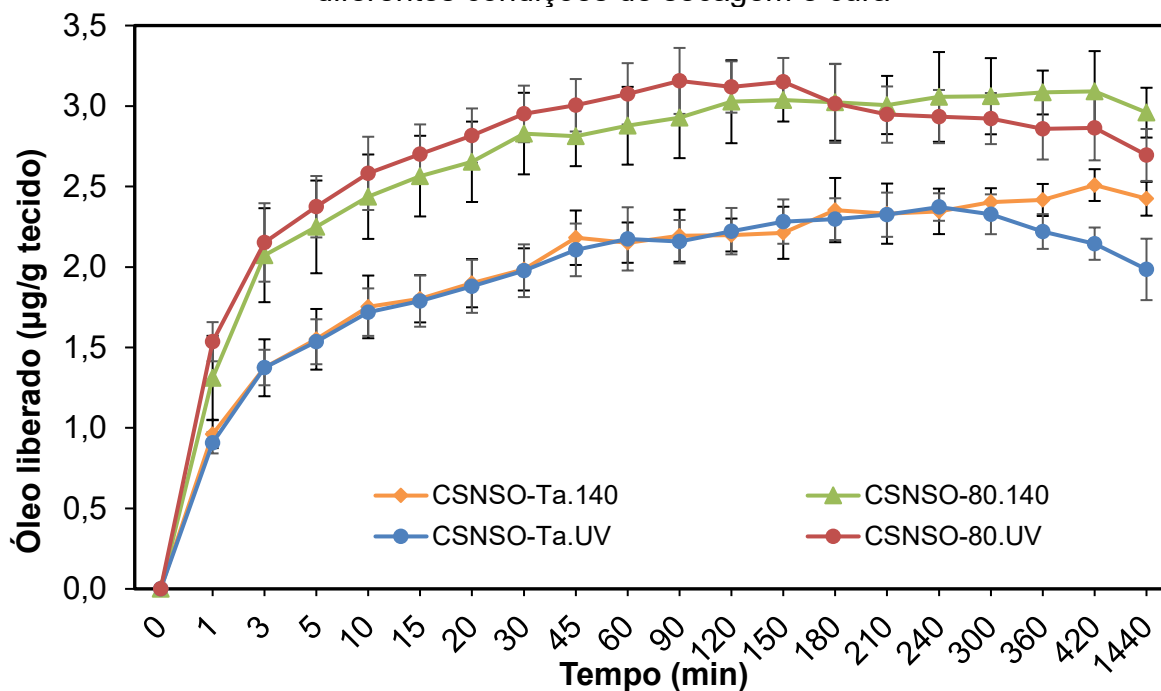
Letras minúsculas iguais na mesma coluna indicam que não houve diferença significativa ($p > 0,05$) de acordo com o Teste de Tukey.

Fonte: Do autor

Os valores de grau de branco indicados na Tabela 6 estão em concordância com os resultados dos parâmetros de cor. Apesar do leve aumento na luminosidade observado anteriormente, todas as amostras apresentaram uma redução no grau de branco em virtude do amarelecimento, verificado pelo aumento do parâmetro b^* (Tabela 5). Esse efeito pode ser atribuído à combinação do recobrimento contendo o NSO, às condições de secagem e cura e a presença do ácido cítrico (Xin; Lu, 2018). Este comportamento de alteração de cor e de grau de branco das amostras após impregnações foram observados em outros estudos. Kumar, Singh e Sheikh (2023), por exemplo, estudaram a impregnação de microcápsulas de quitosana, com óleo de olíbano como núcleo, em tecidos de algodão e observaram um índice de amarelecimento duas vezes maior nas amostras tratadas em relação ao controle, afetando também o grau de branco.

O efeito das diferentes condições de impregnação dos tecidos na cinética de liberação do NSO em contato com água também foi avaliado. A cinética de liberação é importante, pois permite uma correlação com a quantidade de agente ativo depositado, sua possível ligação com a fibra e, por fim, com a atividade desejada para a aplicação. Os resultados estão apresentados na Figura 21 para uma análise quantitativa comparativa da disponibilidade do agente ativo em até 24 horas (1440 minutos) de ensaio.

Figura 21 - Cinética de liberação do NSO em água até 24 h de amostras T1 com diferentes condições de secagem e cura



Fonte: Do autor

A análise dos dados cinéticos indica que as amostras cuja secagem ocorreu em temperatura de 80°C (80.UV e 80.140) liberaram maiores quantidades de óleo do que as amostras com secagem a temperatura ambiente (Ta.140 e Ta.UV). Para todos os tratamentos, houve uma liberação rápida nos instantes iniciais, sugerindo óleo livre na superfície. O equilíbrio foi atingido por volta de 150 min para os diferentes tratamentos. No entanto, as amostras com cura UV apresentaram um declínio nas quantidades medidas, o que pode estar relacionado a uma suscetibilidade da azadiractina à degradação nestas condições de cura e maior ligação do acabamento com o substrato têxtil, reduzindo a quantidade de óleo livre na superfície.

De forma geral, os resultados da cinética de liberação evidenciam que não há uma relação direta entre o ganho de massa e a quantidade de agente ativo liberada. Pelo ganho de massa, por exemplo, a amostra com secagem em temperatura ambiente com cura UV teria maior quantidade de óleo liberada do que a amostra com secagem a 80 °C e cura a 140 °C, o que não foi observado. Portanto, determinado processo pode resultar em maiores quantidades impregnadas, porém com uma fixação à fibra que pode desfavorecer sua liberação e até mesmo sua atividade.

O recobrimento pode ocorrer apenas de forma física, através de uma deposição sob a superfície do tecido, ou combinado com uma interação química do polímero de

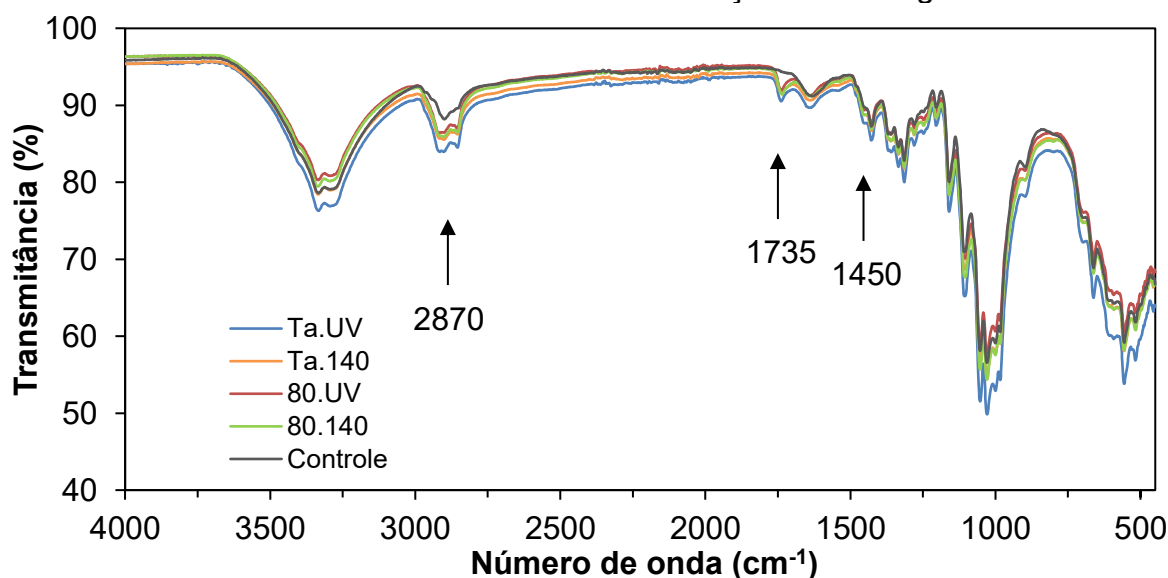
recobrimento ou outros agentes com o substrato têxtil. No caso dos tratamentos com quitosana, suas cargas positivas são capazes de ligarem quimicamente com a superfície negativa das fibras do algodão. Além disso o ácido cítrico forma anidridos cíclicos, acelerado pelo fosfato de sódio, o que possibilita uma ligação covalente cruzada entre a celulose e a quitosana (Nazari et al., 2009; Harifi; Montazer, 2012). Dessa forma, o tipo de secagem e cura influenciam os resultados de liberação *in vitro* do tratamento.

Para avaliar as possíveis modificações químicas decorrentes de ligações da quitosana com as fibras do algodão, a amostra controle e as amostras com recobrimento foram avaliadas por FTIR-ATR e os resultados estão apresentados na Figura 22.

Em geral, os espectros apresentaram bandas características de celulose, como em torno de 3340 cm^{-1} , que corresponde à vibração de estiramento de hidroxilas (OH) (Lopes *et al.*, 2019) e em torno de 2900 cm^{-1} , atribuída à vibração de estiramento das ligações CH (Lopes *et al.*, 2019; Grgac *et al.*, 2020). Também são observadas de bandas em torno de 1030 cm^{-1} relacionadas ao estiramento do grupo COC (Taipina, 2012; Kumar; Sharma; Vaish, 2022).

Comparando as curvas espectrais do tecido controle com os tecidos tratados foram observadas alterações nas bandas de absorção 1450 , 1735 , 2870 e 3345 cm^{-1} , indicando que houve interação entre o recobrimento e as fibras de algodão.

Figura 22 - Espectros FTIR-ATR do tecido controle de algodão e das amostras tratadas com CSNSO em diferentes condições de secagem e cura



Todas as amostras com recobrimento apresentaram uma nova banda entre 1700 e 1770 cm^{-1} , que corresponde à vibração de estiramento da ligação C=O e a flexão NH da amida I e amida II, respectivamente, indicando a presença de quitosana (Hu *et al.*, 2011). Essa ocorrência é provavelmente atribuída à formação de uma ligação éster, resultante da ligação covalente entre a quitosana e a celulose (Lopes *et al.*, 2019). Na faixa de 2840 a 2900 cm^{-1} , é observada a emergência de uma segunda nova banda, associada ao estiramento do grupo CH. Esse resultado também pode ser decorrente da interação entre o ácido carboxílico presente no óleo de neem e a celulose do tecido de algodão (Revathi; Thambidurai, 2017; Das *et al.*, 2020).

Conforme evidenciado no espectro de FTIR-ATR, os revestimentos contendo CSNSO revelam o estiramento da amida destacado em torno de 1450 cm^{-1} (Grgac *et al.*, 2020). É possível notar uma redução na banda em 3345 cm^{-1} nos tratamentos que incorporaram o uso de temperatura na secagem, indicando a diminuição dos grupos amino livres (—NH_2) após a aplicação do acabamento, o que pode ser correlacionado com uma interação química entre os grupos amino da quitosana e os grupos funcionais do algodão (Revathi; Thambidurai, 2017). Por outro lado, nos tratamentos conduzidos sem o uso de temperatura na secagem, houve um aumento na intensidade desse pico para a amostra curada com luz UV e nenhuma alteração para a amostra curada a 140°C, sugerindo uma maior preservação dos grupos amino livres.

Optou-se por seguir para a impregnação das NPPs com o método de impregnação *pad-dry-cure* sob as condições de secagem a 80°C por 5 minutos e cura a 140°C por 2 minutos, denominado como tratamento CSNSO-80.140. Esta escolha foi motivada pelos resultados de menor alteração de cor e no grau de branco, além de exibir homogeneidade no aspecto visual e melhor reprodutibilidade. Adicionalmente, os ensaios de liberação *in vitro* indicaram maior disponibilidade e persistência do agente ativo nessas condições de impregnação, o que está em concordância com as observações das análises de FTIR-ATR, que apontaram para o sucesso da incorporação no substrato têxtil.

4.4.2 Avaliação do tempo de imersão no banho

Com a finalidade de aprimorar a seleção das condições de impregnação, também foi examinada a influência do tempo de imersão dos tecidos no banho. Nesta etapa, além do recobrimento CSNSO, também foram realizadas impregnações com

as nanocápsulas (NPPs). Para efeitos de comparação, foram preparadas amostras que foram submersas em soluções de banho por 2, 30 ou 60 minutos. Em seguida, essas amostras passaram pelo processo de impregnação em *Foulard*, seguindo as condições de secagem e cura, previamente escolhidas (80°C e 140°C). Os resultados das alterações de cor e grau de branco podem ser observados nas Tabelas 7 e 8, respectivamente.

Tabela 7 - Variações nos parâmetros de cor para diferentes tempos de imersão no banho de impregnação, para os tratamentos CSNSO e NPP utilizando o tecido T1

Tempo no banho-tratamento	L*	a*	b*	ΔE	Nota ΔE
Controle	89,98 ± 0,19 ^d	3,09 ± 0,03 ^d	-10,31 ± 0,32 ^d	-	-
2.NPP	90,62 ± 0,15 ^b	2,14 ± 0,04 ^b	-8,46 ± 0,16 ^a	3,40 ± 0,18 ^a	3
30.NPP	91,13 ± 0,03 ^c	1,85 ± 0,04 ^a	-7,07 ± 0,18 ^b	4,87 ± 0,18 ^b	2,5
60.NPP	91,24 ± 0,16 ^c	1,83 ± 0,01 ^a	-6,10 ± 0,07 ^b	4,98 ± 0,08 ^{bc}	2,5
2.CSNSO	90,05 ± 0,02 ^a	2,37 ± 0,06 ^c	-8,04 ± 0,17 ^a	3,68 ± 0,18 ^a	3
30.CSNSO	90,62 ± 0,16 ^b	1,93 ± 0,09 ^a	-6,23 ± 0,37 ^c	5,57 ± 0,35 ^{cd}	2,5
60.CSNSO	91,20 ± 0,11 ^c	1,91 ± 0,08 ^a	-6,25 ± 0,23 ^c	5,66 ± 0,24 ^d	2,5

Letras minúsculas iguais na mesma coluna indicam que não houve diferença significativa ($p > 0,05$) de acordo com o Teste de Tukey.

Fonte: Do autor

Tabela 8 - Variações no grau de branco para diferentes tempos de imersão no banho de impregnação, para os tratamentos CSNSO e NPP utilizando o tecido T1

Tempo no banho-tratamento	Branco CIE	ΔBco CIE	Branco Berger	ΔBco Berger
Controle	125,26 ± 0,52 ^e	-	121,35 ± 0,58 ^e	-
2.NPP	110,93 ± 1,02 ^d	-14,41 ± 1,02 ^d	108,98 ± 1,12 ^d	-11,93 ± 1,12 ^d
30.NPP	105,62 ± 0,95 ^c	-19,70 ± 0,95 ^c	103,73 ± 1,17 ^c	-17,18 ± 1,17 ^c
60.NPP	104,37 ± 1,59 ^{bc}	-20,97 ± 1,59 ^{bc}	102,58 ± 1,71 ^{bc}	-18,33 ± 1,71 ^{bc}
2.CSNSO	106,82 ± 0,53 ^c	-18,52 ± 0,53 ^c	103,57 ± 0,57 ^c	-17,34 ± 0,57 ^c
30.CSNSO	102,36 ± 0,76 ^{ab}	-22,98 ± 0,76 ^{ab}	99,73 ± 0,74 ^{ab}	-21,18 ± 0,74 ^{ab}
60.CSNSO	101,38 ± 0,50 ^a	-23,95 ± 0,50 ^a	98,89 ± 0,50 ^a	-22,02 ± 0,50 ^a

Letras minúsculas iguais na mesma coluna indicam que não houve diferença significativa ($p > 0,05$) de acordo com o Teste de Tukey.

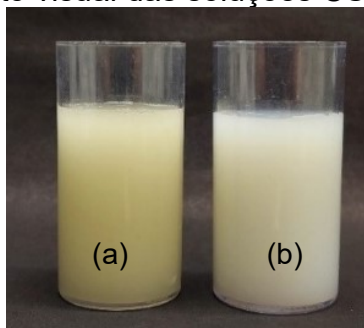
Fonte: Do autor

É possível perceber que, tanto para os tecidos tratados com as nanocápsulas quanto com o recobrimento, o aumento do tempo de contato da amostra com a solução de 2 para 30 minutos resultam em aumento na diferença total de cor e na redução no grau de branco. Esse efeito pode estar relacionado à maior absorção do material pelas fibras do tecido. Para os tempos 30 e 60 min não houve diferença

significativa entre um mesmo tratamento, possivelmente indicando uma saturação da quantidade de material absorvido.

A comparação entre o tratamento com nanocápsulas e com recobrimento em um mesmo tempo de imersão, como 30 min, evidencia que a encapsulação do óleo cria uma barreira protetora entre o óleo e a superfície do tecido, resultando em menor alteração da cor. Essa barreira tem o efeito de minimizar a transferência de componentes responsáveis pelo amarelecimento e até mesmo evitar uma reação química de oxidação que também poderia ser responsável pela alteração de cor. Dessa forma, é possível que as diferenças de cor entre amostras as impregnadas com CSNSO e NPP possam estar diretamente ligadas à coloração intrínseca da solução (Figura 23), ou seja, para os mesmos tempos de submersão há menor alteração para os tratamentos com NPP.

Figura 23 - Aspecto visual das soluções CSNSO (a) e NPP (b)



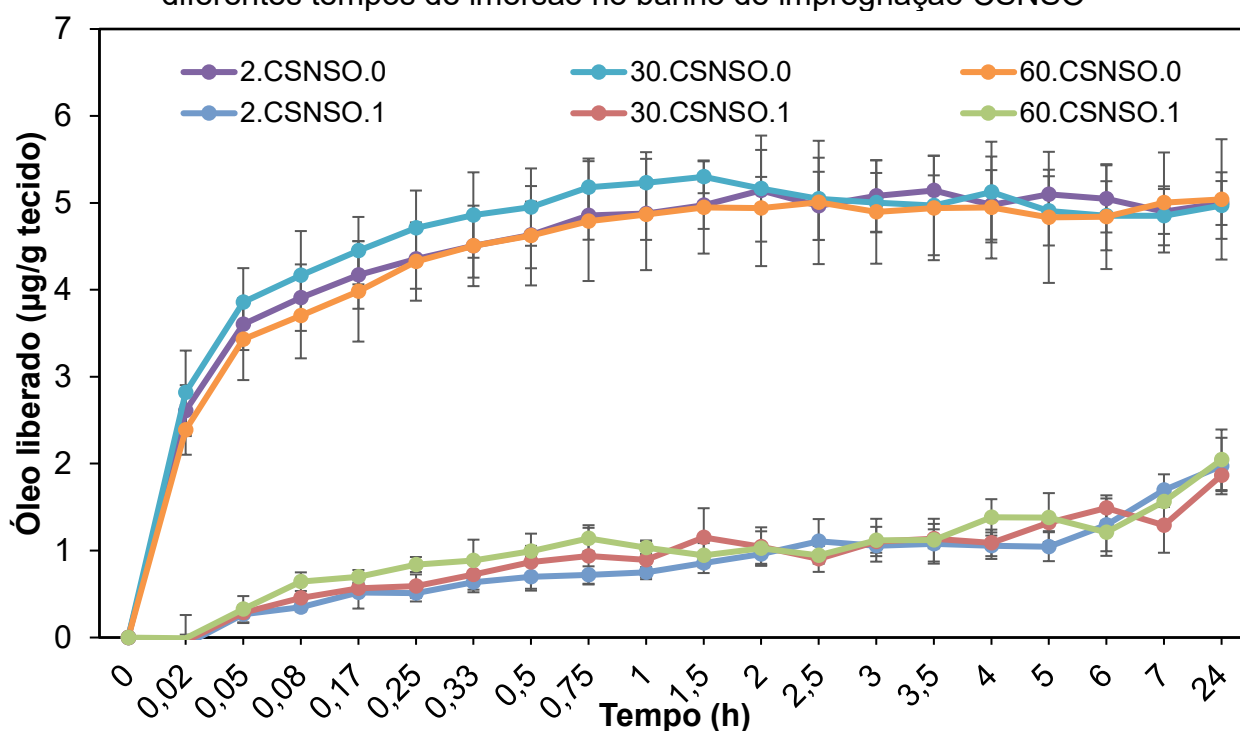
Fonte: Do autor

Além dos parâmetros de alteração de cor, também foi avaliado o comportamento de liberação *in vitro*, com o intuito de estudar a influência do tempo de contato do substrato têxtil com a solução de impregnação na cinética de liberação do óleo de neem. O ensaio de liberação também foi realizado após as amostras de tecido serem submetidas a um ciclo de lavagem, a fim de verificar a persistência do tratamento de acordo com os tempos no banho. O resultado para os tecidos recobertos e impregnados com as nanocápsulas em diferentes tempos de imersão (2, 30 e 60 min) e submetidos ou não à lavagem estão apresentados na Figura 24 e 25, respectivamente.

