

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE CIÊNCIAS EXATAS E EDUCAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA TÊXTIL
CURSO ENGENHARIA TÊXTIL

Ana Paula Prestes Schmidt

LIBERAÇÃO PROLONGADA DE ÓLEO ESSENCIAL DE GENGIBRE EM TECIDO
100% ALGODÃO

BLUMENAU

2022

Ana Paula Prestes Schmidt

**LIBERAÇÃO PROLONGADA DE ÓLEO ESSENCIAL DE GENGIBRE EM TECIDO
100% ALGODÃO**

Trabalho Conclusão do Curso de 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 Bacharel em Engenharia Têxtil
Orientador: Prof^a. Dr^a. Rita de Cássia Siqueira Curto Valle

BLUMENAU

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Schmidt, Ana Paula Prestes
Liberação Prolongada de Óleo Essencial de Gengibre em
Tecido 100% algodão / Ana Paula Prestes Schmidt ;
orientadora, Rita de Cássia Siqueira Curto Valle , 2022.
71 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Blumenau,
Graduação em Engenharia Têxtil, Blumenau, 2022.

Inclui referências.

1. Engenharia Têxtil. 2. Têxteis funcionais. 3.
Liberação prolongada. 4. Óleo essencial de gengibre. 5. ?
Ciclodextrina. I. Valle , Rita de Cássia Siqueira Curto .
II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em
Engenharia Têxtil. III. Título.

Ana Paula Prestes Schmidt

**LIBERAÇÃO PROLONGADA DE ÓLEO ESSENCIAL DE GENGIBRE EM TECIDO
100% ALGODÃO**

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Engenheiro Têxtil” e aprovado em sua forma final pelo Curso Engenharia Têxtil

Blumenau, 27 de julho de 2022.

Prof^a. Catia Rosana Lange de Aguiar, Dr^a
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof^a. Rita de Cássia Siqueira Curto Valle, Dr^a
Orientador(a)
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof^a. Catia Rosana Lange de Aguiar, Dr^a
Avaliadora
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Miguel Angelo Granato, Dr
Avaliador
Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado a Deus, que me guia e fortalece em todos os momentos da minha vida e à minha mãe que é o meu maior exemplo de força, honestidade e amor.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus que em sua infinita bondade me deu a vida e a oportunidade de concluir a graduação.

Agradeço à minha mãe Márcia por todo o amor, carinho, apoio e motivação.

Agradeço minhas irmãs por todo carinho, amor e amizade.

Agradeço a todos os meus professores pelos ensinamentos transmitidos.

Agradeço à minha orientadora professora Rita pelo apoio, incentivo, disponibilidade e paciência durante todo o desenvolvimento do presente trabalho.

Agradeço também ao Marcos Santana pelo auxílio na realização dos experimentos.

Agradeço à empresa Werken Química pela doação do substrato têxtil e dos aditivos utilizados nos experimentos.

Por fim, agradeço à universidade e a todos seus servidores e técnicos, que de alguma forma contribuíram para a minha formação.

A todos, meu muito obrigada!

RESUMO

A demanda por têxteis funcionais voltados ao bem-estar e conforto do usuário tem aumentado de forma significativa. Nesse sentido, a utilização de compostos bioativos, como óleos essenciais, é considerada uma alternativa viável e segura na funcionalização de substratos têxteis, dado as inúmeras propriedades biológicas e terapêuticas associadas a estas substâncias. Desta forma, o presente trabalho buscou o desenvolvimento de um tecido 100% algodão com liberação prolongada de óleo essencial de gengibre por meio da formação de complexos de inclusão com a β -Ciclodextrina. Investigou-se três formas de fixação das CDs no substrato, sendo elas: reticulação com o ácido 1,2,3,4 butano tetracarboxílico (BTCA), reticulação com o ácido cítrico (CA) e com a cationização da β -CD com o Cloreto de 3-cloro-2-hidroxipropiltrimetilamônio (CHPTAC). A cationização da β -CD foi realizada seguindo os conceitos de cationização da fibra de algodão e sua incorporação ao tecido se deu pelo método de esgotamento, enquanto, as CDs fixadas com ácido cítrico e com o BTCA foram ancoradas ao tecido por foulardagem. A quantificação da CDs enxertadas no tecido foi realizada por meio da análise do ganho de massa e com o ensaio da fenolftaleína. Para a obtenção do rendimento de complexação, calculou-se a concentração de óleo presente no sobrenadante da solução de complexos e o estudo do mecanismo de liberação do OEG foi em meio aquoso a $37^{\circ}\text{C} \pm 0,5$. Realizou-se uma estimativa da ação antimicrobiana dos tecidos por meio da adaptação do método Petrifilm. Os resultados obtidos demonstram que o processo de cationização da β -CD com o CHPTAC não foi eficiente, visto a baixa quantidade de β -CDs enxertadas no tecido. Já a utilização dos poliácidos BTCA e ácido cítrico mostraram-se alternativas potencialmente promissoras para a reticulação dos complexos no algodão. Os rendimentos de encapsulamento obtidos para o ácido cítrico e o BTCA foram bastante elevados, respectivamente, 90% e 88%, evidenciando uma boa relação hóspede-hospedeiro entre a β -CD:OEG. A liberação do óleo para ambos os agentes reticulantes apresentou um perfil anômalo com quatro fases distintas e a estabilidade não foi alcançada no intervalo de tempo estudado, indicando um retardo na liberação, e, todas as amostras apresentaram ação antimicrobiana.

Palavras-chave: Têxteis funcionais, Liberação prolongada, Algodão, Óleo essencial de gengibre, β -Ciclodextrina.