Nos tratamentos de recobrimento a partir da solução CSNSO, observa-se que não há diferença na liberação do agente ativo em água em relação aos diferentes tempos de imersão no banho. Entretanto, ao comparar amostras sem lavagem com

aquelas submetidas a esse processo, verifica-se uma redução na quantidade de material liberado, possivelmente explicada pela deposição física predominante sob o substrato têxtil e retirada do óleo livre. Contudo, é importante destacar uma leve tendência de aumento ao longo de 24 horas de ensaio, enquanto as amostras sem lavagem alcançaram um equilíbrio com cerca de uma hora e meia de ensaio. Além disso, a ausência de diferença entre os tempos de banho estudados manteve-se para as amostras lavadas.

Figura 24 – Cinética de liberação do NSO em água até 24 h de amostras com diferentes tempos de imersão no banho de impregnação CSNSO



Legenda: Final ".0" significa amostra tratada, mas sem nenhuma lavagem antes do ensaio de liberação, enquanto final ".1" significa amostras tratada e lavada uma vez antes do ensaio de liberação.

Fonte: Do autor

Ao realizar a mesma análise em amostras impregnadas com a dispersão de nanocápsulas (NPP) (Figura 25), percebe-se que a quantidade de óleo liberada é menor em comparação ao apresentado para o tratamento CSNSO. Por exemplo, considerando 1 h de liberação, o tecido com recobrimento por 30 min de imersão e sem lavagem (30.CNSO) liberou $5,23 \pm 0,35$ µg de óleo/g de tecido, enquanto a amostra equivalente com nanopartículas (30.NPP) liberou $1,60 \pm 0,07$ µg de óleo/g de tecido. Esse comportamento pode estar relacionado às características estruturais das nanocápsulas, uma vez que o material de parede atua como uma matriz protetora do

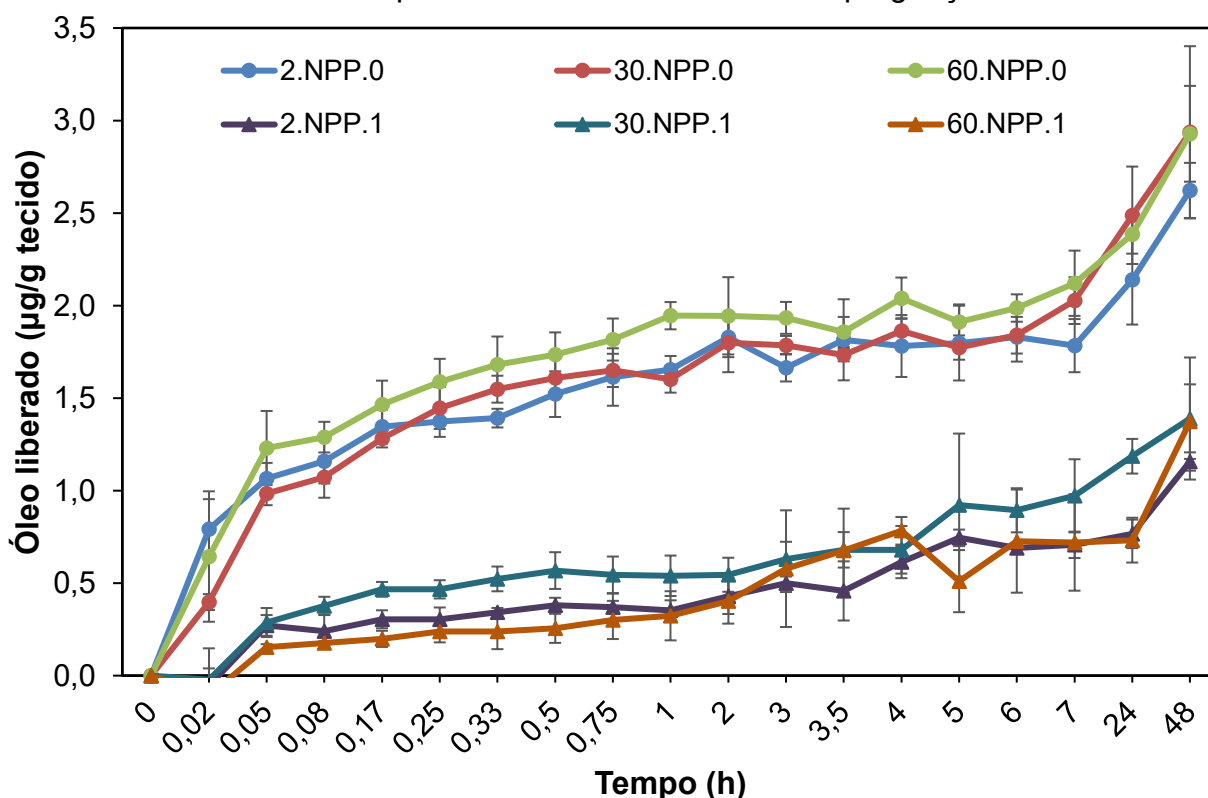
agente ativo no núcleo de forma a controlar sua liberação para o meio. Esse controle pode resultar em uma liberação mais lenta e gradual baseada na difusão do óleo para o meio, em comparação com o tratamento CSNSO, onde o óleo está diretamente incorporado ao tecido (Antunes *et al.*, 2021). Além disso, as propriedades de melhor adesão e interação das nanocápsulas com as fibras do tecido podem influenciar a liberação do óleo, levando a uma menor quantidade liberada ao longo do tempo. Os dados cinéticos evidenciam, ainda, uma tendência crescente na concentração do agente ativo no meio, o que corrobora com a necessidade de mais tempo para a migração do óleo pela matriz. Essa tendência foi observada até 72 horas, após as quais ocorreu uma aproximação do equilíbrio.

Em relação às aplicações, a liberação mais lenta dos tecidos tratados com NPPs pode oferecer vantagens significativas. Por exemplo, em produtos têxteis destinados ao uso prolongado, como roupas de proteção contra insetos, uma liberação controlada do agente repelente ao longo do tempo pode garantir uma proteção mais duradoura (Souza *et al.*, 2014). Além disso, essa liberação gradual pode ajudar a minimizar o desperdício do agente ativo, garantindo uma eficácia constante ao longo do tempo de uso do produto. No entanto, é importante avaliar se a quantidade liberada é suficiente para proporcionar uma ação eficaz e cumprir a função de repelente. Isso porque essa aplicação requer uma liberação espacial do tecido para o meio. Caso contrário, outra aplicação promissora para os têxteis funcionalizados com liberação lenta é sua utilização em tecidos com propriedades antibacterianas por meio de aplicações, onde a liberação pode ser de forma local, restrita às regiões específicas do tecido e bem próximas a ele (Ullah; Ali, 2017; Antunes *et al.*, 2021).

Em relação ao processo de lavagem, foi observada uma redução considerável na quantidade de óleo liberado em todos os tratamentos. Essa diminuição pode ser justificada pela remoção do material não aderido à superfície do tecido durante o processo de lavagem. No entanto, durante as 48 horas de ensaio, foi notada uma tendência crescente na concentração do agente ativo no meio tanto para as amostras impregnadas com nanocápsulas quanto para aquelas com recobrimento. É importante destacar que, apesar de ambas as técnicas apresentarem essa tendência de aumento, os valores obtidos para 30.CSNSO foram superiores aos obtidos para 30.NPP. Por exemplo, considerando novamente 1 h de liberação, o tecido com

recobrimento por 30 mim de imersão e com uma lavagem (30.CNSO) liberou $0,89 \pm 0,22 \mu\text{g}$ de óleo g de tecido, enquanto a amostra equivalente com nanopartículas (30.NPP) liberou $0,54 \pm 0,11 \mu\text{g}$ de óleo/g de tecido. Já com 24 h de ensaio, o tratamento 30.CSNSO liberou $1,87 \pm 0,18 \mu\text{g}$ de óleo g de tecido e o 30.NPP liberou $1,19 \pm 0,09 \mu\text{g}$ de óleo/g de tecido. Essas diferenças reforçam as distintas características de liberação entre as condições de funcionalização.

Figura 25 – Cinética de liberação do NSO em água até 48 h de amostras com diferentes tempos de imersão no banho de impregnação NPP



Fonte: Do autor

É válido salientar que a quantidade de 4g/L de lauril éter sulfato de sódio, com base na norma de solidez a cor da ABNT, talvez tenha sido excessiva, considerando que o sabão padrão contém outros compostos além de lauril. Essa concentração elevada pode ter resultado em uma limpeza que não equivaleria a uma lavagem doméstica típica, podendo ter interferido na avaliação da aderência do tratamento no tecido. Um exemplo comparativo é o estudo de Rajendran *et al.* (2012), onde utilizaram 2g/L do mesmo detergente para realizar uma limpeza leve, removendo as nanocápsulas não aderidas à superfície do substrato têxtil. No estudo, a amostra foi mergulhada nessa solução após o processo de *pad-dry-cure*.

Com base nos resultados de alteração de cor e grau de branco, e considerando os resultados da cinética de liberação, a impregnação de 30 minutos foi selecionada para os ensaios subsequentes. Embora não tenha havido diferenças significativas entre os tempos de impregnação de 30 minutos e 60 minutos, a escolha pelo tempo mais curto foi baseada na praticidade e na economia de recursos, evitando a necessidade de prolongar o processo, o que poderia aumentar os custos e o consumo de recursos.

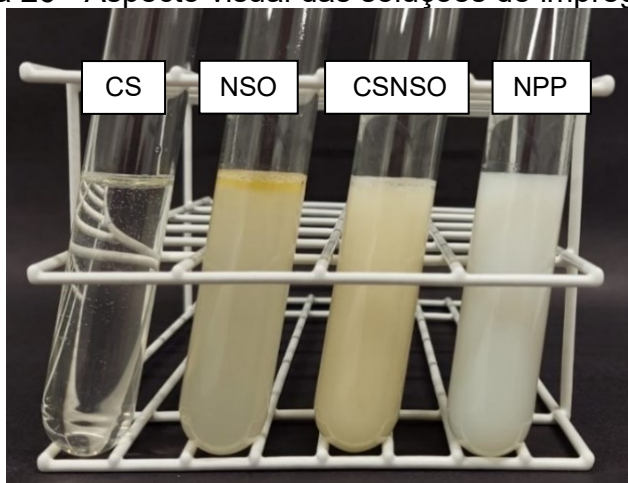
4.5 COMPARATIVO ENTRE RECOBRIMENTO E IMPREGNAÇÃO DE NANOCÁPSULAS

Com as condições de impregnação selecionadas (30 min de imersão na solução, secagem a 80 °C e cura a 140 °C), procedeu-se à aplicação das nanocápsulas de quitosana carregadas com óleo de semente de neem (9 e 27 min) e dos diferentes recobrimentos em dois tipos tecidos 100% algodão, variando a gramatura. Nesta etapa, portanto, o objetivo foi avaliar o efeito do tipo de tecido e do tipo de funcionalização nas propriedades de cor, morfologia, interações químicas e repelência a mosquitos.

Foram preparados quatro tipos de soluções de impregnação contendo o agente ligante e o catalisador, utilizando como base diferentes soluções, como a solução de quitosana (CS), a solução aquosa de óleo de semente de neem (NSO), a solução de quitosana com óleo de semente de neem incorporado (CSNSO) e a dispersão de nanocápsulas de quitosana carregadas com óleo de semente de neem (NPP).

Após o processo de preparo, a solução de quitosana (CS) apresentou uma cor levemente amarelada, porém translúcida. Já as soluções contendo óleo (NSO, CSNSO) exibiram uma tonalidade amarela leitosa. A dispersão de NPP mostrou uma característica leitosa e mais clara comparada às demais soluções. A diferença visual entre as soluções é ilustrada na Figura 26.

Figura 26 - Aspecto visual das soluções de impregnação



Fonte: Do autor

Como mostra a Figura 26, as soluções apresentaram-se visualmente homogêneas, exceto a solução aquosa de neem (NSO), que teve a tendência de separação de fases. Durante o período de submersão do tecido no banho relativo a esse tratamento, a separação de fases também foi evidenciada, com o óleo propenso a acumular-se na superfície da solução, conforme mostrado na Figura 27.

Figura 27 - Óleo de neem acumulado na superfície do tecido durante o período de banho

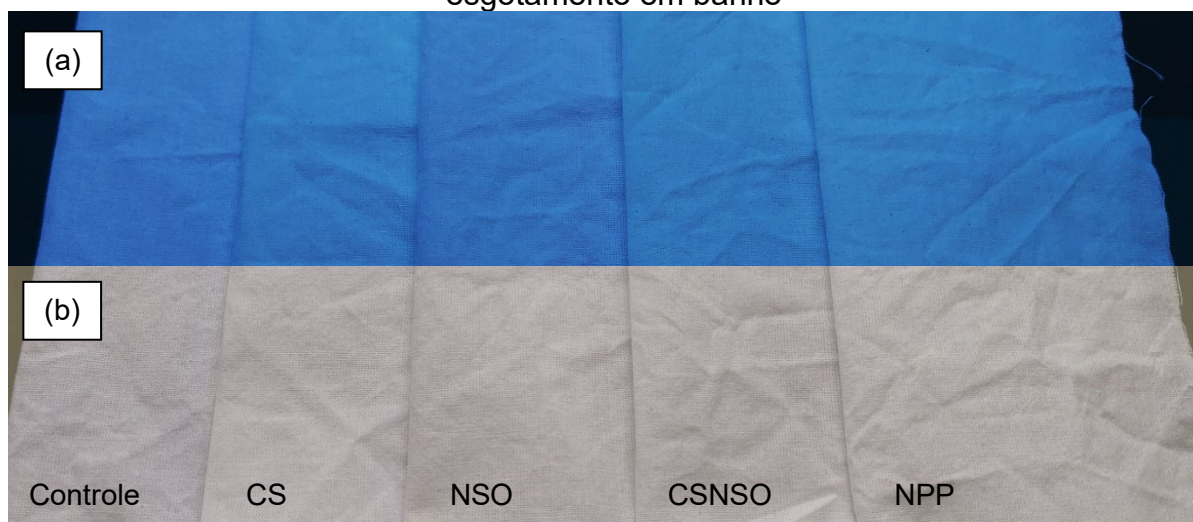


Fonte: Do autor

Ao examinar visualmente as amostras de tecido antes e após a impregnação das soluções, notou-se uma modificação no efeito óptico do branco, acompanhada de uma alteração de cor, tendendo para o amarelo-esverdeado. A Figura 28 exemplifica essa diferença no tecido T1, ao comparar as amostras expostas à luz UV e luz de lâmpada D65, que simula a luz do dia. Essa mudança torna-se mais evidente ao realizar uma análise quantitativa com base nos parâmetros do sistema de cor CIELab e grau de branco, cujos resultados são apresentados na Tabela 9 e 10 para os tecidos

T1 e T2, respectivamente. As diferenças foram quantificadas por meio das medidas de cor e grau de branco utilizando o tecido não impregnado (sem tratamento) como grupo controle.

Figura 28 - Comparação visual das amostras do tecido T1, expostas à luz UV (a) e luz de lâmpada D65 (b), após a impregnação das soluções com 30 min de esgotamento em banho



Fonte: Do autor

Tabela 9 – Parâmetros de cor CIELab dos tecidos T1 com recobrimento de quitosana (CS), óleo de neem (NSO), combinação de quitosana e óleo (CSNSO) ou nanocápsulas de óleo (NPP) impregnados por 30 min de imersão.

Tratamento	L*	a*	b*	ΔE
Controle T1	89,98 ± 0,19 ^d	3,09 ± 0,03 ^d	-10,31 ± 0,32 ^c	-
T1-CS	91,59 ± 0,08 ^c	2,29 ± 0,09 ^b	-7,49 ± 0,39 ^a	4,51 ± 0,35 ^a
T1-NSO	90,90 ± 0,14 ^{ab}	2,97 ± 0,05 ^c	-7,02 ± 0,27 ^{ab}	4,68 ± 0,25 ^a
T1-NPP	91,13 ± 0,03 ^b	1,85 ± 0,04 ^a	-7,07 ± 0,18 ^a	4,87 ± 0,18 ^{ab}
T1-CSNSO	90,62 ± 0,16 ^a	1,93 ± 0,09 ^a	-6,23 ± 0,37 ^b	5,57 ± 0,35 ^b

Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa ($p > 0,05$) de acordo com o Teste de Tukey.

Fonte: Do autor

Com base nos dados apresentados na Tabela 9, todos os tratamentos resultaram em reduções do parâmetro a* e aumentos do parâmetro b*, indicando que as amostras se tornaram mais esverdeadas e amareladas. Dentre os diferentes tratamentos, as amostras T1-NPP e T1-CSNSO ficaram mais esverdeadas (parâmetro a*) em relação ao controle e os tratamentos sem combinação de quitosana e óleo. Em relação ao parâmetro b*, a maior diferença foi observada para o recobrimento CSNSO que, conseqüentemente, apresentou a maior diferença de total de cor.

A menor alteração do parâmetro a^* foi observada para a amostra impregnada com a solução aquosa de óleo de neem (T1-NSO), o que pode estar atrelado à falta de interação química do tratamento com o tecido, fazendo com que o material não seja tão absorvido. Devido à separação de fases observada durante o banho de imersão, poderia se supor um tratamento heterogêneo, com algumas regiões do tecido sem tratamento. Sendo as medidas realizadas nessas regiões de tecido ausentes de óleo, o resultado seria uma baixa diferença de cor em relação ao controle. Entretanto, na análise visual do tecido, não foram observadas manchas ou regiões com coloração distintas.

No tecido T2 (Tabela 10), foi observada uma tendência mais definida de alteração nas amostras contendo óleo de neem na formulação, que se tornaram mais esverdeadas e amareladas. Desta forma, a amostra contendo somente quitosana apresentou diferença total de cor significativamente menor ($p < 0,05$) que os demais tratamentos.

Tabela 10 – Parâmetros de cor CIELab dos tecidos T2 com recobrimento de quitosana (CS), óleo de neem (NSO), combinação de quitosana e óleo (CSNSO) ou nanocápsulas de óleo (NPP) impregnados por 30 min

Tratamento	L^*	a^*	b^*	ΔE
Controle T2	$95,34 \pm 0,31^c$	$2,79 \pm 0,05^c$	$-10,97 \pm 0,37^c$	-
T2-CS	$94,68 \pm 0,09^{ab}$	$1,90 \pm 0,03^a$	$-8,62 \pm 0,11^a$	$3,02 \pm 0,12^a$
T2-NSO	$94,53 \pm 0,14^b$	$1,16 \pm 0,07^b$	$-6,22 \pm 0,10^b$	$5,51 \pm 0,10^b$
T2-NPP	$94,77 \pm 0,08^a$	$1,16 \pm 0,04^b$	$-6,25 \pm 0,29^b$	$5,43 \pm 0,29^b$
T2-CSNSO	$94,52 \pm 0,06^b$	$1,22 \pm 0,01^b$	$-6,45 \pm 0,03^b$	$5,27 \pm 0,03^b$

Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa ($p > 0,05$) de acordo com o Teste de Tukey.

Fonte: Do autor

Em virtude das diferenças intrínsecas do controle de cada tipo de tecido, afetando os valores de L^* , a^* e b^* , a Tabela 11 apresenta o comparativo entre os dois tecidos relacionando a diferença total de cor e a diferença no grau de branco. Com base na norma ABNT NBR ISO 105-A05:2007, todos os tratamentos realizados no tecido T1 apresentaram a mesma nota de diferença total de cor, corroborando com os valores de diferença de cor discutidos anteriormente. No entanto, no tecido T2, destaca-se que a amostra T2-CS apresentou a menor alteração, conforme indicado pela escala e sendo confirmado pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

Ao analisar as médias, observa-se que houve variações significativas entre os tratamentos aplicados ao tecido T1, enquanto para o tecido T2, essa diferença não foi tão acentuada.

Tabela 11 – Diferença total de cor e grau de branco comparando os tipos de tecidos

Tratamento	ΔE	Nota ΔE	ΔBco CIE	ΔBco Berger
T1-CS	$4,51 \pm 0,35^b$	2,5	$-14,07 \pm 0,75^d$	$-11,98 \pm 0,75^d$
T1-CSNSO	$5,57 \pm 0,35^d$	2,5	$-22,98 \pm 0,76^a$	$-21,18 \pm 0,74^b$
T1-NPP	$4,87 \pm 0,18^{bc}$	2,5	$-19,70 \pm 0,95^b$	$-17,18 \pm 1,17^c$
T1-NSO	$4,68 \pm 0,25^b$	2,5	$-17,48 \pm 0,98^c$	$-17,68 \pm 0,98^c$
T2-CS	$3,02 \pm 0,12^a$	3	$-13,83 \pm 0,60^d$	$-16,28 \pm 0,73^c$
T2-CSNSO	$5,27 \pm 0,03^{cd}$	2,5	$-23,87 \pm 0,23^a$	$-27,18 \pm 0,30^a$
T2-NPP	$5,43 \pm 0,29^{cd}$	2,5	$-24,22 \pm 1,40^a$	$-27,39 \pm 1,62^a$
T2-NSO	$5,51 \pm 0,10^d$	2,5	$-24,90 \pm 0,42^a$	$-28,28 \pm 0,51^a$

Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa ($p > 0,05$) de acordo com o Teste de Tukey.

Fonte: Do autor

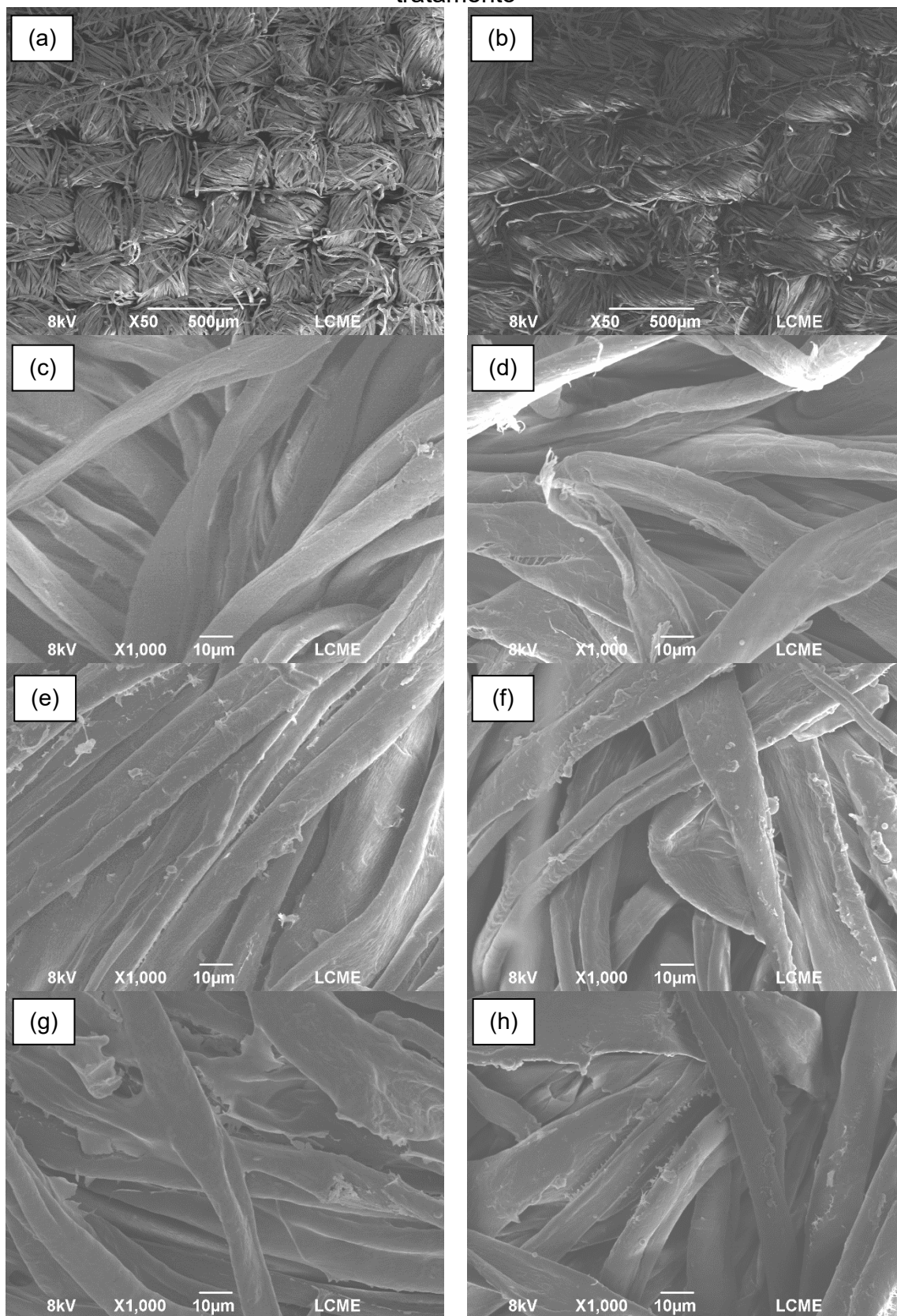
Tratando-se de tratamento em um mesmo tecido, tais alterações podem estar relacionadas justamente ao aspecto visual da solução de impregnação já apresentado na Figura 26 e suas características de ligação físico-químicas. Os tratamentos T2-CSNSO, T2-NPP, T2-NSO e T1-CSNSO não apresentam diferenças significativas entre si em relação à diferença do grau de branco (ΔBco CIE). No entanto, essas amostras apresentaram maior variação de grau de branco em comparação com o tecido T1. Esse resultado era esperado, uma vez que o tecido T2 possui maior gramatura e maior quantidade de material impregnado. Conforme caracterizado e evidenciado na Figura 29a e 29b, embora dos tecidos 1 e 2 tenham densidades semelhantes em termos de fios/polegada, o T2 possui maior capacidade de retenção dos próprios fios. Fios mais grossos geralmente têm uma maior área de superfície em comparação com fios mais finos, o que pode permitir uma absorção de líquidos mais eficiente, levando a resultados mais favoráveis de retenção de material. Por outro lado, os tratamentos no tecido T1 tiveram variações consideráveis no grau de branco devido à possível saturação da quantidade de material absorvido, influenciada pela viscosidade das soluções, tendendo a ser menos uniforme pela prioridade das interações físico-químicas mais fortes. É importante ressaltar que o processo de impregnação segue uma relação de banho em função da massa do tecido. Portanto, os dois substratos foram expostos a uma mesma massa de óleo por massa de tecido.

Apesar de todas as alterações evidenciadas, constatou-se uniformidade visual nas amostras em todos os tratamentos, indicando uma impregnação homogênea. Para estudos futuros, é pertinente avaliar a funcionalização em tecidos tingidos, examinando a interação do acabamento com os corantes, visando verificar a possível ocorrência de manchas.

A Figura 29 apresenta a morfologia da superfície dos dois tipos de tecido utilizados no estudo, onde pode-se observar a distinção na estrutura dos tecidos. O tecido T1, apresentado na Figura 29a, possui uma padronagem de tela simples e um fio mais fino. Já o tecido T2 (Figura 29b), exibe um fio de urdume mais grosso e dois fios de trama justapostos, embora também possua padrão tela, trata-se de um ligamento de dupla trama. Essas diferenças estão relacionadas a gramatura de cada material podendo impactar na funcionalização, uma vez que gramaturas mais altas permitem maior absorção dos tratamentos.

Em relação aos acabamentos realizados, nota-se uma maior rugosidade na superfície das fibras em comparação à amostra controle, evidenciando a presença dos tratamentos. Entre os tratamentos, observa-se a formação de uma película nas fibras durante a impregnação com NPP (Figura 29g). Isso pode ser atribuído ao tamanho das partículas, que pode tornar difícil a observação com a técnica e aumento utilizado para a visualização. Além disso, durante a formação das cápsulas, o agente reticulante (TPP) foi gotejado sobre a dispersão de quitosana-neem. Isso pode resultar em áreas onde as cápsulas não foram formadas completamente, permitindo a criação dessa película que preenche o espaço entre as fibras e a incorpora as partículas, resultando em um aprisionamento no tecido. Em reação aos diferentes tecidos, não foram observadas diferenças de morfologia das fibras.

Figura 29 - Micrografias MEV dos tecidos T1, com e sem tratamento, e T2, sem tratamento



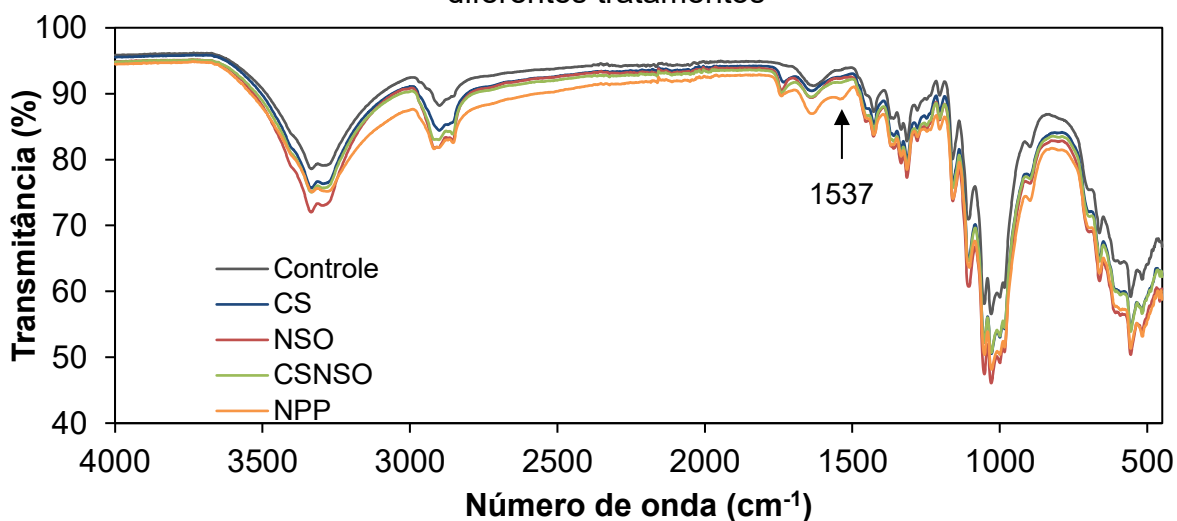
Legenda: Tecidos de algodão T1 (a) (c) e T2 (b) (d) sem tratamento, T1 recoberto de CS (e), T1 recoberto de NSO (f), T1 recoberto de NPP (g), T1 recoberto de CSNSO (h).

Fonte: Do autor

As amostras com os diferentes tratamentos foram também avaliadas por FTIR, cujos espectros estão apresentados na Figura 30. Como não houve diferença entre os diferentes tecidos, para melhor visualização, os resultados apresentados referem-se ao tecido T1.

Além dos picos previamente abordados (Figura 22) em relação à fibra celulósica, ao óleo de neem e à quitosana, na Figura 30 destaca-se uma nova banda de absorção em 1537 cm^{-1} para o tecido funcionalizado com NPP. Esta banda corresponde à ligação cruzada entre os grupos fosfatos do TPP e os grupos aminos da quitosana, reforçando a confirmação da formação das cápsulas e a sua presença no tecido (Hu *et al.*, 2011).

Figura 30 – Espectros FTIR-ATR do tecido controle de algodão e das amostras com diferentes tratamentos



Fonte: Do autor

4.6 AVALIAÇÃO DA REPELÊNCIA À MOSQUITOS DOS SUBSTRATOS TÊXTEIS FUNCIONALIZADOS

Amostras de tecido de algodão sem tratamento (controle), recoberta com quitosana (CS), óleo de semente de neem (NSO), quitosana e óleo (CSNSO), óleo seguido do revestimento de quitosana (NSO+CS) e impregnadas com nanocápsulas de quitosana carregadas com óleo de semente de neem (NPP) foram avaliadas em termos de repelência contra mosquitos fêmeas de *Aedes aegypti*.

Esta avaliação foi realizada com o intuito de conhecer o potencial da atividade repelente do óleo de semente de neem impregnado em tecidos de algodão, uma vez

que fatores como método de extração e até mesmo o processo de impregnação, secagem e cura podem interferir na atividade.

Dentre os fatores que podem influenciar na atividade, está a área do substrato funcionalizado que terá contato com os insetos. Dessa forma, inicialmente, foi avaliado o efeito do tamanho da amostra na atividade repelente dos tecidos, cujos resultados estão apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 - Repelência dos tratamentos em diferentes tamanhos de amostras do tecido T1 com análise via BG-Cage

Tratamento	5 cm x 10 cm		10 cm x 15 cm	
	Média de aproximação	%proteção	Média de aproximação	%proteção
Controle	49,0 ± 7,1 ^a	-	76,1 ± 10,4 ^a	-
NPP	41,7 ± 8,6 ^a	15%	62,0 ± 6,8 ^{ab}	19%
CSNSO	35,4 ± 4,8 ^a	28%	42,4 ± 6,8 ^b	44%

Letras minúsculas iguais na mesma coluna indicam que não houve diferença significativa ($p > 0,05$) de acordo com o Teste de Tukey.

Fonte: Do autor

Ao avaliar o efeito de repelentes irritantes, como é o caso do óleo de neem, é necessário lembrar que eles não necessariamente evitam que os insetos se aproximem, mas desencorajam as picadas (DEBBOUN; FRANCES; STRICKMAN, 2014; ATKOVSKA *et al.*, 2023). Esse tipo de repelência não deixa de ser uma forma de reduzir o contato dos transmissores vetoriais com um humano e foi justamente o observado durante a realização dos ensaios

Os dados da Tabela 12 evidenciam o impacto do tamanho da amostra nos ensaios de repelência aos mosquitos. Para as amostras 5 cm x 10 cm não houve diferença significativa entre os tratamentos e o grupo de controle. Contudo, ao aumentar a área de superfície do tecido, observa-se uma melhora significativa, em relação ao controle, na taxa de proteção para o tratamento CSNSO. Dessa forma, entende-se que um tamanho menor de amostra não proporcionou uma liberação de agente ativo suficiente para gerar um efeito repelente eficaz, enquanto o tamanho maior ocasionou em 16% a mais de proteção. Optando por dar continuidade às análises com amostras no tamanho de 10 cm x 15 cm, visa-se possibilitar a avaliação das funcionalizações em relação à repelência a mosquitos.

A Tabela 13 compara o impacto do uso de uma ou duas camadas dos tecidos T1 e T2 (10 cm x 15 cm). Em relação às médias de aproximações dos mosquitos, de

forma geral, houve a tendência de redução significativa nos tecidos tratados em comparação ao controle. No entanto, não se observa diferença significativa entre os próprios tratamentos.

Tabela 13 - Repelência dos tratamentos em diferentes camadas de amostras com análise via BG-Cage para os tecidos T1 e T2

Tecido- Tratamento	1 camada		2 camadas	
	Média de aproximação	%proteção	Média de aproximação	%proteção
Controle T1	76,1 ± 10,4 ^c	-	89,9 ± 9,9 ^c	-
T1-NPP	62,0 ± 6,8 ^c	19%	48,4 ± 10,0 ^d	46%
T1-CSNSO	42,4 ± 6,8 ^d	44%	45,0 ± 9,4 ^d	50%
Controle T2	33,4 ± 0,9 ^b	-	36,6 ± 1,6 ^a	-
T2-NPP	26,6 ± 0,8 ^a	20%	23,6 ± 1,2 ^b	36%
T2-CSNSO	23,5 ± 1,1 ^a	29%	22,9 ± 2,2 ^b	37%

Letras minúsculas iguais na mesma coluna indicam ausência de diferença significativa ($p > 0,05$) de acordo com o Teste de Tukey.

Fonte: Do autor

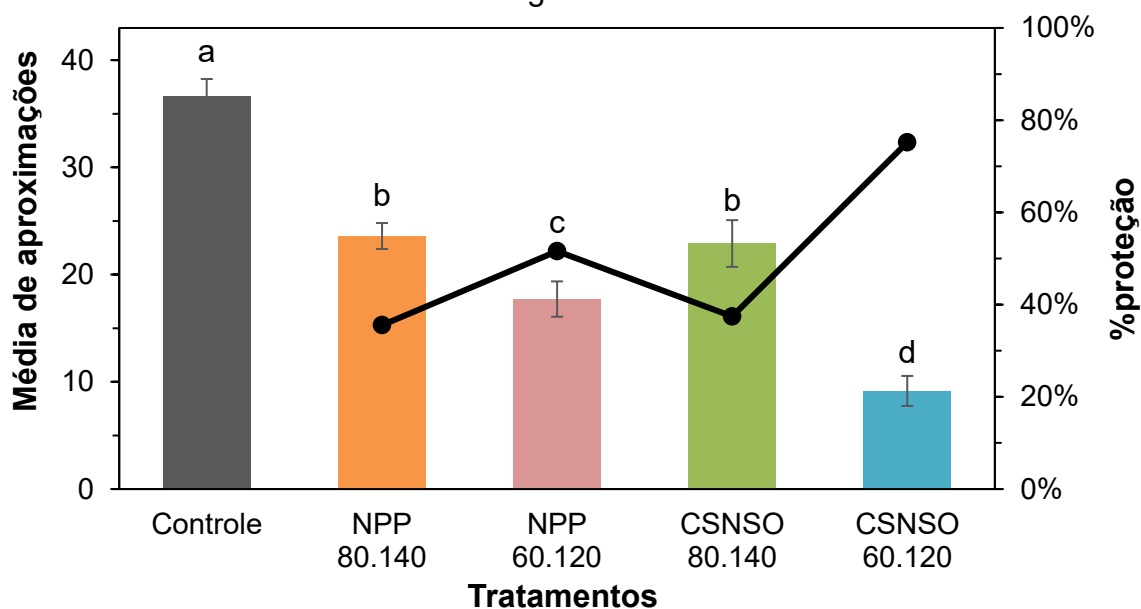
Tendo como foco a taxa de proteção (%proteção) contra os mosquitos, ao comparar os resultados para os tecidos T2 e T1, verifica-se que a utilização de 2 camadas de tecido resulta em um efeito mais pronunciado. Essa observação pode ser justificada por duas razões principais. Em primeiro lugar, a utilização de duas camadas pode proporcionar uma maior concentração do tratamento e, conseqüentemente, agente ativo na área testada, resultando em uma força de repelência mais robusta. Em segundo lugar, a possível redução da permeabilidade do tecido com duas camadas pode dificultar a passagem dos odores atrativos emitidos pelo corpo humano. Nesse contexto, a competição com o odor proveniente do analista, que conduziu os experimentos, com o do tratamento torna-se menos favorável a aproximações, contribuindo para uma proteção mais efetiva.