ABSTRACT

The demand for functional textiles aimed at the well-being and comfort of the user has increased significantly. In that regard, the use of bioactive compounds, such as essential oils, is considered a viable and safe alternative in functionalization of textile substrates, given the numerous biological and therapeutic properties associated with these substances. Thus, the present work sought the development of a 100% cotton fabric with prolonged release of ginger essential oil through the formation of inclusion complexes with β -Cyclodextrin. Three ways of fixing CDs on the substrate were investigated, namely: crosslinking with 1,2,3,4 butane tetracarboxylic acid (BTCA), crosslinking with citric acid (CA) and with the cationization of β -CD with o 3-Chloro-2-hydroxypropyltrimethylammonium chloride (CHPTAC). The cationization of β -CD was carried out following the concepts of cationization of cotton fiber and its incorporation into the fabric was carried out by the exhaustion method. Meanwhile, the DCs fixed with citric acid and with BTCA were anchored to the fabric by padding. The quantification of CD grafted in the fabric was performed by analyzing the mass gain and with phenolphthalein assay. To obtain the complexation yield, the concentration of oil present in the supernatant of the complex solution was calculated and the study of the mechanism of OEG release was carried out in an aqueous medium at $37\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.5$. An estimate of the bacterial action of the fabric was performed by adapting the Petrifilm method. The results obtained demonstrate that the process of cationization of β -CD with CHPATC was not efficient, given the low amount of β -CDs grafted in the fabric. The use of BTCA polyacids and citric acid has shown to be potentially promising ways for the crosslinking of the complexes in cotton. The encapsulation yields obtained for citric acid and BTCA were quite high, respectively, 90% and 88%, evidencing a good host-host ratio between β -CD:OEG. The oil release for both crosslinking agents presented an anomalous profile with four distinct phases and stability was not reached in the studied time interval, indicating a delay in the release and all samples showed bacterial action.

Keywords: Functional Textiles. Extended Release. Cotton. Ginger Essential Oil. Inclusion β -Cyclodextrin.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Principais produtores globais de algodão, 2010-2020.	18
Figura 2 – Microestrutura do algodão. (a) Seção transversal de algodão, (b) seção vertical de algodão.	19
Figura 3 – Estrutura química da Celulose	20
Figura 4 – Mecanismo de cationização do algodão com o CHPTAC	21
Figura 5 – Quantidade de documentos na base dados Scopus relacionados a “Fuctional Textile”	23
Figura 6 – Classificação dos cosmetotêxteis em termos de sua influência no corpo humano .	24
Figura 7 – Ações dos aromas no corpo humano ao serem inalados	26
Figura 8 – Materiais para encapsular as moléculas perfumadas	30
Figura 9 – Representação esquemática de liberação imediata, prolongada e controlada.	31
Figura 10 – Estruturas químicas da α , β e γ ciclodextrina.	32
Figura 11– O processo de equilíbrio dinâmico de complexos de inclusão.	33
Figura 12– Representação esquemática das principais estequiometrias dos complexos de inclusão.	34
Figura 13 - Aplicações da Ciclodextrina.	35
Figura 14 - Diagrama de obtenção de complexo de inclusão de óleo essencial de gengibre e ciclodextrina.	44
Figura 15 - Curva de calibração para β -ciclodextrina.	47
Figura 16 -Quantificação da ciclodextrina após a impregnação no foulard.	48
Figura 17 - Curva padrão de calibração de análise do óleo essencial de gengibre por absorção espectrofotométrica a 250 nm	51
Figura 18- Liberação do OE de gengibre complexado em β -CD e reticulado em tecido de algodão com o uso do ácido cítrico e o BTCA.	53
Figura 19 - Estimativa do efeito bactericida utilizando uma metodologia simplificada da Petrifilm AC	55

LISTA DE QUADROS

Quadro 1– Atividades biológicas de compostos ativos de gengibre reportadas.....	29
Quadro 2 - Estudos sobre a aplicação das CDs na indústria têxtil	37
Quadro 3 –Produtos utilizados e suas respectivas funções	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição química do algodão cru.....	20
Tabela 2 – Efeitos Sedativos e emocionais de alguns óleos essenciais.....	28
Tabela 3–Propriedades fundamentais das α , β e γ -ciclodextrinas	32
Tabela 4 – Interações possíveis entre β -CD e algumas fibras têxteis (+) possível (-) não é possível.....	38
Tabela 5 - Ganho de massa após a aplicação de β -CD em tecidos 100% algodão.....	46
Tabela 6 - Quantificação da β -ciclodextrina impregnada após o processo de foulard e após lavagem com água destilada	48
Tabela 7 - Eficiência de formação de complexos para o BTCA e o ácido cítrico.....	51

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BTCA – Ácido 1,2,3,4-butanotetracarboxílico

BNITH – Standardisation of Textile and Clothing Industries

CA –Ácido cítrico

CD – Ciclodextrina

CHPTAC – Cloreto de 3-cloro-2-hidroxi-propiltrimetilamônio

CONMETRO – Conselho nacional de metrologia, normalização e qualidade industrial

EPTAC – Cloreto de epoxi-propiltrimetilamônio

OE – Óleo essencial

OEG – Óleo essencial de gengibre

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVOS	16
1.1.1	Objetivo Geral.....	16
1.1.2	Objetivos Específicos	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1	ALGODÃO.....	18
2.2	CATIONIZAÇÃO DO ALGODÃO.....	21
2.3	TÊXTEIS FUNCIONAIS	22
2.3.1	Têxteis Cosméticos.....	23
2.3.1.1	<i>Têxteis com liberação de fragrância</i>	25
2.4	Óleos essenciais	27
2.4.1	Óleo essencial de gengibre.....	28
2.5	SISTEMAS DE LIBERAÇÃO PROLONGADA DE PRINCÍPIO	29
2.6	CICLODEXTRINA	31
2.6.1	Complexos de inclusão	33
2.6.2	Aplicações das Ciclodextrinas	35
2.6.3	Aplicações das ciclodextrinas na indústria têxtil	35
2.6.4	Fixação dos complexos nos substratos têxteis	38
3	MATERIAIS E MÉTODOS	40
3.1	MATERIAIS.....	40
3.1.1	Substrato têxtil.....	40
3.1.2	Reagentes	40
3.2	MÉTODOS	41
3.2.1	Curva de calibração do óleo essencial de gengibre.....	41
3.2.2	Cationização da β-CD.....	41

3.2.3	Preparação das soluções de β-CDs para a fixação com os agentes reticulantes ácido 1,2,3,4 butano tetra carboxílico e com o ácido cítrico	42
3.2.4	Fixação das β-CDs nos tecidos	42
3.2.5	Ganho de massa	42
3.2.6	Quantificação de β-ciclodextrina enxertada.....	43
3.2.7	Formação dos complexos de inclusão β-CD: OEG	43
3.2.8	Fixação dos complexos no substrato têxtil.....	44
3.2.9	Liberação in vitro do óleo essencial de gengibre	45
3.2.10	Estimativa da eficácia bactericida.....	45
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	46
4.1	Ganho de massa	46
4.2	Quantificação da ciclodextrina enxertada no tecido	47
4.3	Curva de calibração do óleo essencial	50
4.4	EFICIÊNCIA DA FORMAÇÃO DE COMPLEXOS	51
4.5	LIBERAÇÃO in vitro DO ÓLEO essencial DE GENGIBRE	53
4.6	Eficácia antibacteriana dos tecidos funcionalizados.....	54
5	CONCLUSÃO.....	57
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	58
	REFERÊNCIAS.....	59

1 INTRODUÇÃO

A indústria têxtil tem passado por inúmeras transformações, impulsionadas principalmente pelas mudanças no estilo de vida dos consumidores (MENDES, 2020), que cada vez mais priorizam a praticidade, conforto, bem-estar e a sustentabilidade. Assim, o desenvolvimento de novos produtos e processos que sejam capazes de promover benefícios aos usuários tem-se tornado indispensável para a indústria têxtil e da moda (BERNARDI, CANTU e CEDROLA, 2022).

Por muito tempo a função de um substrato têxtil foi apenas proteger o usuário das hostilidades do ambiente (COTRIM, 2015). No entanto, com os inúmeros avanços tecnológicos em conjunto com as necessidades do consumidor moderno, os têxteis ganharam novas funções, o que ampliou seu escopo de aplicação.

Observa-se um crescente interesse na obtenção de têxteis com capacidade de liberação de fragrâncias (PIMENTA, 2014), pois, devido à proximidade dos substratos têxteis com a pele, esses podem servir como um bom sistema de entrega para os benefícios dos óleos essenciais (METHA e GILLIVRAY, 2022). Os materiais têxteis com liberação de aromas são considerados uma subcategoria de têxteis cosméticos (PIMENTA, 2014), denominados têxteis aromáticos (KHEDKAR e MALLICK, 2020) ou aromaterapêuticos (CEREMPEI, 2017).

Os benefícios dos óleos essenciais (OEs) são conhecidos e explorados pela humanidade desde a antiguidade (KINGHORN et al., 2011). Esses compostos podem agir de diferentes formas na fisiologia e sentidos dos seres humanos, por exemplo, ao inalar o aroma de um óleo essencial, suas moléculas podem ativar o sistema olfativo e gastrointestinal, promovendo a liberação de neurotransmissores que proporcionam o bem-estar do usuário (METHA e GILLIVRAY, 2022). No entanto, apesar das inúmeras propriedades terapêuticas associadas aos óleos essenciais, esses compostos são bastante instáveis e suscetíveis à oxidação e degradação, dado a sua natureza volátil (FERNANDES, et al., 2016). O que impede de fato a utilização destes materiais em aplicações que exigem durabilidade (SOUZA, FREITAS e OLIVEIRA, 2016), como em matrizes têxteis.

Uma alternativa considerada viável para aumentar a estabilidade e estender a liberação dos óleos essenciais é o processo de microencapsulação destes compostos (LIU et al., 2008; KFOURY et al., 2019). O encapsulamento em ciclodextrina é uma ferramenta bastante eficiente para reter e modular a liberação dos OEs (DECOCK et al., 2008).

Entretanto, a aderência das CDs nos substratos têxteis não é duradoura, visto que apenas ligações fracas de van der Waals e ponte de hidrogênio prevalecem entre a celulose e a β -ciclodextrina (KHANNA e CHAKRABORTY, 2017), sendo necessário o emprego de estratégias que promovam a fixação dos complexos nos têxteis.

Desta forma, o presente trabalho propôs o desenvolvimento de um têxtil aromaterapêutico, por meio da modificação superficial do algodão com complexos de inclusão entre β -CD e óleo essencial de gengibre (OEG). Para isso, investigou-se três métodos de fixação das β -CDs no substrato. No método 1, utilizou-se o ácido 1,2,3,4 butano tetracarboxílico (BTCA), no método 2, o ácido cítrico (CA) foi utilizado como agente reticulante e no método 3 a β -CD foi cationizada com o cloreto de 3-cloro-2-hidroxiopropiltrimetilamônio (CHPTAC).

1.1 OBJETIVOS

Nas seções abaixo estão descritos o objetivo geral e os objetivos específicos deste TCC.

1.1.1 Objetivo Geral

Obter um substrato têxtil de algodão com liberação prolongada de óleo essencial de gengibre por meio da formação de complexos de inclusão com a β -ciclodextrina.

1.1.2 Objetivos Específicos

- a) Desenvolver complexos de inclusão de β -ciclodextrina e óleo essencial de gengibre;
- b) Aplicar os complexos de inclusão em substratos têxteis de algodão por meio de impregnação e esgotamento;
- c) Avaliar a liberação prolongada do óleo essencial (OE);
- d) Avaliar a eficiência dos diferentes métodos de fixação das CDs;
- e) Avaliar a cationização da β -ciclodextrina com o CHPTAC;

- f) Avaliar a ação bacteriana dos tecidos funcionalizados com óleo essencial de gengibre e do tecido enxertado com a β -ciclodextrina cationizada.