Ao analisar o tipo de tecido na análise via BG-Cage, observou-se que no geral o tecido T2 teve uma média de aproximação menor, podendo estar relacionado a maior absorção da funcionalização devido à gramatura do tecido. A diferença clara nas médias de aproximações entre os tipos de tecido, além da diferença de gramatura, suscita uma consideração importante: a possibilidade de influência da mudança do analista que conduz os experimentos. A variação nos comportamentos e respostas dos mosquitos pode ter sido impactada pela presença de diferentes indivíduos, o que, por sua vez, pode ter contribuído para as discrepâncias nas médias. Portanto, os

desvios padrão dos tecidos T1 podem estar relacionadas à própria variabilidade dos analistas que realizaram o teste, adicionando uma camada de complexidade aos resultados. Por esse motivo, a própria fabricante da BG-Cage recomenda que, durante o desenvolvimento do produto, sejam utilizados de dois a três voluntários para testes em uma mesma amostra (BioGents, 2024).

Dessa forma, decidiu-se prosseguir com o estudo utilizando o tecido T2, pela maior presença de tratamento, buscando avaliar o efeito de mudanças discretas da temperatura de processamento na taxa de proteção. Para isso, foi reduzida a temperatura de secagem de 80 para 60 °C e a de cura de 140 para 120 °C e os resultados estão apresentados na Figura 31.

Figura 31 – Média de aproximação (barras) e %proteção (linha) dos tratamentos em análise via BG-Cage para o tecido T2 considerando redução na temperatura de secagem e cura



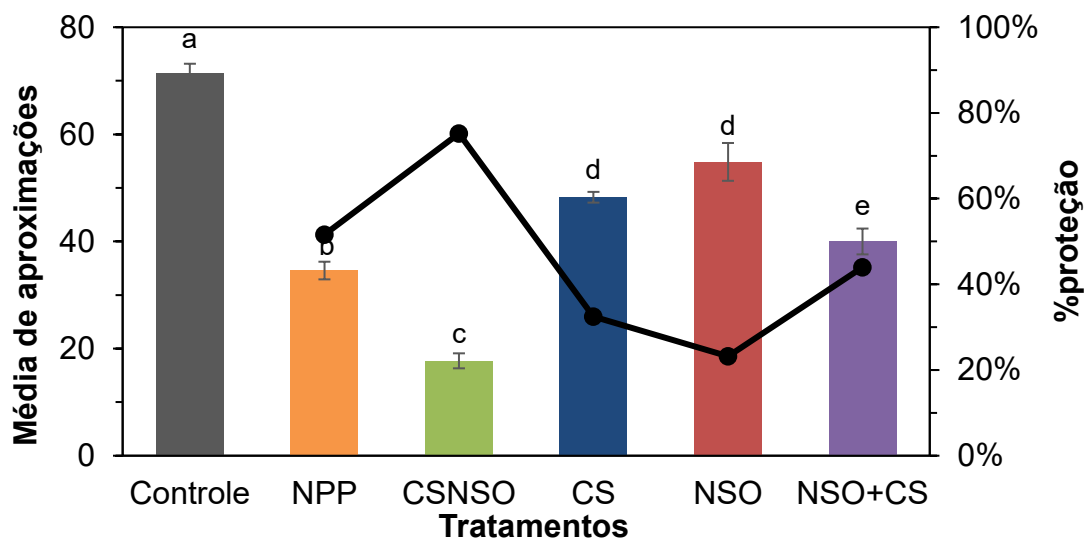
Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa ($p > 0,05$) de acordo com o Teste de Tukey.

Fonte: Do autor

Com base no que foi apresentado na Figura 31, notou-se que a redução nas temperaturas resultou em um aumento significativo na taxa de proteção para ambos os tratamentos. Diante desse cenário, foram conduzidos ensaios abrangendo todas as soluções de impregnação, preparadas sob as condições de 30 minutos de imersão, 60 °C para a secagem e 120 °C para a cura. O objetivo desses ensaios foi comparar o efeito da presença conjunta do óleo de neem e quitosana com a influência quando

esses elementos são utilizados separadamente e os resultados estão demonstrados na Figura 32.

Figura 32 - Média de aproximação (barras) e %proteção (linha) das funcionalizações em T2 com análise via BG-Cage



Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa ($p > 0,05$) de acordo com o Teste de Tukey.

Fonte: Do autor

As amostras tratadas foram capazes de reduzir a média de tentativa de picada dos insetos em todos os tratamentos avaliados, quando comparados com as amostras controle. Todos os tratamentos também apresentaram diferença entre si, exceto CS e NSO, quando comparadas as médias de aproximação dos mosquitos. O tratamento CSNSO foi o tratamento que apresentou a menor taxa de aproximação, e consequentemente, a maior taxa de proteção (75 %), seguido do tratamento NPP (55 %). Essa diferença entre CSNSO e NPP vai de encontro com o obtido nos resultados dos ensaios de liberação *in vitro*, nos quais o tratamento com nanocápsulas resultou em uma liberação mais lenta e gradual do agente ativo.

É possível que o tempo de exposição das amostras (2 min), na abertura da BG-Cage contendo os mosquitos, não tenham sido suficientes para que o agente ativo fosse liberado em concentrações capazes de competir efetivamente com os odores emitidos pelos analistas, resultando na repelência observada. Em contrapartida, o fato de a parede das nanocápsulas controlar a liberação do óleo, apresentando a tendência crescente na liberação *in vitro*, indica maior durabilidade do efeito repelente, podendo ser uma vantagem em relação ao recobrimento, que apresentou liberação

um pouco mais rápida. Sharma, Dua e Sharma (1995) conduziram testes de ação repelente, aplicando uma mistura contendo 2% de óleo de neem e óleo de coco diretamente na pele, e obtiveram 85% de proteção contra o mosquito *Aedes Aegypti*. No entanto, o uso de repelentes em roupas e outros tecidos é preferível em comparação com a aplicação direta na pele, uma vez que reduz a probabilidade de reações adversas.

A reduzida eficácia do tratamento utilizando somente a solução de NSO, assim como NSO+CS, pode ser explicada pela degradação e volatilização do seu componente ativo, a azadiractina, que ocorrem devido à exposição à temperatura (FORIM *et al.*, 2010). É importante ressaltar que os testes foram conduzidos pelo menos um mês após a aplicação da solução nas amostras.

No geral, os resultados se mostraram promissores, demonstrando que a combinação sinérgica entre a quitosana e o óleo de neem, seja de forma incorporada como recobrimento ou com a impregnação das nanocápsulas. A diferença de proteção entre CSNSO e NPP pode ser atribuída a maior disponibilidade do óleo na superfície da amostra CSNSO em comparação com a impregnada com o óleo encapsulado (NPP).

Entretanto, é crucial realizar uma avaliação de durabilidade ao longo do tempo, repetindo os ensaios com as mesmas amostras (ENUKOHA; HASSANDOUST; TALBALAGHI, 2023). Além disso, a avaliação da resistência à lavagem é essencial para verificar a eficácia da repelência após múltiplas lavagens consecutivas. Esses passos adicionais, realizando tanto para temperatura de secagem e cura mais altas (80 e 140 °C) quanto para as mais baixas (60 e 120°C), permitirão uma compreensão mais abrangente do desempenho dessas funcionalizações ao longo do tempo e sob condições mais adversas, permitindo uma melhor definição de tratamento.

Outro ponto relevante seria a condução de ensaios de semicampo com os tratamentos selecionados, visando simular de maneira mais fiel as condições encontradas em campo. Nos ensaios de semicampo, os testes são realizados em uma espécie de estufa. O voluntário permanece em uma extremidade, enquanto os mosquitos fêmeas são soltos na outra, permitindo um maior espaço entre a entrada dos mosquitos e o voluntário. Isso cria uma situação em que há maior competição entre a atração do voluntário e a repelência proporcionada pelo tecido tratado, simulando de forma mais fiel as condições encontradas em campo. Essa abordagem

proporcionaria uma avaliação mais abrangente do desempenho dos tratamentos em ambientes mais próximos da realidade, contribuindo para uma compreensão mais completa de sua eficácia em cenários práticos. Isso é especialmente relevante, considerando que os ensaios de repelência realizados neste estudo foram conduzidos utilizando mosquitos fêmeas sem alimentação de sangue, representando uma condição extrema na busca pelo alvo.

5 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos demonstraram que a metodologia utilizada permite a obtenção de nanocápsulas de quitosana/TPP com NSO. A investigação sobre o tempo de dispersão ultrassônica destacou sua influência direta no tamanho, na distribuição de tamanho e na estabilidade das nanocápsulas. Os resultados mais consistentes, reprodutíveis e estáveis ao longo do tempo foram alcançados ao utilizar tempos menores de sonicação durante a primeira etapa. Portanto, os resultados mais satisfatórios foram observados quando a formulação foi submetida a 9 min de processamento para nanoemulsões e a 27 min para a combinação da nanoemulsão com a solução polimérica.

Em relação ao processo de impregnação, a cura UV promoveu um maior ganho de massa em comparação com a cura a 140°C. No entanto, não foi estabelecida uma correlação direta entre o aumento de massa e a quantidade de agente ativo liberado, sendo que o processamento com secagem a 80°C e a cura a 140°C resultou em maiores quantidades liberadas de óleo de neem. Além disso, o tempo de imersão influenciou diretamente na absorção do agente ativo pelos tecidos, afetando a alteração de cor e o grau de branco. Observou-se que um aumento no tempo de imersão levou a uma maior diferença de cor e a uma redução no grau de branco, sugerindo uma absorção mais substancial do óleo de neem.

A funcionalização com as nanocápsulas resultou em uma menor alteração de cor e em uma liberação menor e mais gradual do agente ativo do que o recobrimento. Portanto, para aplicações em produtos têxteis destinados ao uso prolongado, como roupas de proteção contra insetos, a utilização de nanocápsulas pode ser mais vantajosa, proporcionando uma liberação controlada do óleo de neem e minimizando as alterações de cor e grau de brancura. No entanto, em situações que requerem uma

ação imediata, o revestimento direto pode ser preferível, oferecendo uma liberação rápida do agente ativo.

Os tratamentos com óleo de neem em tecidos de algodão mostram uma promissora eficácia na repelência de mosquitos fêmeas do *Aedes aegypti*. Fatores como o tamanho da amostra e o número de camadas do tecido influenciaram a eficácia do tratamento, sendo que amostras maiores e de duas camadas apresentaram uma proteção consideravelmente superior.

O tecido T2, de maior gramatura e conseqüente maior absorção do tratamento, revelou-se mais eficiente na redução da média de aproximação dos mosquitos, com apenas $22,9 \pm 2,2$ aproximações para o tratamento CSNSO, em comparação com $45,0 \pm 9,4$ aproximações do tecido T1. Além disso, pequenos ajustes nas temperaturas de processamento resultaram em um aumento significativo na taxa de proteção para ambos os tratamentos, elevando de 37% para 75% no caso do CSNSO e de 36% para 52% para o NPP, evidenciando a importância da otimização desses parâmetros.

A combinação de quitosana e óleo de neem apresentou os resultados mais promissores em comparação com sua aplicação individual. As taxas de repelência ao mosquito *Aedes aegypti* alcançaram até 75% para o revestimento de quitosana com óleo de neem incorporado, representando uma melhoria de 23% em relação aos ensaios realizados com a impregnação das nanocápsulas.

No entanto, é crucial realizar estudos adicionais para avaliar a durabilidade desses tratamentos ao longo do tempo e em condições mais adversas, como resistência à lavagem e testes de campo simulados. Tais pesquisas proporcionarão uma compreensão mais abrangente do desempenho dessas funcionalizações e contribuirão para o desenvolvimento de estratégias eficazes de prevenção de doenças transmitidas por mosquitos.

Os resultados obtidos indicam a importância da combinação entre óleo de neem e quitosana para otimizar a proteção contra os mosquitos. Este cenário motiva investigações adicionais sobre a capacidade de manter tal eficácia, mesmo após múltiplas lavagens, além de abrir novas perspectivas para a produção de tecidos repelentes/inseticidas, sendo uma abordagem única de proteção devido as dificuldades de falta de produto e ferramentas para agir na origem dos mosquitos transmissores de doenças.

5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Na sequência do presente trabalho, surgiram alguns aspectos que se revelaram interessantes para uma abordagem mais detalhada e são eles:

- Realizar estudos mais aprofundados sobre a composição do óleo de neem e sua interação com o tecido tratado e os voluntários, considerando fatores como a quantidade de ingrediente ativo ou adjuvantes presentes, a dimensão adequada do tecido a ser utilizado, a volatilidade do ingrediente ativo, a temperatura durante a preparação dos têxteis, entre outros fatores.
- Conduzir ensaios de semicampo com os tratamentos selecionados para simular condições mais próximas da realidade, contribuindo para uma compreensão mais completa da eficácia dos tratamentos em cenários práticos.
- Explorar as propriedades antimicrobianas do óleo de neem e sua aplicação potencial em outros contextos além da repelência de mosquitos, ampliando assim as possibilidades de uso do tecido tratado.
- Investigar como o tratamento pode ser aproveitado em diferentes aplicações, contribuindo para o desenvolvimento de materiais têxteis com funcionalidades adicionais.
- Analisar o efeito desse tipo de acabamento em tecidos tintos.
- Investigar a aplicação desses tratamentos em outros tipos de tecido e fibras.
- Estudar fatores que podem contribuir para a diminuição da eficácia de um repelente ou inseticida, como a abrasão do têxtil, a lavagem em água, o contato com o suor ou a chuva, as elevadas temperaturas, a absorção e evaporação através da pele, e a exposição ao vento, interação com outros produtos, entre outros.
- Incluir considerações sobre problemas e questões de segurança ambientais, éticas e regulatórias decorrentes da falta de conhecimento sobre os impactos de materiais nanométricos na saúde humana e no meio ambiente.

Essa abordagem pode fornecer uma compreensão mais completa do potencial dos tratamentos de tecido com óleo de neem e suas possíveis aplicações práticas.

REFERÊNCIAS

- ABRANTES, Daniele Carvalho; ROGERIO, Carolina Barbara; OLIVEIRA, Jhones L. de; CAMPOS, Estefânia V. R.; ARAÚJO, Daniele Ribeiro de; PAMPANA, Laurindo Cesar; DUARTE, Marcelo José; VALADARES, Geórgio Friesz; FRACETO, Leonardo Fernandes. Development of a Mosquito Repellent Formulation Based on Nanostructured Lipid Carriers. **Frontiers In Pharmacology**, [S.L.], v. 12, 11 out. 2021. Frontiers Media SA. <http://dx.doi.org/10.3389/fphar.2021.760682>.
- AFFINCY, S.R.; RAMAKRISHNAN, G. ECO FRIENDLY FLY REPELLENT FINISH ON COTTON FABRIC USING VEGETATIVE PRODUCTS. **International Research Journal Of Engineering And Technology**, Coimbatore Cidade na Índia, v. 8, n. 7, p. 4283-4287, jul. 2021.
- AGÊNCIA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL (Estados Unidos). **Biopesticides Registration Decision Document: cold pressed neem oil**. Cold Pressed Neem Oil. 2012. Disponível em: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockey=P1014CBC.txt>. Acesso em: 16 ago. 2023.
- AGÊNCIA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL (Estados Unidos). **Repellent-Treated Clothing**. Disponível em: <https://www.epa.gov/insect-repellents/repellent-treated-clothing>. Acesso em: 09 ago. 2023.
- AGÊNCIA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL (Estados Unidos). **Using Insect Repellents Safely and Effectively**. Disponível em: <https://www.epa.gov/insect-repellents/using-insect-repellents-safely-and-effectively>. Acesso em: 26 jul. 2023.
- AGÊNCIA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL (Estados Unidos). **Using Repellent Products to Protect against Mosquito-Borne Illnesses**. Disponível em: <https://www.epa.gov/insect-repellents/using-repellent-products-protect-against-mosquito-borne-illnes>. Acesso em: 21 jul. 2023.
- AGÊNCIA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL (Estados Unidos). **What is an Insect Repellent?** 2023. Disponível em: <https://www.epa.gov/insect-repellents/what-insect-repellent>. Acesso em: 26 jul. 2023.
- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (Brasil). **Produtos saneantes para o combate ao Aedes aegypti**. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/saneantes/aedes-aegypti>. Acesso em: 26 jul. 2023.
- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **NOTA TÉCNICA Nº 9/2019/SEI/GHCOS/DIRE3/ANVISA: Enquadramento de roupas, acessórios de uso pessoal, objetos e tecidos repelentes ou inseticidas e de produtos repelentes ou inseticidas para aplicação em roupas, acessórios de uso pessoal, objetos e tecidos, com a finalidade de proteção do corpo**. Brasília: Anvisa, 2019.
- AGNIHOTRI, Arunabh; ALI, S. Wazed; DAS, Apurba; ALAGIRUSAMY, R. Insect-repellent textiles using green and sustainable approaches. **The Impact And Prospects Of Green Chemistry For Textile Technology**, [S.L.], p. 307-325, 2019. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-08-102491-1.00011-3>.
- ALBA, Samuel Lepe de; GARCÍA-GONZÁLEZ, Conrado; ORTEGA, Marcos A. Coronado; BAUTISTA, José R. Ayala; ALPÍREZ, Gisela Montero; NÓÑEZ, Daniela G.L. Montes. Extraction Methods and Applications of Bioactive Compounds from Neem (*Azadirachta indica*): a mini-review. **Mini-Reviews In Organic Chemistry**, [S.L.], v. 20, n. 7, p. 644-654,

nov. 2023. Bentham Science Publishers Ltd.
<http://dx.doi.org/10.2174/1570193x19666220707125726>.

ALEXANDRINO, Taís Téo de Barros. **Síntese e caracterização de nanopartículas de quitosana-tripolifosfato e seu potencial como antifúngico natural para aplicação por aspersão em frutas frescas**. 2020. 94 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Biotecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/13080>. Acesso em: 27 fev. 2022.

ALMEIDA, Herllan Vieira de. **Características físicas e físico-químicas de partículas de alginato e quitosana obtidas por gelificação iônica**. 2019. 40 f. Monografia (Especialização) - Curso de Química, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/50379> Acesso em: 27 fev. 2022.

ALONSO, Diana; GIMENO, Miquel; OLAYO, Roberto; VÁZQUEZ-TORRES, Humberto; SEPÓLVEDA-SÁNCHEZ, José D.; SHIRAI, Keiko. Cross-linking chitosan into UV-irradiated cellulose fibers for the preparation of antimicrobial-finished textiles. **Carbohydrate Polymers**, [S.L.], v. 77, n. 3, p. 536-543, jul. 2009. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2009.01.027>.