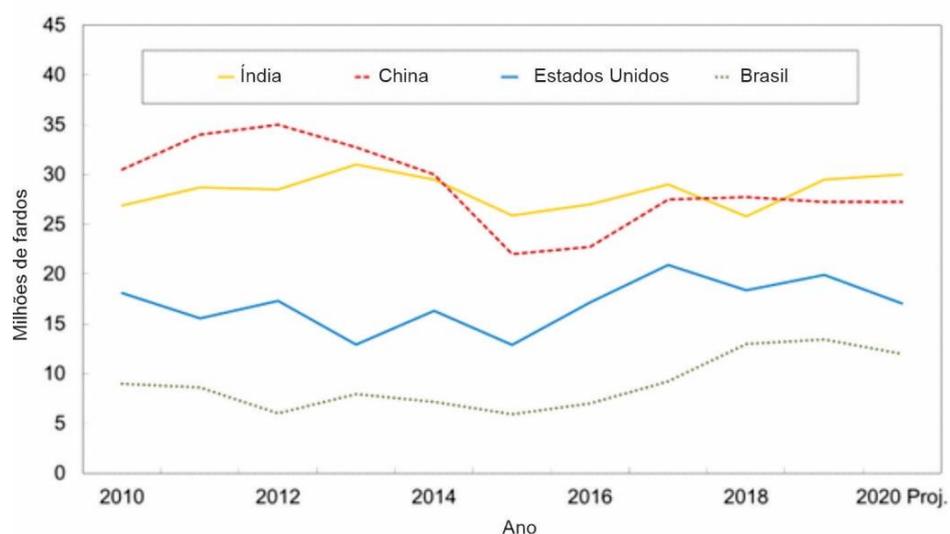
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta seção apresenta os conceitos fundamentais relacionados ao tema do presente trabalho, de modo a facilitar sua compreensão. Assim, os tópicos abordados são: (i) algodão, (ii) cationização do algodão, (iii) têxteis funcionais, (iv) têxteis cosméticos, (v) têxteis aromaterapêuticos, (vi) óleos essenciais (vii) óleo essencial de gengibre (viii) sistema de liberação de fragrâncias (ix) ciclodextrina (x) formação de complexos de inclusão (xi) aplicações das ciclodextrinas (xii) aplicações das CDs na indústria têxtil e (xiii) fixação dos complexos de inclusão em têxteis.

2.1 ALGODÃO

O algodão é a fibra de origem celulósica mais importante e utilizada na indústria têxtil nacional e internacional (VASCONCELOS, 2005; SANTANA et al., 1999). Logo, sua cultura é considerada uma das mais importantes do mundo. Estima-se que a área plantada deste vegetal por ano corresponda a 35 milhões de hectares e que esse mercado movimente cerca de US\$ 12 bilhões/ano (ABRAPA, 2018). Na Figura 1, são apresentados os quatro maiores produtores de algodão do mundo entre os anos de 2010 e 2020.

Figura 1 – Principais produtores globais de algodão, 2010-2020.

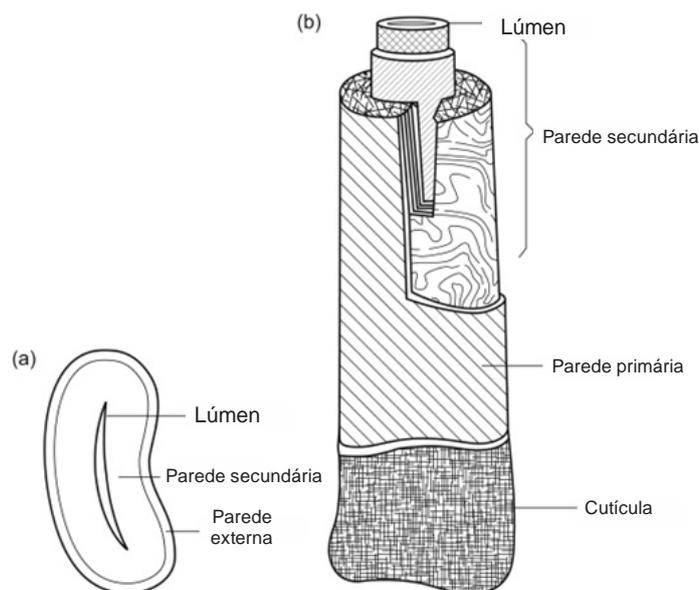


Fonte: Adaptado - Cotton Sector at a Glance (USDA, 2019).

O grande sucesso da fibra de algodão é oriundo de suas características únicas como comprimento, uniformidade de comprimento, maturidade, cor e sedosidade (SANTANA et al., 1999) além de toque agradável, grande capacidade de absorção, boa resistência a processos de lavagem e baixo potencial para formação de *pilling* (MEDEIROS, 2016). Essas propriedades tornam o algodão a fibra mais versátil entre todas as fibras têxteis, dado que seu campo de aplicação abrange desde o setor de vestuário, decoração até aplicações funcionais e técnicas (CALDEIRA, 2012).

Em termos morfológicos, a estrutura fibrilar do algodão é composta, essencialmente, por quatro camadas, sendo estas: cutícula, parede primária, parede secundária e o lúmen (YU, 2015), como representado na Figura 2.

Figura 2 – Microestrutura do algodão. (a) Seção transversal de algodão, (b) seção vertical de algodão.



Fonte: Adaptado C. Yu (2015)

A composição química do algodão (Tabela 1) varia de acordo com as condições de cultivo, grau de maturação e principalmente entre as espécies (DARIA; KRZYSZTOF; JAKUB, 2020). Em seu estado natural, a fibra de algodão além de celulose contém substâncias, tais como: gorduras, ceras, óleos, pectinas, entre outras (TROTMAN, 1984), as quais são consideradas impurezas e então, são removidas no beneficiamento primário (SALEM, 2010). Após o tratamento químico, o teor de celulose das fibras de algodão pode ultrapassar 99% (CHAND e FAHIM, 2021).

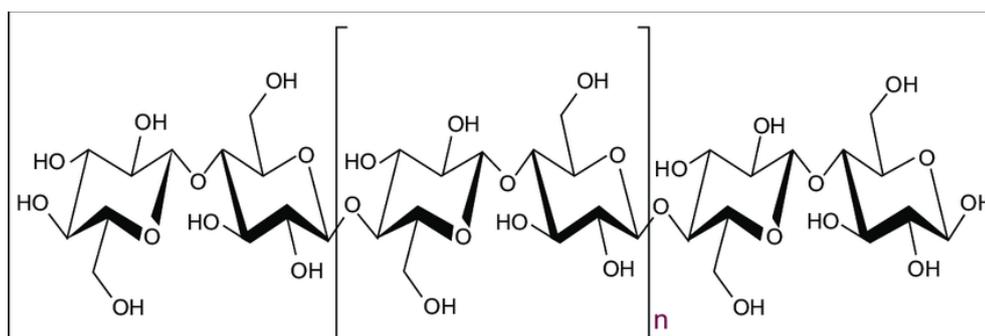
Tabela 1 – Composição química do algodão cru.

Substância	Porcentagem
Celulose	88 - 96 %
Pectina	0,7 - 1,2 %
Cera	0,4 - 1,0 %
Proteínas	1,1 - 1,9 %
Matéria orgânica	0,5 - 1,0 %
Matéria mineral	0,7 - 1,6 %

Fonte: Adaptado de Mather e Wardman (2015)

A celulose (Figura 3) é um homopolímero linear de alto peso molecular formado por unidades de D-glicopiranosose unidas por ligações do tipo 1,4-glicosídicas (WUSTENBERG, 2015). Sua estrutura possui regiões altamente ordenadas, assim como regiões desordenadas, conferindo as fibras durabilidade e boa absorção de água (BUNSELL, 2009). A cristalinidade é decorrente da conformação em cadeira da glicopiranosose e da ligação β glicosídica (ZORNIO, 2013) enquanto, as zonas amorfas são oriundas de torções ou flexões da molécula, devido à sua forma de fita (EICHHORN et al., 2009).

Figura 3 – Estrutura química da Celulose



Fonte: Johnsy e Sabpathi (2015)

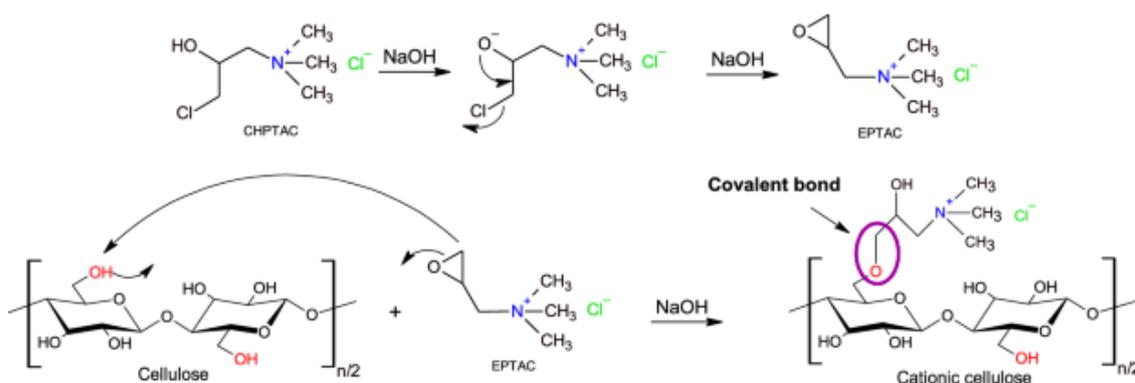
Os grupos hidroxila presentes na estrutura da celulose, permitem que este polímero reaja com diferentes moléculas, através de esterificação, eterificação e oxidação, formando derivados com propriedades únicas (COVA, 2018). No entanto, como a maioria das fibras têxteis naturais, o algodão assume potencial zeta negativo em meio aquoso, devido à ionização parcial dos grupos hidroxila (MONZATER, 2007; ACHARYA et al., 2014). Assim,

a adsorção de auxiliares têxteis, corantes, branqueadores ópticos e agentes de acabamento é um processo difícil, dado às forças repulsivas, sendo então necessário a adição de grandes quantidades de eletrólitos. Entretanto, a adição de eletrólitos é um processo desfavorável tanto em termos econômicos, como ambientais (TARBUCK et al., 2014). Outra forma de reduzir as forças repulsivas, consiste na deposição de cátions na superfície do algodão, processo denominado cationização (PATIL et al., 2020).

2.2 CATIONIZAÇÃO DO ALGODÃO

O processo de cationização é todo aquele que insere sítios positivos nas fibras celulósicas, podendo ser de forma superficial ou com reações moleculares (BRIZIDO, 2018). Atualmente, a metodologia mais empregada na cationização do algodão é a introdução de grupos amino na superfície da fibra (ROY CHOUDHURY, 2014). Sendo o CHPTAC um dos reagentes mais utilizados (HAUSER e TABBA 2001; WANG et al., 2009). O CHPTAC em seu estado original também não é reativo com a celulose, assim é necessário primeiro a sua conversão em cloreto de epoxipropiltrimetilamônio (EPTAC), essa conversão ocorre pela adição de 1:1 equimolar de hidróxido de sódio (FARREL e HAUSER, 2012). O EPTAC é muito mais reativo que o CHPTAC, logo é capaz de ligar-se covalentemente com o ânion da celulose (CORREIA et al., 2021). O mecanismo de reticulação do CHPTAC no algodão é apresentado na Figura 4.