ALZOHAIRY, Mohammad A.. Therapeutics Role of Azadirachta indica (Neem) and Their Active Constituents in Diseases Prevention and Treatment. **Evidence-Based Complementary And Alternative Medicine**, [S.L.], v. 2016, p. 1-11, 2016. Hindawi Limited.
<http://dx.doi.org/10.1155/2016/7382506>.

ALZOHAIRY, Mohammad A.. Therapeutics Role of Azadirachta indica (Neem) and Their Active Constituents in Diseases Prevention and Treatment. **Evidence-Based Complementary And Alternative Medicine**, [S.L.], v. 2016, p. 1-11, 2016. Hindawi Limited.
<http://dx.doi.org/10.1155/2016/7382506>.

ANTUNES, Joana C.; DOMINGUES, Joana M.; MIRANDA, Catarina S.; SILVA, A. Francisca G.; HOMEM, Natália C.; AMORIM, M. Teresa P.; FELGUEIRAS, Helena P.. Bioactivity of Chitosan-Based Particles Loaded with Plant-Derived Extracts for Biomedical Applications: emphasis on antimicrobial fiber-based systems. **Marine Drugs**, [S.L.], v. 19, n. 7, p. 359, 23 jun. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/md19070359>.

ANTUNES, Joana C.; DOMINGUES, Joana M.; MIRANDA, Catarina S.; SILVA, A. Francisca G.; HOMEM, Natália C.; AMORIM, M. Teresa P.; FELGUEIRAS, Helena P.. Bioactivity of Chitosan-Based Particles Loaded with Plant-Derived Extracts for Biomedical Applications: emphasis on antimicrobial fiber-based systems. **Marine Drugs**, [S.L.], v. 19, n. 7, p. 359, 23 jun. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/md19070359>.

ANUAR, Aufa Adeela; YUSOF, Nurain. Methods of imparting mosquito repellent agents and the assessing mosquito repellency on textile. **Fashion And Textiles**, [S.L.], v. 3, n. 1, 28 jun. 2016. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1186/s40691-016-0064-y>.

ANWAR, Faiza; ABBAS, Mudassar; MALIK, Mumtaz Hasan; CHEEMA, Amna Aziz; TARIQ, Suniya; AFZAL, Warda; KHAN, Asfandyar. Development of Mosquito-Repellent Camouflage Fabric Using Eucalyptus Oil with Moringa oleifera Gum. **Chemengineering**, [S.L.], v. 7, n. 4, p. 64, 20 jul. 2023. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/chemengineering7040064>.

APOLINÁRIO, Alexandra Conceição; SALATA, Giovanna Cassone; BIANCO, Arthur F. R.; FUKUMORI, Claudio; LOPES, Luciana Biagini. Abrindo a caixa de pandora dos nanomedicamentos: há realmente muito mais 'espaço lá embaixo'. **Química Nova**, São

Paulo, v. 4, n. 2, p. 212-225, fev. 2020. Disponível em:
https://quimicanova.s bq.org.br/detalhe_artigo.asp?id=8037. Acesso em: 14 set. 2023.

ARANHA, Caroline Pereira Moura. **Microencapsulação por gelificação iônica e interação eletrostática do corante de buriti (*Mauritia flexuosa* L. f.)**. 2015. 177 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Engenharia e Ciência de Alimentos, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", São José do Rio Preto, 2015. Disponível em:
<http://hdl.handle.net/11449/127991> Acesso em: 25 fev. 2022.

ASADOLLAHI, Amin; KHOOBDEL, Mehdi; ZAHRAEI-RAMAZANI, Alireza; AZARMI, Sahar; MOSAWI, Sayed Hussain. Effectiveness of plant-based repellents against different Anopheles species: a systematic review. **Malaria Journal**, [S.L.], v. 18, n. 1, dez. 2019. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1186/s12936-019-3064-8>.

ASCHNER, Michael. Nanoparticles. **Nanoneuroscience And Nanoneuropharmacology**, [S.L.], p. 141-152, 2009. Elsevier. [http://dx.doi.org/10.1016/s0079-6123\(08\)80008-8](http://dx.doi.org/10.1016/s0079-6123(08)80008-8).

ASSIS, Letícia Marques de; ZAVAREZE, Elessandra da Rosa; PRENTICE-HERNÁNDEZ, Carlos; SOUZA-SOARES, Leonor Almeida de. Revisão: características de nanopartículas e potenciais aplicações em alimentos. **Brazilian Journal Of Food Technology**, [S.L.], v. 15, n. 2, p. 99-109, 24 abr. 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1981-67232012005000004>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10588**: Tecidos planos - Determinação da densidade de fios. Rio de Janeiro, 2015. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10591**: Materiais têxteis - Determinação da gramatura de superfícies têxteis. Rio de Janeiro, 2008. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12546**: Materiais têxteis - Ligamentos fundamentais de tecidos planos - Terminologia. Rio de Janeiro, 2017. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 105-A05**: Têxteis - Ensaio de solidez da cor. Parte A05: Avaliação instrumental da alteração da cor para classificação na escala cinza. Rio de Janeiro, 2007. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 105-C06**: Têxteis - Ensaio de solidez da cor. Parte C06: Solidez da cor à lavagem doméstica e comercial. Rio de Janeiro, 2010. 10 p.

ATKOVSKA, Katerina; KUVENDZIEV, Stefan; LISICHKOV, Kiril; MARINKOVSKI, Mirko; MUSTAFA, Erhan. Plant Based Repellents: green mosquito control. In: GHAFARI, Peyman (ed.). **Bio-mathematics, Statistics, and Nano-Technologies**: mosquito control strategies. New York: Chapman And Hall/Crc, 2023. Cap. 11. p. 207-213. (9781003035992).

AYINDE, A.A.; MORAKINYO, O.M.; SRIDHAR, M.K.C. Repellency and larvicidal activities of Azadirachta indica seed oil on Anopheles gambiae in Nigeria. **Heliyon**, [S.L.], v. 6, n. 5, maio 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03920>.

AYYARIL, Sefeera Sadik; SHANABLEH, Abdallah; BHATTACHARJEE, Sourjya; RAWAS-QALAJI, Mutasem; CAGLIANI, Roberta; SHABIB, Ahmad Ghassan; KHAN, Muhammad Imran. Recent progress in micro and nano-encapsulation techniques for environmental applications: a review. **Results In Engineering**, [S.L.], v. 18, p. 101094, jun. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101094>.

AZEVEDO, Maria A.; BOURBON, Ana I.; VICENTE, António A.; CERQUEIRA, Miguel A.. Alginate/chitosan nanoparticles for encapsulation and controlled release of vitamin B2. **International Journal Of Biological Macromolecules**, [S.L.], v. 71, p. 141-146, nov. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2014.05.036>.

BAHRIA, Hana; ERBIL, Yilmaz. UV technology for use in textile dyeing and printing: photocured applications. **Dyes And Pigments**, [S.L.], v. 134, p. 442-447, nov. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.dyepig.2016.07.042>.

BANO, R. Use of Chitosan in Mosquito Repellent Finishing for Cotton Textiles. **Journal Of Textile Science & Engineering**, [S.L.], v. 04, n. 05, p. 1-3, 2014. OMICS Publishing Group. <http://dx.doi.org/10.4172/2165-8064.1000162>.

BARROSO, Tiago Linhares Cruz Tabosa; ALEXANDRE, Joana de Barros; SILVA, Luana Carvalho da; CASTELO, Rachel Menezes; RIBEIRO, Laiza Brito; FURTADO, Roselayne Ferro; ZAMBELLI, Rafael Audino. Tecnologia de encapsulamento na área de alimentos: uma revisão. **Research, Society And Development**, [S.L.], v. 10, n. 7, 14 jun. 2021. Research, Society and Development. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i7.16240>.

BEKELE, Damtew. Review on insecticidal and repellent activity of plant products for malaria mosquito control. **Biomedical Research And Reviews**, [S.L.], v. 2, n. 2, 2018. Open Access Text Pvt, Ltd. <http://dx.doi.org/10.15761/brr.1000114>.

BENELLI, Giovanni; CANALE, Angelo; TONIOLO, Chiara; HIGUCHI, Akon; MURUGAN, Kadarkarai; PAVELA, Roman; NICOLETTI, Marcello. Neem (*Azadirachta indica*): towards the ideal insecticide? **Natural Product Research**, [S.L.], v. 31, n. 4, p. 369-386, 12 ago. 2016. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/14786419.2016.1214834>.

BEZERRA, Fabricio Maestá. **LIBERAÇÃO CONTROLADA DO ÓLEO ESSENCIAL DE CITRONELA EM MATRIZ TÊXTIL**. 2016. 146 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2016.

BEZERRA, Fabricio Maestá; SILVA, Taís Larissa; LIS, Manuel J. Vector Diseases Treatment Based on Intermediate Complexion Using Textile Substrates. In: (ed.). **Advances in Textile Engineering**. [S.L.]: 2019. Cap. 5. p. 1-10. Disponível em: <http://hdl.handle.net/2117/176002>. Acesso em: 11 ago. 2023.

BIOGENTS. **Contract Research**: treated textiles. Treated textiles. Disponível em: <https://eu.biogents.com/contract-research-treated-textiles/>. Acesso em: 12 fev. 2024.

BISCAIA, Patricia Bubna. **Desenvolvimento tecnológico e caracterização de micropartículas poliméricas contendo piperina obtidas por spray-drying**. 2019. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Ciências Farmacêuticas, Departamento de Ciências Farmacêuticas, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2019.

BISWAS, Kausik; CHATTOPADHYAY, Ishita; BANERJEE, Ranajit K.; BANDYOPADHYAY, Uday. Biological activities and medicinal properties of neem (*Azadirachta indica*). **Current Science**, [S.L.], v. 82, n. 11, p. 1336-1345, jun. 2002.

BOEKE, Sara J; BOERSMA, Marelle G; ALINK, Gerrit M; VAN LOON, Joop J.A; VAN HUIS, Arnold; DICKE, Marcel; RIETJENS, Ivonne M.C.M. Safety evaluation of neem (*Azadirachta indica*) derived pesticides. **Journal Of Ethnopharmacology**, [S.L.], v. 94, n. 1, p. 25-41, set. 2004. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jep.2004.05.011>.

BRAHMACHARI, Goutam. Neem-An Omnipotent Plant: a retrospection. **ChemBiochem**, [S.L.], v. 5, n. 4, p. 408-421, 1 abr. 2004. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/cbic.200300749>.

BRASIL. Biblioteca Virtual em Saúde do Mato Grosso do Sul. Ministério da Saúde (comp.). **Penúltimo sábado de novembro - Dia Nacional de Combate à Dengue**. Disponível em: <https://bvsm.sau.de.gov.br/penultimo-sabado-de-novembro-dia-nacional-de-combate-a-dengue/>. Acesso em: 21 jul. 2023.

BRATOVCIC, Amra; SULJAGIC, Jasmin. Micro- and nano-encapsulation in food industry. **Croatian Journal Of Food Science And Technology**, [S.L.], v. 11, n. 1, p. 113-121, 31 maio 2019. Faculty of Food Technology Osijek. <http://dx.doi.org/10.17508/cjfst.2019.11.1.17>.

BROWN, Margaret; HEBERT, Adelaide A. Insect repellents: an overview. **Journal Of The American Academy Of Dermatology**, [S.L.], v. 36, n. 2, p. 243-249, fev. 1997. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0190-9622\(97\)70289-5](http://dx.doi.org/10.1016/s0190-9622(97)70289-5).

CACURO, Thiago Aguiar. **Compósitos de alginato como material inteligente, modulação de solubilidade e objeto de ensino**. 2019. Tese (Doutorado em Biotecnologia e Monitoramento Ambiental) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/12093>.

CARVALHO, Andriara Luiza de. **TÉCNICAS DE MICRO/NANOENCAPSULAÇÃO DE PRODUTOS NATURAIS EXTRAÍDO DO CERRADO: óleo de buriti**. 2021. 60 f. TCC (Graduação) - Curso de Farmácia, Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal do Mato Grosso, Barra do Garças, 2021.

CARVALHO, Pedro Jorge Ribeiro de. **Estudo e concepção de um processo para aplicação doméstica de nanopartículas em tecidos têxteis**. 2014. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2014.

CDC FOUNDATION (Estados Unidos). **Innovative Strategies Needed to Control Aedes Aegypti Mosquitoes**. 2017. Elaborada por Judy Monroe. Disponível em: <https://www.cdcfoundation.org/blog/innovative-strategies-needed-control-aedes-aegypti-mosquitoes>. Acesso em: 21 jul. 2023.

CDC FOUNDATION (Estados Unidos). **Preparing for the Health Impacts of a Changing Climate**. 2022. Disponível em: <https://www.cdcfoundation.org/blog/preparing-health-impacts-changing-climate>. Acesso em: 21 jul. 2023.

CENTROS DE CONTROLE E PREVENÇÃO DE DOENÇAS (Estados Unidos). **About Dengue: What You Need to Know**. 2023. Disponível em: <https://www.cdc.gov/dengue/about/index.html>. Acesso em: 21 jul. 2023.

CENTROS DE CONTROLE E PREVENÇÃO DE DOENÇAS (Estados Unidos). **Dengue Around the World**. Disponível em: <https://www.cdc.gov/dengue/areaswithrisk/around-the-world.html>. Acesso em: 21 jul. 2023.

CENTROS DE CONTROLE E PREVENÇÃO DE DOENÇAS (Estados Unidos). **Prevent Mosquito Bites**. Disponível em: <https://www.cdc.gov/mosquitoes/mosquito-bites/prevent-mosquito-bites.html>. Acesso em: 21 jul. 2023.

CENTROS DE CONTROLE E PREVENÇÃO DE DOENÇAS (Estados Unidos). **Why Is Mosquito Control Important?** 2020. Disponível em:

<https://www.cdc.gov/mosquitoes/mosquito-control/why-is-mosquito-control-important.html>. Acesso em: 21 jul. 2023.

CHAGAS, Marcelle; OLIVEIRA, Sara; CODEÇO, Cláudia; ALMEIDA, Iasmim. **Enfrentando a dengue nas favelas e periferias**: e-book interativo. Rio de Janeiro: Infodengue, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.29327/5150203>. Acesso em: 21 jul. 2023.

CHATHA, Shahzad Ali Shahid; ASGHER, Muhammad; ASGHER, Rabbia; HUSSAIN, Abdullah Ijaz; IQBAL, Yasir; HUSSAIN, Syed Makhdoom; BILAL, Muhammad; SALEEM, Faizan; IQBAL, Hafiz M.N. Environmentally responsive and anti-bugs textile finishes – Recent trends, challenges, and future perspectives. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 690, p. 667-682, nov. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.520>.

CHATTERJEE, Soumendranath; BAG, Souvik; BISWAL, Debraj; PARIA, Dipanwita Sarkar; BANDYOPADHYAY, Raktima; SARKAR, Basanta; MANDAL, Abhijit; DANGAR, Tushar Kanti. Neem-based products as potential eco-friendly mosquito control agents over conventional eco-toxic chemical pesticides-A review. **Acta Tropica**, [S.L.], v. 240, abr. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.actatropica.2023.106858>

CHAUDHARY, Suman. Progress on Azadirachta indica Based Biopesticides in Replacing Synthetic Toxic Pesticides. **Frontiers In Plant Science**, [S.L.], v. 8, 2017. Frontiers Media SA. <http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2017.00610>.

CHOUDHURY, Asim Kumar Roy. Finishes for protection against microbial, insect and UV radiation. **Principles Of Textile Finishing**, [S.L.], p. 319-382, 2017. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-08-100646-7.00011-4>.

COMA, V; SEBTI, I; PARDON, P; PICHAVANT, F.H; A DESCHAMPS,. Film properties from crosslinking of cellulosic derivatives with a polyfunctional carboxylic acid. **Carbohydrate Polymers**, [S.L.], v. 51, n. 3, p. 265-271, fev. 2003. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0144-8617\(02\)00191-1](http://dx.doi.org/10.1016/s0144-8617(02)00191-1).

COSTA, Eduardo M.; SILVA, Sara; VEIGA, Mariana; TAVARIA, Freni K.; PINTADO, Maria M.. Chitosan's biological activity upon skin-related microorganisms and its potential textile applications. **World Journal Of Microbiology And Biotechnology**, [S.L.], v. 34, n. 7. 13 jun. 2018. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11274-018-2471-2>.

COSTA, Eveline Soares. **Nano e microencapsulamento do extrato vegetal de Azadirachta indica usando ligninas do bagaço de cana-de-açúcar**: estabilidade e eficácia contra insetos pragas. 2014. 140 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2014.

COSTA, Italo Carvalho da. **Nanopartículas poliméricas preenchidas com óleo essencial de Piper nigrum**: caracterização química e morfológica. 2020. 82 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2020.

CUNHA, Daniel Aparecido Lopes Vieira; ALEXANDRINO, Taís Téó de Barros; ASSIS, Odílio Benedito Garrido. **Otimização do processo de obtenção de nanopartículas de quitosana-tpo pelo método de gelificação ionotrópica**. in: workshop de nanotecnologia aplicada ao agronegócio, 9., 2017, São Carlos. Anais [..]. São Carlos: Embrapa, 2017. p. 56-59. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/167796/1/P-Otimizacao-do-Processode-Obtencao-.pdf>. Acesso em: 27 fev. 2022.

DAS, Parineeta; SHARMA, Namita; PUZARI, Amrit; KAKATI, Dilip Kumar; DEVI, Nirmala. Synthesis and characterization of neem (*Azadirachta indica*) seed oil-based alkyd resins for efficient anticorrosive coating application. **Polymer Bulletin**, [S.L.], v. 78, n. 1, p. 457-479, 6 fev. 2020. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s00289-020-03120-8>.

DAS, Parineeta; SHARMA, Namita; PUZARI, Amrit; KAKATI, Dilip Kumar; DEVI, Nirmala. Synthesis and characterization of neem (*Azadirachta indica*) seed oil-based alkyd resins for efficient anticorrosive coating application. **Polymer Bulletin**, [S.L.], v. 78, n. 1, p. 457-479, 6 fev. 2020. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s00289-020-03120-8>.

DAUDT, Renata M.; EMANUELLI, Juliana; KÜLKAMP-GUERREIRO, Irene C.; POHLMANN, Adriana R.; GUTERRES, Silvia S.. A nanotecnologia como estratégia para o desenvolvimento de cosméticos. **Ciência e Cultura**, [S.L.], v. 65, n. 3, p. 28-31, jul. 2013. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.21800/s0009-67252013000300011>.

DE, Arnab; BOSE, Rituparna; KUMAR, Ajeet; MOZUMDAR, Subho. Nanoparticulate Formulations for Pesticide Applications. **Springerbriefs In Molecular Science**, [S.L.], p. 59-84, 14 nov. 2013. Springer India. http://dx.doi.org/10.1007/978-81-322-1689-6_11.

DEBBOUN, Mustapha; FRANCES, Stephen P.; STRICKMAN, Daniel (ed.). **Insect Repellents Handbook**. 2. ed. Boca Raton: CCR Press, 2014. 400 p. <https://doi.org/10.1201/b17407>

DEEPA, V; GURURAJ, S Kulkarni; PADMA, M Paarakh. Formulation and evaluation of topical anti-microbial herbal cream. **World Journal Of Biology Pharmacy And Health Sciences**, [S.L.], v. 12, n. 2, p. 156-167, 30 nov. 2022. GSC Online Press. <http://dx.doi.org/10.30574/wjbpshs.2022.12.2.0196>.