Figura 4 – Mecanismo de cationização do algodão com o CHPTAC



Fonte: Correia et al., (2022)

Outros reagentes podem ser utilizados na cationização do algodão, como: poli (cloreto de dialildimetilamônio) (JAREANSIN; SUKAAM; KUSUKTHAM, 2019; ABD EL-HADY; SHARAF; FAROUK, 2020), epícloridrina (LIU; YAO, 2011), cloreto de 2-metacrilóiloxietiltrimetil amônio (MA et al., 2015), entre outros. A introdução de cargas positivas nas fibras celulósicas tem por finalidade não apenas eliminar a repulsão, mas também criar uma atração iônica (BRIZIDO, 2018).

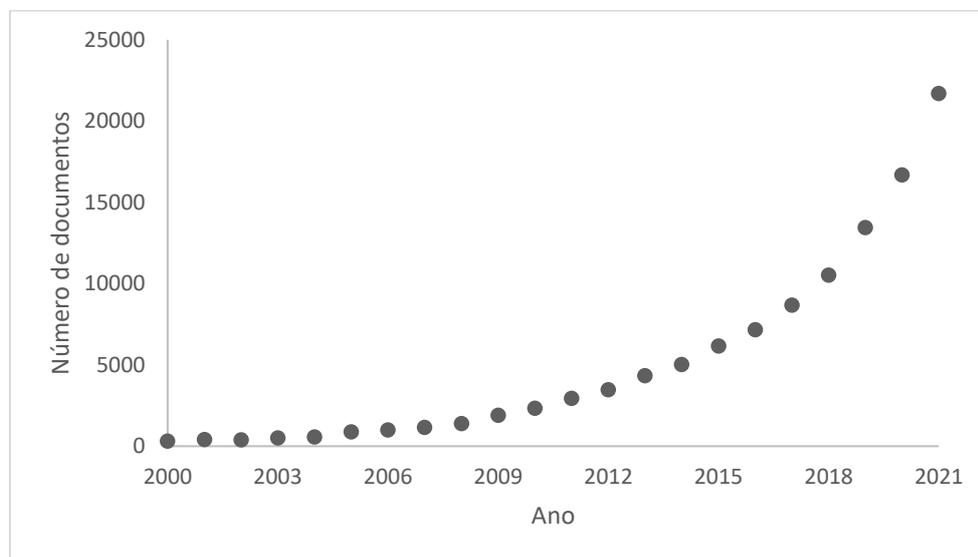
Um dos objetivos do trabalho foi utilizar os conceitos de cationização da celulose para cationizar a ciclodextrina.

2.3 TÊXTEIS FUNCIONAIS

O escopo de aplicação dos materiais têxteis expandiu-se de forma significativa, resultado de inúmeras pesquisas que visam maximizar o potencial destes materiais, conferindo-os novas particularidades que completam suas propriedades intrínsecas (FERREIRA; FERREIRA; OLIVEIRA, 2014). Só entre os anos 2015 e 2020 a taxa de crescimento deste mercado foi de 30% (FERNANDES et al., 2022).

Buscando por “*Functional Textile*” na plataforma Scopus, comprovou-se o crescente interesse por esses materiais, conforme pode ser observado na Figura 5. Os têxteis funcionais consistem em materiais fabricados especificamente para oferecer um desempenho ou funcionalidade adicional acima da função do têxtil convencional (PIMENTA, 2014). Alguns exemplos de têxteis funcionais incluem antimicrobiano, repelente de insetos, controle de odor, retardante de chama, resistência ao calor, proteção ultravioleta (UV), termorregulador, antiestático, antirrugas, propriedades condutoras, entre outras (FERNANDES et al., 2022). Essas propriedades podem ser fornecidas aos substratos têxteis em diferentes etapas da produção, ou seja, desde a matriz polimérica até o processo de acabamento (HAULE e NAMBELA, 2022). A modificação de superfície têxtil é vista com uma das maneiras mais viáveis para a fabricação de têxteis funcionais, dado que essa técnica permite a incorporação de novas propriedades a estes produtos, sem diminuir o seu conforto e a sua resistência mecânica (FOUDA, ABDEL-HALIM, & AL-DEYAB, 2013).

Figura 5 – Quantidade de documentos na base de dados Scopus relacionados a “*Fuctional Textile*”



Fonte: Baseado Scopus (2022)

Entre os setores que utilizam os têxteis funcionais, destacam-se a construção civil, indústria automobilística, naval e aeroespacial, saúde, esporte, segurança no trabalho, moda, entre outros (AVANCI et al., 2016). E com a crescente preocupação acerca das questões estéticas e com a saúde, o mercado de têxteis funcionais voltados ao tratamento e cuidados pessoais tem ganhado notoriedade (CARMO, 2016). Conforme Islam et al., (2022) os têxteis cosméticos e produtos têxteis de cuidados pessoais estão entre os têxteis técnicos com maior potencial de crescimento, principalmente pelo aumento dos requisitos de higiene provocados pela pandemia do COVID-19.

2.3.1 Têxteis Cosméticos

Os têxteis cosméticos ou cosmetotêxteis são materiais de alto desempenho que combinam os benefícios de substâncias ativas cosméticas com a funcionalidade dos materiais têxteis (AZIZI, CHEVALIER e MAJDOUB, 2014). A BNITH define um têxtil cosmético como:

Um artigo têxtil que contém uma substância ou uma preparação que é liberada ao longo do tempo em diferentes partes superficiais do corpo humano, em especial sobre a pele, e reivindicando propriedades especiais, tais como a limpeza, perfumes, mudando proteção, aparência, mantendo-se em bom estado ou correção de odores corporais. - Ver artigo 1º da Diretiva Cosméticos União Europeia.

Os têxteis cosméticos comercializados são divididos em subcategorias de acordo com o princípio ativo utilizado (PIMENTA, 2014) assim, estes materiais podem apresentar propriedades hidratantes, redutores de celulite, emagrecedores, energizantes, refrescantes, com liberação de fragrância, entre outras (HOLME, 2007). Além das funções cosméticas, estes materiais também possuem outras funcionalidades, como repelência a insetos, redução de odores e agentes de proteção (MATHIS e MEHLING, 2011). A Figura 6, apresenta a classificação dos cosmetotêxteis em termos de sua influência no corpo humano.