DEPAOLI, Ana Cláudia da Cunha. **Obtenção e caracterização de nanopartículas lipídicas sólidas como sistema de transporte para ibuprofeno**. 2013. 105 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Farmacêuticas, 2013.

DEVI, Archana; PANDEY, Rimpi. Natural dyeing of marigold leaves extract against insects. **International Journal Of Home Science**, India, v. 6, n. 3, p. 156-158, jul. 2020.

DEVI, N.; MAJI, T. K. Study of Complex Coacervation of Gelatin A with Sodium Carboxymethyl Cellulose: microencapsulation of neem (*azadirachta indica* a. juss.) seed oil (nso). **International Journal Of Polymeric Materials**, [S.L.], v. 60, n. 13, p. 1091-1105, dez. 2011. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/00914037.2011.553851>.

DEVI, Nirmala; MAJI, T. K. A novel microencapsulation of neem (*Azadirachta Indica* A. Juss.) seed oil (NSO) in polyelectrolyte complex of κ-carrageenan and chitosan. **Journal Of Applied Polymer Science**, [S.L.], v. 113, n. 3, p. 1576-1583, 5 ago. 2009. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/app.30038>.

DEVI, Nirmala; MAJI, Tarun K. Neem Seed Oil: encapsulation and controlled release - search for a greener alternative for pest control. **Pesticides In The Modern World - Pesticides Use And Management**, [S.L.], 191-231, 19 out. 2011. InTech. <http://dx.doi.org/10.5772/17590>.

DHILLON, Gurpreet; BAINS, Sandeep; GREWAL, Sumeet; KOCHER, Devinder K. Mosquito repellent eucalyptus and rosemary essential oil finishes for cotton fabric. **International**

Journal Of Chemical Studies, [S.L.], v. 9, n. 1, p. 31-34, 1 jan. 2021. AkiNik Publications. <http://dx.doi.org/10.22271/chemi.2021.v9.i1a.11378>.

DU, Wen Li; XU, Zi Rong; HAN, Xin Yan; XU, Ying Lei; MIAO, Zhi Guo. Preparation, characterization and adsorption properties of chitosan nanoparticles for eosin Y as a model anionic dye. **Journal Of Hazardous Materials**, [S.L.], v. 153, n. 1-2, p. 152-156, maio 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.08.040>.

ELAMRI, Adel; ZDIRI, Khmais; HAMDAOUI, Mohamed; HARZALLAH, Omar. Chitosan: a biopolymer for textile processes and products. **Textile Research Journal**, [S.L.], v. 93, n. 5-6, p. 1456-1484, 3 out. 2022. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/00405175221127315>.

ELTAHLAWY, K; ELBENDARY, M; A ELHENDAWY,; HUDSON, S. The antimicrobial activity of cotton fabrics treated with different crosslinking agents and chitosan. **Carbohydrate Polymers**, [S.L.], v. 60, n. 4, p. 421-430, 20 jun. 2005. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2005.02.019>.

ENDRIS, Jemal; GOVINDAN, Nalankilli. Dyeing and finishing of cotton fabric with eucalyptus leaves extracts. **Research Journal Of Textile And Apparel**, [S.L.], v. 25, n. 3, p. 193-208, 18 maio 2021. Emerald. <http://dx.doi.org/10.1108/rjta-12-2019-0060>.

ENDRIS, Jemal; GOVINDAN, Nalankilli. Single-stage coloration and multiple finishing of cotton with eucalyptus leaves extracts. **Journal Of Natural Fibers**, [S.L.], v. 19, n. 3, p. 969-983, 4 jun. 2020. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/15440478.2020.1776660>.

ENUKOKHA, Chinazom; HASSANDOUST, Sahar; TALBALAGHI, Asghar. Overview of Personal Protection Measures Through the Innovative Use of Repellent-Textiles as Avant-Garde Disease Control Via Arthropods Nano-Tech-Repellents. In: GHAFFARI, Peyman (ed.). **Bio-mathematics, Statistics, and Nano-Technologies**. New York: Chapman And Hall/Crc, 2023. Cap. 3. p. 21-38. <https://doi.org/10.1201/9781003035992>.

ENUKOKHA, Chinazom; HASSANDOUST, Sahar; TALBALAGHI, Asghar. Overview of Personal Protection Measures Through the Innovative Use of Repellent-Textiles as Avant-Garde Disease Control Via Arthropods Nano-Tech-Repellents. In: GHAFFARI, Peyman (ed.). **Bio-mathematics, Statistics, and Nano-Technologies**. New York: Chapman And Hall/Crc, 2023. Cap. 3. p. 21-38. <https://doi.org/10.1201/9781003035992>.

EZHILARASI, P. N.; KARTHIK, P.; CHHANWAL, N.; ANANDHARAMAKRISHNAN, C.. Nanoencapsulation Techniques for Food Bioactive Components: a review. **Food And Bioprocess Technology**, [S.L.], v. 6, n. 3, p. 628-647, 12 ago. 2012. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11947-012-0944-0>.

FERREIRA, Danielle Andreza da Cruz; DEGENER, Carolin Marlen; MARQUES-TOLEDO, Cecilia de Almeida; BENDATI, Maria Mercedes; FETZER, Liane Oliveira; TEIXEIRA, Camila P.; EIRAS, Álvaro Eduardo. Meteorological variables and mosquito monitoring are good predictors for infestation trends of *Aedes aegypti*, the vector of dengue, chikungunya and Zika. **Parasites & Vectors**, [S.L.], v. 10, n. 1, 13 fev. 2017. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1186/s13071-017-2025-8>.

FERRERO, Franco; PERIOLATTO, Monica. Antimicrobial Finish of Textiles by Chitosan UV-Curing. **Journal Of Nanoscience And Nanotechnology**, [S.L.], v. 12, n. 6, p. 4803-4810, 1 jun. 2012. American Scientific Publishers. <http://dx.doi.org/10.1166/jnn.2012.4902>

FERRERO, Franco; PERIOLATTO, Monica; VINEIS, Claudia; VARESANO, Alessio. Chitosan coated cotton gauze for antibacterial water filtration. **Carbohydrate Polymers**, [S.L.], v. 103, p. 207-212, mar. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.12.037>.

FIGUEIRA, Elder Augusto Guimarães. **Mosquiteiros impregnados com inseticidas de longa duração no controle da malária no Amazonas**: percepção da população em áreas de risco e avaliação do perfil de susceptibilidade dos vetores ao inseticida. 2022. xix, 89 f. Tese (Doutorado em Medicina Tropical) - Instituto Oswaldo Cruz, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2022.

FLORIS, Alice; MELONI, Maria Cristina; LAI, Francesco; MARONGIU, Francesca; MACCIONI, Anna Maria; SINICO, Chiara. Cavitation effect on chitosan nanoparticle size: a possible approach to protect drugs from ultrasonic stress. **Carbohydrate Polymers**, [S.L.], v. 94, n. 1, p. 619-625, abr. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.01.017>.

FORIM, Moacir Rossi; MATOS, Andréia Pereira; SILVA, Maria Fátima das Graças Fernandes D; CASS, Quêzia Bezerra; VIEIRA, Paulo Cezar; FERNANDES, João Batista. Uso de CLAE no controle de qualidade em produtos comerciais de Nim: reprodutibilidade da ação inseticida. **Química Nova**, [S.L.], v. 33, n. 5, p. 1082-1087, 2010. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422010000500014>.

FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ (Rio de Janeiro). **Repelentes são seguros e podem ser usados por gestantes**. 2015. Elaborado por Gabriela Rocha. Disponível em: <https://portal.fiocruz.br/noticia/repelentes-sao-seguros-e-podem-ser-usados-por-gestantes>. Acesso em: 26 jul. 2023.

Fundo das Nações Unidas para a Infância. **Takeda e UNICEF se unem pela prevenção de dengue, zika, chikungunya e outras arboviroses na Amazônia Legal e no Semiárido brasileiro**. 2022. Disponível em: <https://www.unicef.org/brazil/comunicados-de-imprensa/takeda-e-unicef-se-unem-pela-prevencao-de-dengue-zika-chikungunya-e-outras-arboviroses>. Acesso em: 21 jul. 2023.

FURTADO, Glória Tamiris Farias da Silva. **PARTÍCULAS DE QUITOSANA/FLÚOR COMO POTENCIAL APLICAÇÃO NA ODONTOLOGIA PREVENTIVA**. 2018. 83 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciência e Engenharia de Materiais, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2018.

GONÇALVES, F. A. C.; AMARAL, E. L. S.; LOPES JUNIOR, J. L.; LOPES, B. L. S.; RIBEIRO JUNIOR, L. S.; BRABO, D. R.; AMARANTE, C. B. **Fibras Vegetais**: Aspectos Gerais, Aproveitamento, Inovação Tecnológica e Uso em Compósitos. Revista Espacios, Vol. 39, n. 06, 2018, ISSN 0798 1015

GRGAC, Sandra Flinčec; TARBUK, Anita; DEKANIĆ, Tihana; SUJKA, Witold; DRACZYŃSKI, Zbigniew. The Chitosan Implementation into Cotton and Polyester/Cotton Blend Fabrics. **Materials**, [S.L.], v. 13, n. 7, p. 1616, 1 abr. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ma13071616>.

GRGAC, Sandra Flinčec; TARBUK, Anita; DEKANIĆ, Tihana; SUJKA, Witold; DRACZYŃSKI, Zbigniew. The Chitosan Implementation into Cotton and Polyester/Cotton Blend Fabrics. **Materials**, [S.L.], v. 13, n. 7, p. 1616, 1 abr. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ma13071616>.

GRIES, T.; RAINA, M.; QUADFLIEG, T.; STOLYAROV, O.. Manufacturing of textiles for civil engineering applications. **Textile Fibre Composites In Civil Engineering**, [S.L.], p. 3-24, 2016. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-1-78242-446-8.00002-1>.

GROOT, Anton de; JAGTMAN, Berend A.; WOUTERSEN, Marjolijn. Contact Allergy to Neem Oil. **Dermatitis**, [S.L.], v. 28, n. 6, p. 360-362, nov. 2017. Mary Ann Liebert Inc. <http://dx.doi.org/10.1097/der.0000000000000309>.

GUARNER, Jeannette; HALE, Gillian L. Four human diseases with significant public health impact caused by mosquito-borne flaviviruses: west nile, zika, dengue and yellow fever. **Seminars In Diagnostic Pathology**, [S.L.], v. 36, n. 3, p. 170-176, maio 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1053/j.semmp.2019.04.009>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0740257019300413?via%3Dihub>. Acesso em: 31 jul. 2023.

GUPTA, D. K.; GUPTA, R. A. Mini review: Herbal mosquito repellent formulation for textiles using herbal extracts. **Journal of Drug Delivery and Therapeutics**, v. 9, n. 2-A, p. 11-13, 24 abr. 2019.

HAHN, Thomas; BOSSOG, Leonie; HAGER, Tom; WUNDERLICH, Werner; BREIER, Rudi; STEGMAIER, Thomas; ZIBEK, Susanne. Chitosan Application in Textile Processing and Fabric Coating. **Chitin And Chitosan**, [S.L.], p. 395-428, 29 nov. 2019. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/9781119450467.ch16>.

HALBKAT, Lilah; LUAN, Kun; CAVE, Grayson; MCCORD, Marian; ROE, Michael; DENHARTOG, Emiel; TRAVANTY, Nicholas J.; APPERSON, Charles S.; WEST, Andre J. Fabric infused with a botanical repellent for protection against mosquitoes. **The Journal Of The Textile Institute**, [S.L.], v. 110, n. 10, p. 1468-1474, 14 abr. 2019. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/00405000.2019.1603576>.

HAMEDI, Hamid; MORADI, Sara; HUDSON, Samuel M.; TONELLI, Alan E. Chitosan based hydrogels and their applications for drug delivery in wound dressings: a review. **Carbohydrate Polymers**, [S.L.], v. 199, p. 445-460, nov. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.06.114>.

HARIFI, Tina; MONTAZER, Majid. Past, present and future prospects of cotton cross-linking: new insight into nano particles. **Carbohydrate Polymers**, [S.L.], v. 88, n. 4, p. 1125-1140, maio 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.02.017>.

HEMAMALINI, Thillaipandian; DEV, Venkateshwarapuram Rengaswami Giri. Fragrance Finishing on Textile Substrate for Odour Control. In: THILAGAVATHI, G.; RATHINAMOORTHY, R. (ed.). **Odour in Textiles: generation and control**. Boca Raton: Crc Press, 2022. Cap. 8. p. 139-163.

HOLKEM, Augusto Tasch; CODEVILLA, Cristiane Franco; SILVA, Cristiane de Bona da; MENEZES, Cristiano Ragagnin de. Técnicas de preparação de sistemas nanotecnológicos aplicados a alimentos. **Ciência e Natura: Especial-Nano e Microencapsulação de compostos bioativos e probióticos em alimentos**, Santa Maria, v. 37, p. 87-96, dez. 2015.

HU, Jing; XIAO, Zuo-Bing; ZHOU, Ru-Jun; MA, Shuang-Shuang; LI, Zhen; WANG, Ming-Xi. Comparison of compounded fragrance and chitosan nanoparticles loaded with fragrance applied in cotton fabrics. **Textile Research Journal**, [S.L.], v. 81, n. 19, p. 2056-2064, 12 set. 2011. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/0040517511416274>.

HUPFFER, Haide Maria; LAZZARETTI, Luisa Lauermann. NANOTECNOLOGIA E SUA REGULAMENTAÇÃO NO BRASIL. **Revista Gestão e Desenvolvimento**, [S.L.], v. 16, n. 3, p. 153, 9 set. 2019. Associação Pro-Ensino Superior em Novo Hamburgo. <http://dx.doi.org/10.25112/rgd.v16i3.1792>.

KAKARIA, Rupali; SINGH, Neha; PARMAR, M.s.. Mosquito Repellent Textiles and their Evaluation: A Review. **The Textile Association**, New Delhi. 2023. Disponível em: <https://textileassociationindia.org/wp-content/uploads/2023/01/Mosquito-Repellent-Textiles-and-Their-Evaluation-A-Review.pdf>. Acesso em: 16 ago. 2023

KALA, Smriti; AGARWAL, Amrish; SOGAN, Nisha; NAIK, S.N.; NAGPAL, B.N.; PATANJALI, P.K.; KUMAR, Jitendra. Chitosan-acrylate nanogel for durable antimosquito finishing of cotton fabric and its dermal toxicity profiling on Swiss albino mice. **Colloids And Surfaces B: Biointerfaces**, [S.L.], v. 181, p. 789-797, set. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.colsurfb.2019.06.022>.

KAMARI, Azlan; YUSOFF, Siti Najiah Mohd; WONG, Siew Tin Susana; FATIMAH, Is. A Mini Review of Materials Used as Improvers for Insect and Arthropod Pest Repellent Textiles. **Current Applied Science And Technology**, [S.L.], v. 22, n. 4, 5 out. 2021. King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. <http://dx.doi.org/10.55003/cast.2022.04.22.001>.

KAMARI, Azlan; YUSOFF, Siti Najiah Mohd; WONG, Siew Tin Susana; PHILLIP, Esther; HARGREAVES, Justin S. J.; OTHMAN, Hidayatulfathi. Betel essential oil-loaded lipid-core nanocapsules as mosquito repellent spray formulations for fabric finishes. **The Journal Of The Textile Institute**, [S.L.], v. 114, n. 1, p. 10-21, 20 dez. 2021. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/00405000.2021.2018787>.

KAMLAPURKAR, Krishnmurthy A.; RUMANE, Manmat B.; MIRZA, Naushad N.; KATTE, Aniket S.; PATIL, Akash A.; KALE, Akshay R.. FORMULATION AND EVALUATION OF MICROEMULSION CONTAINING NEEM SEED OIL. **World Journal Of Pharmacy And Pharmaceutical Sciences**, Solapur, v. 8, n. 5, p. 756-766, fev. 2019.

KANTHETI, Prathyusha; RAJITHA, I.; PADMA, Alapati. Natural finishes on textiles to combat the mosquitoes: a pilot study. **Journal Of Entomology And Zoology Studies**, India, v. 8, n. 2, p. 30-33, jan. 2020. Disponível em: <https://www.entomoljournal.com/archives/?year=2020&vol=8&issue=2&ArticleId=6395>. Acesso em: 09 ago. 2023

KARLSEN, Jan. Encapsulation and other programmed/sustained-release techniques for essential oils and volatile terpenes. In: BASER, K. Hüsnü Can (ed.). **Handbook of Essential Oils**. 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 2020. Cap. 17, p. 868.

KHANAM, Zakia; AL-YOUSEF, Hanan M.; SINGH, Ompal; BHAT, Irshad Ul Haq. Neem Oil. In: RATHORE, Hamir Singh; NOLLET, Leo M.L. (ed.). **Green Pesticides Handbook: essential oils for pest control**. [S.L.]: Crc Press, 2017. Cap. 20. p. 377-394.

KHANNA, Shelly; CHAKRABORTY, J. N. Mosquito repellent activity of cotton functionalized with inclusion complexes of β -cyclodextrin citrate and essential oils. **Fashion And Textiles**, [S.L.], v. 5, n. 1, 9 abr. 2018. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1186/s40691-017-0125-x>

KIDILE, Sandeep; SHARMA, Darshana. DEVELOPMENT OF MOSQUITO REPELLENT FABRIC USING BAMBOO SHOOT AND NEEM EXTRACT. **World Journal Of Engineering Research And Technology**, India, v. 8, n. 8, p. 110-123, maio 2022. Disponível em: https://www.wjert.org/home/article_abstract/1266. Acesso em: 10 ago. 2023.

KRZYZANIAK, Dana; SIMMONS, Alvin M.; SHEPARD, B. Merle. Effects of a Foliar Neem Formulation on Colonization and Mortality of Whiteflies (Hemiptera: aleyrodidae) on collar plants. *Agricultural Sciences*, [S.L.], v. 07, n. 11, p. 771-782, 2016. **Scientific Research Publishing**, Inc. <http://dx.doi.org/10.4236/as.2016.711071>.

KUMAR, Ajeet; DIXIT, Chandra Kumar. Methods for characterization of nanoparticles. **Advances In Nanomedicine For The Delivery Of Therapeutic Nucleic Acids**, [S.L.], p. 43-58, 2017. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-08-100557-6.00003-1>

KUMAR, Aman; SINGH, Ankit; SHEIKH, Javed. Boric acid crosslinked chitosan microcapsules loaded with frankincense oil for the development of mosquito-repellent, antibacterial, antioxidant, and flame-retardant cotton. **International Journal Of Biological Macromolecules**, [S.L.], v. 248, p. 125874, set. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.125874>.

KUMAR, Amit; SHARMA, Moolchand; VAISH, Rahul. BaTiO₃ Nanoparticles Embedded Antibacterial Cotton Fabric with UV Protection Characteristics. **Journal Of Natural Fibers**, [S.L.], v. 20, n. 1, 24 nov. 2022. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/15440478.2022.2139325>.

KURI-MORALES, Pablo A.; CORREA-MORALES, Fabián; GONZÁLEZ-ACOSTA, Cassandra; SÁNCHEZ-TEJEDA, Gustavo; MORENO-GARCIA, Miguel; DÁVALOS-BECERRIL, Eduardo; JUÁREZ-FRANCO, Marissa F.; BENITEZ-ALVA, José Ismael; GONZÁLEZ-ROLDÁN, Jesús F. Repellency of 29 Synthetic and Natural Commercial Topical Insect Repellents Against *Aedes aegypti* (Diptera: culicidae) in central Mexico. **Journal Of Medical Entomology**, [S.L.], v. 54, n. 5, p. 1305-1311, 10 abr. 2017. Oxford University Press (OUP). <http://dx.doi.org/10.1093/jme/tjx076>.