Figura 6 – Classificação dos cosmetotêxteis em termos de sua influência no corpo humano



Fonte: Adaptado Munoz et al., (2017)

Os têxteis cosméticos proporcionam um maior tempo de ação do princípio ativo sobre a pele quando comparado com a utilização apenas do produto cosmético (PIMENTA,

2014). Inúmeras marcas mundialmente conhecidas já integram o mercado de têxteis cosméticos, por exemplo, Nylstar que lançou uma fibra antienvelhecimento (Meryl®Hyaluronan). Essa tecnologia é capaz de suavizar a pele, melhorar a elasticidade, dado que promove a formação de colágeno, além de conferir brilho e retardar o processo de envelhecimento (NYLSTAR, 2022).

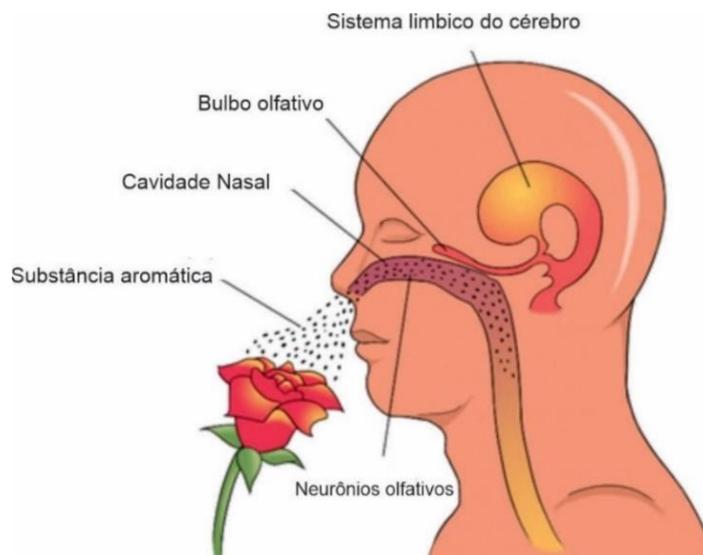
Uma das subcategorias dos têxteis cosméticos que mais tem chamado a atenção é a dos têxteis com liberação de fragrâncias. Esses materiais liberaram aromas capazes de promover o bem-estar do usuário, através da aromaterapia (PIMENTA, 2014).

2.3.1.1 Têxteis com liberação de fragrância

Com o aumento da popularidade dos têxteis funcionais voltados ao bem-estar e conforto do usuário, em especial materiais têxteis baseados em aromaterapia (MEHTA e GILLIVRAY, 2022), o acabamento de tecidos com fragrância tem cada vez mais se tornando um importante alvo comercial, assim como um desafio de engenharia (SINGH et al., 2017). Conforme Wang e Chen (2005) o termo aromaterapia refere-se ao uso terapêutico de fragrâncias voláteis para tratar doenças e infecções, ou seja, é relacionado aos efeitos farmacológicos dos óleos essenciais, já o termo aromacologia refere-se aos efeitos psicológicos das fragrâncias nos consumidores. No entanto, muitas das vezes o termo aromaterapia é utilizado para se referir tanto aos efeitos farmacológicos quanto aos psicológicos (PIMENTA, 2014, MEHTA e GILLIVRAY, 2022).

São inúmeras as ações positivas da aromaterapia sobre o corpo humano, dado que as fragrâncias podem estimular respostas fisiológicas e psicológicas (SOWNDHARARAJAN e KIM, 2016) conforme representado na Figura 7. Os aromas são absorvidos pelos receptores nasais que mandam informações para a parte do cérebro, que controla as emoções e a memória. Outra parte do cérebro também pode ser ativada ao sentir aromas, o hipotálamo, responsável por regular sistemas internos do corpo, como a sexualidade, temperatura e reações ao estresse (MARX et al., 2017).

Figura 7 – Ações dos aromas no corpo humano ao serem inalados



Fonte: Adaptado Fisk MSc (2018)

Conforme Cerempei (2016) o acabamento aromático em têxteis consiste em um processo no qual esses materiais são tratados com sistemas bioativos para obter propriedades multifuncionais, sendo assim utilizado na fabricação de têxteis para a medicina e cura alternativa, têxteis-lar, têxteis para o cuidado com o corpo, limpeza doméstica e produtos cosméticos.

Uma grande variedade de estudos voltados à obtenção de têxteis aromáticos podem ser encontrados na literatura. Por exemplo, Specos e colaboradores (2011) propuseram dois métodos para a obtenção de acabamento aromático com óleo essencial em tecidos de algodão, sendo estes: a microencapsulação com gelatina e goma arábica e por encapsulação em células de levedura. Já Ghosha e Chipot (2014) investigaram a incorporação de óleos essenciais com efeitos aromaterápicos em substrato têxtil, utilizando complexos com β -ciclodextrinas. Os óleos aromáticos estudados foram pulverizados nas cavidades liofílicas das β -CDs e conforme os autores, os aromas duraram pelo menos seis ciclos de lavagem e a fragrância ainda era sentida após seis semanas de aplicação.

Liu e colaboradores (2008) investigaram um método alternativo para a obtenção de materiais têxteis com infusão de fragrâncias de lavanda mais duradouras. Os autores propuseram o desenvolvimento de um fio perfumado produzido usando fibras de

polipropileno como núcleo e fibras de ácido polilático como bainha. Os resultados mostraram que mesmo após dez ciclos de lavagem e secagem, o têxtil obtido ainda continha fragrância.

2.4 ÓLEOS ESSENCIAIS

Desde a antiguidade, os óleos essenciais (OEs) são amplamente empregados no combate de inúmeras doenças causadas por bactérias, vírus, fungos ou parasitas, assim como no controle de insetos e formulações de cosméticos e perfumes (BAKKALI et al., 2008).