LERTSUTTHIWONG, Pranee; ROJSITTHISAK, Pornchai; NIMMANNIT, Ubonthip. Preparation of turmeric oil-loaded chitosan-alginate biopolymeric nanocapsules. **Materials Science And Engineering: C**, [S.L.], v. 29, n. 3, p. 856-860, abr. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.msec.2008.08.004>.

LI, S.; BOYTER, H.; QIAN, L. UV curing for encapsulated aroma finish on cotton. **Journal Of The Textile Institute**, [S.L.], v. 96, n. 6, p. 407-411, dez. 2005. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1533/joti.2005.0116>.

LI, S.; BOYTER, H.; QIAN, L.. UV curing for encapsulated aroma finish on cotton. **Journal Of The Textile Institute**, [S.L.], v. 96, n. 6, p. 407-411, dez. 2005. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1533/joti.2005.0116>.

LI, Shiqi; LEWIS, Joy E.; STEWART, Neil M.; QIAN, Lei; BOYTER, Henry. Effect of finishing methods on washing durability of microencapsulated aroma finishing. **Journal Of The Textile Institute**, [S.L.], v. 99, n. 2, p. 177-183, 30 jan. 2008. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/00405000701489701>.

LIMA, Larisse Araújo. **Nanopartículas de quitosana/tripolifosfato de sódio obtidas via gelatinização iônica para a nanoencapsulação de quercetina**. 2013. iv, 54 f., il. Dissertação (Mestrado em Ciências de Materiais)—Universidade de Brasília, Brasília, 2013

LOPES, Sofia; AFONSO, Catherine; FERNANDES, Isabel; BARREIRO, Maria-Filomena; COSTA, Patrícia; RODRIGUES, Alirio E.. Chitosan-cellulose particles as delivery vehicles for limonene fragrance. **Industrial Crops And Products**, [S.L.], v. 139, p. 111407, nov. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.05.057>.

LUNDIN, Jeffrey G.; THUM, Matthew D.; CILEK, James; ORLICKI, Joshua; MOSURKAL, Ravi; MURPHY, Justin; HOFFMAN, Nicole; PERRY, Melynda; CASALINI, Riccardo.

Electrospun Multifunctional Composite Fibers for Improved Warfighter Insect Protection: monofilaments, dual-repellents, and electrospun yarns. Washington, D.C: Defense Technical Information Center, 2022. 61 p. (NAVAL RESEARCH LAB WASHINGTON DCCOMBAT CAPABILITIES DEVELOPMENT COMMAND SOLDIER CENTER SOLDIER SYSTEMS CENTERARMY RESEARCH LAB ABERDEEN PROVING GROUND MDNAVY ENTOMOLOGY CENTER OF EXCELLENCE JACKSONVILLE NAS FL). Disponível em: <https://apps.dtic.mil/sti/citations/AD1168559>. Acesso em: 31 jul. 2023.

LUVEZUTI, Lecio Leonardo. **Síntese de microesferas de quitosana para aplicação em liberação controlada de drogas pelo método de atomização e coagulação.** 2010. 15 f. TCC (Graduação) - Curso de Física Médica, Instituto de Biociências de Botucatu, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.

MAIA, Juliana Dias. **Investigação da produção decarreadores biodegradáveis para veiculação de larvicida natural contra *Aedes aegypti*.** 2019. 2016 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2019.

MAIA, Marta Ferreira; MOORE, Sarah J. Plant-based insect repellents: a review of their efficacy, development and testing. **Malaria Journal**, [S.L.], v. 10, n. 1, 15 mar. 2011. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1186/1475-2875-10-s1-s11>.

MAIA, Pollyana Conceição Romão. **Investigação do comportamento de tolerância ao N, N- dietilmetilbenzamida (DEET) em populações de *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae).** 2020. 80 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Saúde Pública, Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020. Disponível em: doi:10.11606/D.6.2020.tde-15012021-153121. Acesso em: 27 jul. 2023.

MAKHLOUF, Ghada; ABDELKHALIK, Aksam; AMEEN, Heba. Preparation of highly efficient chitosan-based flame retardant coatings with good antibacterial properties for cotton fabrics. **Progress In Organic Coatings**, [S.L.], v. 163, p. 106627, fev. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.porgcoat.2021.106627>.

MALVERN PANALYTICAL. **Polydispersity:** what does it mean for dls and chromatography?. what does it mean for DLS and chromatography?. 2017. Elaborado por Ulf Nobbmann. Disponível em: <https://www.materials-talks.com/polydispersity-what-does-it-mean-for-dls-and-chromatography/>. Acesso em: 05 mar. 2024.

MAPOSSA, António B.; FOCKE, Walter W.; TEWO, Robert K.; ANDROSCH, René; KRUGER, Taneshka. Mosquito-repellent controlled-release formulations for fighting infectious diseases. **Malaria Journal**, [S.L.], v. 20, n. 1, 24 mar. 2021. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1186/s12936-021-03681-7>.

MAPOSSA, António B.; SIBANDA, Mthokozisi M.; SITOE, Alcides; FOCKE, Walter W.; BRAACK, Leo; NDONYANE, Cyril; MOUATCHO, Joel; SMART, Jansie; MUAIMBO, Herminio; ANDROSCH, René. Microporous polyolefin strands as controlled-release devices for mosquito repellents. **Chemical Engineering Journal**, [S.L.], v. 360, p. 435-444, mar. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2018.11.237>.

MARTINS, Evandro; PONCELET, Denis; RODRIGUES, Ramila Cristiane; RENARD, Denis. Oil encapsulation techniques using alginate as encapsulating agent: applications and drawbacks. **Journal Of Microencapsulation**, [S.L.], v. 34, n. 8, p. 754-771, 17 nov. 2017. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/02652048.2017.1403495>.

MATTÉ, Grasielle M.; ROSA, Sirlei da. A tecnologia da microencapsulação através das microesferas de quitosana. **Revista Iberoamericana de Polímeros**, [s. l.], v. 14, n. 5, p. 206-218, ago. 2013. Bimestral. Disponível em: <https://www.observatorioplastico.com/ficheros/articulos/120760257206030829.pdf>. Acesso em: 21 fev. 2022.

MIA, Rony; SAJIB, Mynul Islam; BANNA, Burhan Uddin; CHAKI, Rittick; ALAM, Syed Samiul; RASEL, Md Abu; ISLAM, Md Tanjirul. Mosquito repellent finishes on textile fabrics (woven & knit) by using different medicinal natural plants. **Journal Of Textile Engineering & Fashion Technology**, [S.L.], v. 6, n. 4, 21 ago. 2020. MedCrave Group, LLC. <http://dx.doi.org/10.15406/jteft.2020.06.00246>.

MOHAMED, Amina L.; SEDIK, Aya; MOSAAD, Mohamed M.; OTHMAN, Hanan A.. Imparting the mosquito-repellent and fragrance properties to linen fabric using different natural plants oils without or via silica encapsulation technique. **Results In Chemistry**, [S.L.], v. 5, p. 100742, jan. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rechem.2022.100742>.

MONDAL, Md. Ibrahim H.; SAHA, Joykrishna. Antimicrobial, UV Resistant and Thermal Comfort Properties of Chitosan- and Aloe vera-Modified Cotton Woven Fabric. **Journal Of Polymers And The Environment**, [S.L.], v. 27, n. 2, p. 405-420, 2 jan. 2019. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10924-018-1354-9>.

MORISSO, Fernando dal Pont; SILVA, Evandro Daniel Wolfart da. **Incorporação de ativos funcionais em tecido pelo método de impregnação: abordagem laboratorial**. Novo Hamburgo: Feevale, 2017. 8 p.

MOSURKAL, Ravi; GIAYA, Arjan; NAGARAJAN, Ramaswamy; KULKARNI, Sourabh; XIA, Zhiyu. **A Simple Surface Functionalization Method for Multifunctional Textiles with Flame and Vector Protection**. Natick: Serdp, 2020

MUJALLID, Rasha Sameer Mohammad. Efficiency of Fabric Repellency to Mosquitoes. **Art And Design Review**, [S.L.], v. 07, n. 04, p. 175-186, 2019. Scientific Research Publishing, Inc.. <http://dx.doi.org/10.4236/adr.2019.74015>.

MUJUMDAR, Sukti; KUMAR, P Senthil; PANDIT, A B. Emulsification by ultrasound: Relation between intensity and emulsion quality. **Indian Journal Of Chemical Technology**, Mumbai, v. 4, p. 277-284, nov. 1997. NISCAIR-CSIR, Índia.

MURTAZA, Ghulam; AHMAD, Mahmood. Layer-By-Layer Microcapsules for the Delivery of Lipophilic Drugs. **Journal Of Pharmacy And Alternative Medicine**, Paquistão, v. 1, 2012.

NAZARI, A.; MONTAZER, M.; RASHIDI, A.; YAZDANSHENAS, M.; ANARY-ABBASINEJAD, M.. Nano TiO₂ photo-catalyst and sodium hypophosphite for cross-linking cotton with poly carboxylic acids under UV and high temperature. **Applied Catalysis A: General**, [S.L.], v. 371, n. 1-2, p. 10-16, dez. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apcata.2009.08.029>.

NEEM FOUNDATION. **Chemistry of Neem**. Disponível em: <https://neemfoundation.org/about-neem/chemistry-of-neem/>. Acesso em: 03 abr. 2023.

NEEM FOUNDATION. **Introduction to Neem Tree**. Disponível em: <https://neemfoundation.org/about-neem/introduction-to-neem-tree/>. Acesso em: 15 jan. 2023.

OBERMAYR, U.; ROSE, A.; GEIER, M.. A Novel Test Cage With an Air Ventilation System as an Alternative to Conventional Cages for the Efficacy Testing of Mosquito

Repellents. **Journal Of Medical Entomology**, [S.L.], v. 47, n. 6, p. 1116-1122, 1 nov. 2010. Oxford University Press (OUP). <http://dx.doi.org/10.1603/me10093>.

OLI, Binita; GAUTAM, Deepak. Medicinal value of Azadirachta indica: a review. **Zenodo**, [S.L.], 28 dez. 2022. Zenodo. <http://dx.doi.org/10.5281/ZENODO.7731408>.

OLIVEIRA, Daniel Augusto Barra de. USO DO NEEM E SEUS COMPONENTES MOLECULARES NO CONTROLE DO MOSQUITO AEDES AEGYPTI. **Revista Científica do Itpac**, Araguaína, v. 8, n. 2, ago. 2015

OLIVEIRA, Guilherme Venancio de. **A influência de tratamentos com quitosana na solidez da cor a lavagem em camisetas de algodão com estampa digital**. 2017. Dissertação (Mestrado em Têxtil e Moda) - Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017. doi:10.11606/D.100.2018.tde-28112017-174748. Acesso em: 2023-09-19.

ONU. **OMS considera aumento de dengue no Brasil “alarmante” e recomenda proteção no Carnaval**. 2024. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2024/02/1827567#:~:text=O%20Brasil%20teve%20o%20maior,is%20disabled%20in%20your%20browser>. Acesso em: 24 mar. 2024.

OPAS. **Alerta Epidemiológico: aumento de casos de dengue na região das américas**. Aumento de casos de dengue na Região das Américas. 2024. 16 de fevereiro de 2024. Disponível em: <https://www.paho.org/pt/documentos/alerta-epidemiologico-aumento-casos-dengue-na-regiao-das-americas-16-fevereiro-2024#:~:text=Considerando%20o%20comportamento%20da%20dengue,Am%C3%A9ricas%20a%20Organiza%C3%A7%C3%A3o%20Pan%2DAmericana>. Acesso em: 24 mar. 2024.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Agência da ONU pede a governos para combater vetores que causam infecções**. 2020. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2020/06/1718042>. Acesso em: 21 jul. 2023.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **OMS alerta para um dos “seres” mais mortais do mundo. 2016**. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2016/08/1559761>. Acesso em: 21 jul. 2023.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **OMS nas Américas diz que infecções causadas por mosquitos estão aumentando**. 2023. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2023/04/1812457>. Acesso em: 21 jul. 2023.

Organização Mundial da Saúde. **Vector-borne diseases**. 2020. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/vector-borne-diseases>. Acesso em: 25 jul. 2023.

Organização Pan-Americana da Saúde. **Com o aumento de casos, especialistas analisam a propagação da Chikungunya nas Américas**. 2023. Disponível em: <https://www.paho.org/pt/noticias/4-5-2023-com-aumento-casos-especialistas-analisam-propagacao-da-chikungunya-nas-americas>. Acesso em: 21 jul. 2023.

Organização Pan-Americana da Saúde. **Dengue**. 2023. Disponível em: <https://www3.paho.org/data/index.php/en/mnu-topics/indicadores-dengue-en.html>. Acesso em: 09 ago. 2023.

Organização Pan-Americana da Saúde. **Dengue**. Disponível em: <https://www.paho.org/pt/topicos/dengue>. Acesso em: 21 jul. 2023.

Organização Pan-Americana da Saúde/Organização Mundial da Saúde. **Atualização Epidemiológica Dengue, chikungunha e Zika**: 10 de junho de 2023. Washington, D.C. OPAS/OMS, 2023. Disponível em: <https://www.paho.org/pt/documentos/atualizacao-epidemiologica-dengue-chikungunha-e-zika-10-junho-2023>. Acesso em: 21 jul. 2023.

OZKAN, Gulay; FRANCO, Paola; MARCO, Iolanda de; XIAO, Jianbo; CAPANOGLU, Esra. A review of microencapsulation methods for food antioxidants: principles, advantages, drawbacks and applications. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 272, p. 494-506, jan. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.205>.

PALUCH, Gretchen; BARTHOLOMAY, Lyric; COATS, Joel. Mosquito repellents: a review of chemical structure diversity and olfaction. **Pest Management Science**, [S.L.], v. 66, n. 9, p. 925-935, 16 ago. 2010. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/ps.1974>.

PARVEZ, Abdullah Al; HOSSAIN, Md. Jakir; HOSSAIN, Md. Zabed; SOHAN, Mohammad Sazzad Hossain; HOQUE, Fariha; AHSAN, Md. Habibul; HOQUE, Md. Saiful. Mosquito repellent fabric: development and characterization of peppermint and garlic mixture finish on knitted fabric to examine mosquito repellency. **Heliyon**, [S.L.], v. 9, n. 5, maio 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15944>.

PASCOLI, Mônica; JACQUES, Mauricio T.; AGARRAYUA, Danielle A.; AVILA, Daiana S.; LIMA, Renata; FRACETO, Leonardo F.. Neem oil based nanopesticide as an environmentally-friendly formulation for applications in sustainable agriculture: an ecotoxicological perspective. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 677, p. 57-67, ago. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.345>.

PATIL, Vaishali H.; PATIL, Nital M.. HERBAL MOSQUITO REPELLENT: a review. **World Journal Of Pharmaceutical Research**, Dist.-Nandurbar, MH, India, v. 11, n. 17, p. 197-206, dez. 2022. Disponível em: https://wjpr.net/abstract_show/21033. Acesso em: 09 ago. 2023.

PATRÍCIO, Samara Marques da Silva. **Incorporação do óleo de Nim em pomada hidrofóbica**. 2018. 44 f. TCC (Graduação) - Curso de Bacharelado em Farmácia, Centro de Educação e Saúde, Universidade Federal de Campina Grande, Cuité, 2018. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/6690>. Acesso em: 01 fev. 2023.

PAULA, Adriano Rodrigues de; RIBEIRO, Anderson; SAMUELS, Richard Ian. ÓLEO DE NIM AUMENTA A PERSISTÊNCIA DO FUNGO ENTOMOPATOGÊNICO PARA INFECÇÃO DE LARVAS DE *Aedes aegypti*. In: I ENCONTRO LATINO AMERICANO DE PÓS-GRADUAÇÃO, 17., 2017, São José dos Campos. **Anais [...]**. São José dos Campos: Universidade do Vale do Paraíba, 2017.

PAULO, Ana Flávia Sampaio. **Microencapsulação de óleo essencial de orégano (*Origanum vulgare* L.) e aplicação em filmes extrusados de amido de mandioca e poli(adipato co-tereftalato de butileno)**. 2020. 71 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologia de Alimentos, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2020.

PAULRAJ, Michael Gabriel; IGNACIMUTHU, Savarimuthu; GANDHI, Munusamy Rajiv; SHAJAHAN, Azeez; GANESAN, Pathalam; PACKIAM, Soosaimanickam Maria; AL-DHABI, Naif Abdhullah. Comparative studies of tripolyphosphate and glutaraldehyde cross-linked chitosan-botanical pesticide nanoparticles and their agricultural applications. **International Journal Of Biological Macromolecules**, [S.L.], v. 104, p. 1813-1819, nov. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.06.043>.

PLANTEI GARDEN CENTER. **Muda de Neem Indiano**: feita de semente. feita de semente. Disponível em: <https://www.plantei.com.br/muda-de-neem-indiano?parceiro=7170>. Acesso em: 24 mar. 2024.

POONIA, Neenu; SINGH, Saroj s Jeet. Insect repellent fabric. **The Pharma Innovation Journal**. Hisar, p. 65-71. 2020. Disponível em: <https://www.thepharmajournal.com/archives/2020/vol9issue5/PartB/9-4-77-230.pdf>. Acesso em: 09 ago. 2023.

PRAKASH, Vijay; AKHTAR, Shoaib; KUMAR, Jitendra; MISHRA, Sunil Kumar; PANDEY, Rishi Ranjan. Neem: the multifaceted and versatile tree. **Current Trends In Medicinal Chemistry**, Lucknow, p. 127-138. 2022. Thanuj International Publishers.

PUKALE, Dipak D.; BANSODE, Archana S.; PINJARI, Dipak V.; SAYED, Usha; KULKARNI, Rahul R.. Development of Nanoemulsion of Silicone Oil and Pine Oil Using Binary Surfactant System for Textile Finishing. **Journal Of Surfactants And Detergents**, [s. l.], v. 20, n. 5, p. 1061-1073, set. 2017. Disponível em: <https://aocs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1007/s11743-017-1970-8>. Acesso em: 05 maio 2023.

QI, Lifeng; XU, Zirong. Lead sorption from aqueous solutions on chitosan nanoparticles. **Colloids And Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, [S.L.], v. 251, n. 1-3, p. 183-190, dez. 2004. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.colsurfa.2004.10.010>.

RAHMAN, Md. Lutfur; TUMPA, Tanzeena Refat. Advanced Technology in Fabric Finishing. **Advanced Technology In Textiles**, [S.L.], p. 161-176, 2023. Springer Nature Singapore. http://dx.doi.org/10.1007/978-981-99-2142-3_6.

RAHMAN, Md. Lutfur; TUMPA, Tanzeena Refat. Advanced Technology in Fabric Finishing. **Advanced Technology In Textiles**, [S.L.], p. 161-176, 2023. Springer Nature Singapore. http://dx.doi.org/10.1007/978-981-99-2142-3_6.

RAJENDRAN, R.; RADHAI, R.; BALAKUMAR, C.; AHAMED, Hasabo A. Mohammad; VIGNESWARAN, C.; VAIDEKI, K.. Synthesis and Characterization of Neem Chitosan Nanocomposites for Development of Antimicrobial Cotton Textiles. **Journal Of Engineered Fibers And Fabrics**, [S.L.], v. 7, n. 1, p. 155892501200700, mar. 2012. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/155892501200700116>.

RAJENDRAN, R.; RADHAI, R.; BALAKUMAR, C.; AHAMED, Hasabo A. Mohammad; VIGNESWARAN, C.; VAIDEKI, K.. Synthesis and Characterization of Neem Chitosan Nanocomposites for Development of Antimicrobial Cotton Textiles. **Journal Of Engineered Fibers And Fabrics**, [S.L.], v. 7, n. 1, p. 155892501200700, mar. 2012. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/155892501200700116>.

RAJI, Joshua I.; MELO, Nadia; CASTILLO, John S.; GONZALEZ, Sheyla; SALDANA, Valeria; STENSMYR, Marcus C.; DEGENNARO, Matthew. Aedes aegypti Mosquitoes Detect Acidic Volatiles Found in Human Odor Using the IR8a Pathway. **Current Biology**, [S.L.], v. 29, n. 8, p. 1253-1262, abr. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cub.2019.02.045>.

RAO, J. Prasad; GECKELER, Kurt E.. Polymer nanoparticles: preparation techniques and size-control parameters. **Progress In Polymer Science**, [S.L.], v. 36, n. 7, p. 887-913, jul. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2011.01.001>.

RASTOGI, Deepali; JAIN, Archana; NEGI, Anupriya. Development of Mosquito Repellent Finish for Textiles Using Neem Oil: an eco-friendly approach. **Sustainable Textiles**:

Production, Processing, Manufacturing & Chemistry, [S.L.], p. 183-195, 2022. Springer Singapore. http://dx.doi.org/10.1007/978-981-19-0538-4_9.

REHAN, Mohamed; ABDEL-WAHED, Nayera A.M.; FAROUK, Amr; EL-ZAWAHRY, Manal M.. Extraction of Valuable Compounds from Orange Peel Waste for Advanced Functionalization of Cellulosic Surfaces. **Acs Sustainable Chemistry & Engineering**, [S.L.], v. 6, n. 5, p. 5911-5928, 26 mar. 2018. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/acssuschemeng.7b04302>.

REVATHI, T.; THAMBIDURAI, S.. Synthesis of chitosan incorporated neem seed extract (*Azadirachta indica*) for medical textiles. **International Journal Of Biological Macromolecules**, [S.L.], v. 104, p. 1890-1896, nov. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.02.081>.

RIBEIRO, Paulo E. A.; PRATES, Hélio T.; WAQUIL, José M.; VIANA, Paulo A.; GUIMARÃES, Daniel P.; FORATO, Lucimara A.; PIRES, Carlos H. P.. Isolamento de *Azadirachta indica* de Sementes de Nim (*Azadirachta indica*) para Estudos de Concentração na Planta e Bioensaios como Inseticida Natural. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 26.; SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE A LAGARTA-DO-CARTUCHO, SPODOPTERA FRUGIPERDA, 2.; SIMPÓSIO SOBRE COLLETOTRICHUM GRAMINICOLA, 1, 2006, Belo Horizonte. **Anais [...]**. Sete Lagoas, MG e São Carlos, SP: Embrapa, 2006.

ROJAS-SANDOVAL, J; ACEVEDO-RODRÍGUEZ, P. *Azadirachta indica* (neem tree). **Cabi Compendium**, [S.L.], 7 jan. 2022. CABI Publishing. <http://dx.doi.org/10.1079/cabicompendium.8112>.

ROSSI, Wagner Soares. **Síntese, caracterização e aplicações de microcápsulas de óleo essencial de laranja (*Citrus sinensis*)**. 2022. 250 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais., Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022.

ROYCHOUDHURY, Rashmi. Neem Products. **Ecofriendly Pest Management For Food Security**, [S.L.], v. 0, n. 0, p. 545-562, 2016. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-803265-7.00018-x>.

RUKMINI, C.. Chemical and nutritional evaluation of neem oil. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 26, n. 2, p. 119-124, jan. 1987. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0308-8146\(87\)90122-1](http://dx.doi.org/10.1016/0308-8146(87)90122-1).

RUKMINI, C.. Chemical and nutritional evaluation of neem oil. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 26, n. 2, p. 119-124, jan. 1987. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0308-8146\(87\)90122-1](http://dx.doi.org/10.1016/0308-8146(87)90122-1).

SALEM, Vidal. **Tingimento Têxtil**: fibras, conceitos e tecnologias. São Paulo: Blucher: Golden Tecnologia, 2010. 300 p.

SANCHES, Mariele; GROSS, Idejan; SAATKAMP, Rodrigo; PARIZE, Alexandre; SOLDI, Valdir. Chitosan-Sodium Alginate Polyelectrolyte Complex Coating Pluronic® F127 Nanoparticles Loaded with Citronella Essential Oil. **Journal Of The Brazilian Chemical Society**, [S.L.], v. 4, n. 31, 2020. Sociedade Brasileira de Química (SBQ). <http://dx.doi.org/10.21577/0103-5053.20190244>.

SANTOS, Antônia Laíres da Silva; SANTOS, Felipe Pereira da Silva; NASCIMENTO, Alyandra de Sousa; LIMA, Layana Karine Farias; DIAS, Lucas Mendes Feitosa; SILVA, Geovanna Trajano Oliveira da; RAI, Mahendra; FEITOSA, Chistiane Mendes. Composição química, atividade larvicida, inseticida e repelente e larvicida de óleos essenciais frente ao

Aedes aegypti. **Research, Society And Development**, [S.L.], v. 11, n. 2, 28 jan. 2022. Research, Society and Development. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i2.25711>.

SANTOS, Daniela Ap dos; OLIVEIRA, Adriano M.; CERIZE, Natália N.P.; MANHANI, Kelly C.; SANTOS, Douglas da S.; ARAUJO, Helena C. de; COSTA, Silgia A.; COSTA, Sirlene M.. Synthesis of polymeric particles with insect repellent for potential application on textile substrates. **Materials Chemistry And Physics**, [S.L.], v. 280, p. 125662, mar. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matchemphys.2021.125662>.

SANTOS, Daniela Aparecida dos. **Funcionalização de substrato têxtil com partículas poliméricas carregadas com repelente visando proteção contra o mosquito *Aedes aegypti***. 2021. 111 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Têxtil e Moda, Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021.

SAWHNEY, A.P.s.; CONDON, B.; SINGH, K.V.; PANG, S.s.; LI, G.; HUI, David. Modern Applications of Nanotechnology in Textiles. **Textile Research Journal**, [S.L.], v. 78, n. 8, p. 731-739, ago. 2008. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/0040517508091066>.

SCHMUTTERER, H. Properties and Potential of Natural Pesticides from the Neem Tree, *Azadirachta Indica*. **Annual Review Of Entomology**, [S.L.], v. 35, n. 1, p. 271-297, jan. 1990. Annual Reviews. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.en.35.010190.001415>.

Secretaria de Estado de Saúde de Minas Gerais. **Doenças transmitidas pelo *Aedes***. Disponível em:

<https://www.saude.mg.gov.br/aedes/doencastransmitidas#:~:text=O%20mosquito%20%C3%A9%20transmissor%20>. Acesso em: 21 jul. 2023.

SEKAR, Gajalakshmi; SIVAKUMAR, Amaravathy; MUKHERJEE, Amitava; CHANDRASEKARAN, Natarajan. Probing the interaction of neem oil based nanoemulsion with bovine and human serum albumins using multiple spectroscopic techniques. **Journal Of Molecular Liquids**, [S.L.], v. 212, p. 283-290, dez. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.molliq.2015.09.022>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167732215305705>. Acesso em: 02 mar. 2023.

SHARMA, S K; DUA, V K; SHARMA, V P. Field studies on the mosquito repellent action of neem oil. **The Southeast Asian Journal Of Tropical Medicine And Public Health**, Hardwar, v. 26, n. 1, p. 180-182, mar. 1995. Disponível em: <https://www.tm.mahidol.ac.th/seameo/1995-26-1/1995-26-1-180.pdf>. Acesso em: 11 mar. 2022.

SHARMA, V P; A ANSARI, M; RAZDAN, R K. Mosquito repellent action of neem (*Azadirachta indica*) oil. **Journal Of The American Mosquito Control Association**, Índia, v. 9, n. 3, p. 359-360, 1993.

SHIRVAN, Anahita Rouhani; SHAKERI, Mina; BASHARI, Azadeh. Recent advances in application of chitosan and its derivatives in functional finishing of textiles. **The Impact And Prospects Of Green Chemistry For Textile Technology**, [S.L.], p. 107-133, 2019. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-08-102491-1.00005-8>.

SHIVAKUMAR, M.s.; PUROHIT, Hardik; ANNASAMUNDRAM, Saradamba; PATEL, Prabhudas V.. Efficacy of Azadirachtin Treated Nets on Adults of *Aedes aegypti* and *Culex quinquefasciatus* (Diptera: Culicidae). **Journal Of Ecobiotechnology**, [S.L.], v. 2, n. 5, dez. 2010.

SHROFF, Ankita; KAROLIA, Anjali; DOLEZ, Patricia I.. Nanotechnology-Based Interventions in Museum Textiles. **Handbook Of Museum Textiles**, [S.L.], p. 345-359, 15 dez. 2022. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/9781119983903.ch37>.

SIBANDA, Mthokozisi; FOCKE, Walter; BRAACK, Leo; LEUTERITZ, Andreas; BRÜNIG, Harald; TRAN, Nguyen Hoai An; WIECZOREK, Florian; TRÜMPER, Wolfgang. Bicomponent fibres for controlled release of volatile mosquito repellents. **Materials Science And Engineering: C**, [S.L.], v. 91, p. 754-761, out. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.msec.2018.06.016>.

SILVA, Luana Carvalho da; CASTELO, Rachel Menezes; CHENG, Huai N.; BISWAS, Atanu; FURTADO, Roselayne Ferro; ALVES, Carlucio Roberto. Methods of Microencapsulation of Vegetable Oil: principles, stability and applications - a minireview. **Food Technology And Biotechnology**, [S.L.], v. 60, n. 3, p. 308-320, 10 abr. 2022. Faculty of Food Technology and Biotechnology - University of Zagreb. <http://dx.doi.org/10.17113/ftb.60.03.22.7329>.

SINGH, Ankit; SHEIKH, Javed. Development of mosquito-repellent and antibacterial nylon. **Indian Journal Of Fibre And Textile Research**, [S.L.], v. 47, n. 4, 20 dez. 2022. CSIR-National Institute of Science Communication and Policy Research (NIScPR). <http://dx.doi.org/10.56042/ijftr.v47i4.51085>.

SINGH, Nagender; SHEIKH, Javed. Microencapsulation and its application in production of functional textiles. **Indian Journal Of Fibre & Textile Research**, [s. l.], v. 45, n. 1, p. 495-509, dez. 2020.

SINGH, Pushpraj; DONGRE, Pradip Narayan. A Review on Medicinal Applications of Azadirachta Indica or Neem. **International Journal Of Scientific Research & Engineering Trends**, [s. l.], v. 8, n. 1, fev. 2022.

SINGHA, Nirmal; SINGHAL, Mônica. **Nim (Neem) - Azadirachta indica A. Juss**: a árvore das mil e uma utilidades. A Árvore das Mil e uma Utilidades. 2006. Atualizado em 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/fundaj/pt-br/destaques/observa-fundaj-itens/observa-fundaj/plantas-xerofilas/nim-neem-azadirachta-indica-a-juss-a-arvore-das-mil-e-uma-utilidades>. Acesso em: 16 ago. 2023.

SOUZA, Jefferson M.; CALDAS, Artemísia L.; TOHIDI, Shafagh D.; MOLINA, Javier; SOUTO, António P.; FANGUEIRO, Raul; ZILLE, Andrea. Properties and controlled release of chitosan microencapsulated limonene oil. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, [S.L.], v. 24, n. 6, p. 691-698, nov. 2014. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bjp.2014.11.007>.

SOUZA, Marina Guedes Fonseca de. **Lipossomas termossensíveis contendo nanopartículas de óxido de ferro como um potencial sistema anticâncer**. 2019. 92 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química, Universidade Federal de Itajubá, Itabira, 2019. Disponível em: https://repositorio.unifei.edu.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/2146/Disserta%C3%A7%C3%A3o_2020044.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 09 mar. 2022.

STOYTCHIEVA, Margarita (ed.). **Pesticides in the Modern World**: pesticides use and management. Croácia: Intech, 2011. 534 p. DOI: 10.5772/950

TAHERI, Mohammadreza; IMAN, Maryam; KHOOBDEL, Mehdi; DEHGHAN, Omid; ZAREI, Seyed Mohammad. **Nanoemulsion Formulation of Cold Pressed Neem Oil As a Repellent Against Anopheles Stephensi**. [S.L.], 29 dez. 2020. Research Square Platform LLC. <http://dx.doi.org/10.21203/rs.3.rs-134842/v1>.

TAIPINA, Márcia de Oliveira. **NANOCRISTAIS DE CELULOSE**: obtenção, caracterização e modificação de superfície. 2012. 116 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química, Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2012.

TAKIHARA, Anderson Massaro. **Otimização da produção de microcápsulas de alginato de sódio e seu efeito sobre a atividade da β -galactosidase**. 2017. 37 f. TCC (Graduação) - Curso de Tecnologia em Alimentos, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2017

TARIQ, Zeeshan; IZHAR, Fatima; GMD, Zunera; ZULFIQAR, Ayesha; MALIK, Mumtaz Hasan; ONEEB, Muhammad; KHAN, Asfandyar. Fabrication of highly durable functional textile through microencapsulation of organic citronella oil. **Industrial Crops And Products**, [S.L.], v. 190, p. 115878, dez. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115878>.

TELI, Mangesh D.; CHAVAN, Pravin P.. Dyeing of cotton fabric for improved mosquito repellency. **The Journal Of The Textile Institute**, [S.L.], v. 109, n. 4, p. 427-434, 11 jul. 2017. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/00405000.2017.1351066>.

TEODORO, Rhana Amanda Ribeiro. **Microencapsulação do óleo essencial de cravo-daíndia (*Caryophyllus aromaticus* L.) por secagem por atomização**. 2016. 104 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências dos Alimentos, Universidade Federal de Lavras, Lavras - Mg, 2016. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/handle/1/10990>. Acesso em: 09 fev. 2022.

Thorat, Nandkumar. **iStock**. Disponível em: <https://www.istockphoto.com/br/portfolio/NandkumarThorat?mediatype=photography> . Acesso em 24 de março de 2024.

TÜRKOĞLU, Gizem Ceylan; SARİDİŞDİK, Ayşe Merih; ERKAN, Gökhan; YİĞİTLİMAZ, Mehmet Salih; KONTART, Oya. Micro- and nano-encapsulation of limonene and permethrin for mosquito repellent finishing of cotton textiles. **Iranian Polymer Journal**, [S.L.], v. 29, n. 4, p. 321-329, 2 mar. 2020. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s13726-020-00799-4>.

ULLAH, Hamid; ALI, Saqib. Classification of Anti-Bacterial Agents and Their Functions. **Antibacterial Agents**, [S.L.], 31 maio 2017. InTech. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.68695>.

VALLE, José Alexandre Borges; VALLE, Rita de Cássia Siqueira Curto; BIERHALZ, Andrea Cristiane Krause; BEZERRA, Fabricio Maestá; HERNANDEZ, Arianne Lopez; ARIAS, Manuel José Lis. Chitosan microcapsules: methods of the production and use in the textile finishing. **Journal Of Applied Polymer Science**, [S.L.], v. 138, n. 21, 18 jan. 2021. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/app.50482>.

VARGAS, L. D. L.; FERREIRA, S. M. B.; SOUZA, M. D.; SILVA, C. A. L. da; SHIMOYA-BITTENCOURT, W. Resistência das populações de *Aedes (Stegomyia) aegypti* (Linnaeus, 1762) (Insecta, Diptera, Culicidae) aos inseticidas utilizados para o controle: estado da arte do conhecimento. **Revista de Ciências Médicas e Biológicas**, [S. l.], v. 21, n. 1, p. 98–116, 2022. DOI: 10.9771/cmbio.v21i1.44458. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/cmbio/article/view/44458>. Acesso em: 17 set. 2023.

VITHALKAR, Aastha; KAIWARTYA, Keshav; PATEL, Yashwant Kumar. The Green Gold-Neem: a review. **International Research Journal**, [S.L.], v. 10, n. 1, p. 62-77, 2023.

WAKELYN, Phillip J.; BERTONIERE, Noelle R.; FRENCH, Alfred D.; THIBODEAUX, Devron P.; TRIPLETT, Barbara A.; ROUSSELLE, Marie-Alice; GOYNES JUNIOR, Wilton R.; EDWARDS, J. Vincent; HUNTER, Lawrence; MCALISTER, David D.. **Cotton Fiber Chemistry and Technology**. Boca Raton: Crc Press, 2006. 176 p.

WANG, Binglin; LAI, Xuejun; LI, Hongqiang; JIANG, Changcheng; GAO, Jiefeng; ZENG, Xingrong. Multifunctional MXene/Chitosan-Coated Cotton Fabric for Intelligent Fire Protection. **Acs Applied Materials & Interfaces**, [S.L.], v. 13, n. 19, p. 23020-23029, 5 maio 2021. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/acsami.1c05222>.

WANG, X.W.; XIN, J.H.. Insect-repellent textiles. In: MIAO, Menghe; XIN, John H. (ed.). **The Textile Institute Book Series: engineering of high-performance textiles**. Manchester: Woodhead Publishing, 2018. p. 335-348. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101273-4.00027-5>.

WEBB, Cameron e; HESS, Isabel Mr. A review of recommendations on the safe and effective use of topical mosquito repellents. **Public Health Research & Practice**, [S.L.], v. 26, n. 5, 14 dez. 2016. The Sax Institute. <http://dx.doi.org/10.17061/phrp2651657>.

WEBER, Douglas. **Suportes poliméricos à base de quitosana: preparação, caracterização e aplicações biocatalíticas na síntese de ésteres terpênicos**. 2016. 68 f. TCC (Graduação) - Curso de Química, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

XAVIER, Letícia Ramalho. **QUITOSANA OBTIDA DE CAMARÕES: síntese e caracterização**. 2023. 34 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Aquicultura, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, Campus de Alegre, 2023.

XIN, J.H.; LU, H.F.. Easy-care treatments for fabrics and garments. **Engineering Of High-Performance Textiles**, [S.L.], p. 187-215, 2018. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-08-101273-4.00025-1>.

YANG, Zujin; ZENG, Zhangfu; XIAO, Zuobing; JI, Hongbing. Preparation and controllable release of chitosan/vanillin microcapsules and their application to cotton fabric. **Flavour And Fragrance Journal**, [S.L.], v. 29, n. 2, p. 114-120, 3 out. 2013. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/ffj.3186>.

YANG, Zujin; ZENG, Zhangfu; XIAO, Zuobing; JI, Hongbing. Preparation and controllable release of chitosan/vanillin microcapsules and their application to cotton fabric. **Flavour And Fragrance Journal**, [S.L.], v. 29, n. 2, p. 114-120, 3 out. 2013. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/ffj.3186>.

ZAVERI, Mitul Dilip. **Absorbency Characteristics of Kenaf Core Particles**. 2004. 102 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência, Departamento de Tecnologia e Gestão de Vestuário Têxtil, Universidade Estadual da Carolina do Norte, Raleigh, 2004.

ZHOU, By Chang-E; KAN, Chi-Wai; SUN, Chang; DU, Jinmei; XU, Changhai. A Review of Chitosan Textile Applications. **Aatcc Journal Of Research**, [S.L.], v. 6, n. 1, p. 8-14, maio 2019. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.14504/ajr.6.s1.2>.