Os óleos essenciais são compostos voláteis, caracterizados por um forte odor (BAKKALI et al., 2008), extraídos de diferentes partes de plantas aromáticas (folhas, sementes, madeiras, cascas, raízes, flores, frutos e rizomas) (AUMEERUDDY- EALFI et al., 2018) por meio de distintos métodos de extração, sendo os mais comuns a hidrodestilação, e destilação a vapor e a destilação a vapor/água (DJILANI e DICKO, 2012).

Um óleo essencial puro, normalmente, é constituído por 2 ou 3 componentes em maiores concentrações, podendo representar até 85% da mistura total (ZHAI et al., 2018), no entanto, um OE pode conter até sessenta componentes em diferentes concentrações. As propriedades biológicas dos óleos essenciais são determinadas pelos componentes principais (BAKKALI et al., 2008), sendo geralmente derivados de terpenos e fenilpropanoides (SOLÓRZANO-SANTOS; MIRANDA NOVALES, 2012).

A composição química dos óleos essenciais varia entre as espécies e até mesmo entre partes de uma mesma planta, pois sofre forte influência do local de cultivo, condições de extração (GOBBO-NETO e LOPES, 2007), forma de secagem, das variações sazonais, armazenamento, entre outros (CARVALHO FILHO et al., 2006; PEDRO et al., 2013).

São conhecidos cerca de 3.000 óleos essenciais, dos quais 10% são empregados em diversos setores industriais, especialmente, na indústria farmacêutica, agrônômica, alimentícia, sanitária, cosmética e perfumaria (BAKKALI et al., 2008). A vasta gama de aplicações é consequência de suas propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias, antifúngicas, antibacterianas, sedativas, analgésicas e aromatizantes (AMALRAJ et al., 2020), além de seus efeitos anticancerígenos, antidiabéticos, cardiovasculares, cosméticos, entre outros (BAKKALI, AVERBECK & IDAOMAR, 2008). Os óleos essenciais também podem ser utilizados no controle das emoções e estabilidade mental (SELLARO et al., 2015), assim

como, na diminuição de estresse e ansiedade (DIEGO et al., 1998). Na Tabela 2, são apresentados alguns óleos com seus respectivos efeitos sedativos e emocionais.

Tabela 2 – Efeitos Sedativos e emocionais de alguns óleos essenciais

Emoção	Óleo
Ansiedade	Limão, camomila, rosa, cravo, benjoim, cardomo e jasmin
Estimulante	Cânfora, óleo de bálsamo
Raiva	Camomila, óleo de bálsamo, rosa
Irritabilidade	Camomila, cânfora, cipreste e lavanda

Fonte: adaptado de Wang e Chen, (2005)

No entanto, apesar do grande potencial de aplicação dos OEs, algumas limitações são encontradas na sua utilização direta em produtos mais complexos (SOUZA, FREITAS e OLIVEIRA, 2016), em virtude da sua elevada volatilidade, instabilidade na presença da luz, oxigênio, calor e umidade (TUREK C., STINTZING, 2013). Assim, a avaliação dos processos de estabilização dessas substâncias é amplamente realizada por diversos segmentos industriais, de modo a prolongar a vida útil do princípio ativo (OSORIO-TOBÓN et al., 2016).

2.4.1 Óleo essencial de gengibre

O óleo essencial de gengibre (OEG) é extraído da raiz do gengibre (*Zingiber officinale Roscoe*) e devido à sua fragrância única e atividade biológica tem amplas perspectivas de usos na indústria farmacêutica, alimentícia e cosmética (MESOMO et al., 2013; WANG et al., 2020). O óleo essencial de gengibre possui uma grande variedade de compostos bioativos, como, gingeróis, zingibereno e shogaols (BUTT e SULTAN 2011) responsáveis pelas atividades antimicrobianas, antifúngicas e antioxidantes, podendo assim ser utilizado para o tratamento de diversas doenças (SINGH et al. 2008; BELLIK 2014). O quadro 1 apresenta as atividades biológicas reportadas de cada componente do gengibre.

Quadro 1– Atividades biológicas de compostos ativos de gengibre reportadas.

Componente	Atividades biológicas reportadas
Gingerol	Atividade antioxidante (Masuda et al., 2004), atividade antimicrobiana (Kim et al., 2011)
Paradol	Atividade antioxidante e anticancerígena (Chung, 2001), atividade antimicrobiana (Galal, 1996)
Zingerone	Atividade oxidante (Aeschbach et al., 1994), atividade anti-inflamatória (Chung, 1999), atividade antibacteriana (Manjunatha et al., 2013)
Zerumbone	Atividade antimicrobiana (Abdul, 2008)

Fonte: Adaptado Rahman, Al shabrmi e Aly (2014)

Sriningsih e Lestari (2017) estudaram os efeitos da aromaterapia do óleo essencial de gengibre, como terapia complementar no tratamento de náusea e vômitos provocados pela quimioterapia em pacientes com câncer de colo. O estudo foi realizado com sessenta pacientes, onde apenas trinta destes inalaram o óleo de gengibre por trinta minutos antes da quimioterapia. Os resultados obtidos demonstraram uma grande diferença na frequência de náuseas e vômitos nos pacientes submetidos a aromaterapia com gengibre. Assim, os autores concluíram que as substâncias presentes no gengibre são eficientes na diminuição de náuseas e vômitos provocados pela quimioterapia.

Farzaneh et al. (2013) estudaram o efeito da aromaterapia do gengibre na redução de náuseas e vômitos em gestantes. Os autores verificaram que a aromaterapia com gengibre reduziu a náusea e vômito, respectivamente, em 52% e 48% em mulheres com até 16 semanas de gestação. A redução de náuseas e vômitos pelo gengibre, é devido a sua capacidade de bloquear o receptor de serotonina e consequente induzir o efeito antiemético nos sistemas gastrointestinal e nervoso central (WIRAHARJAHEIDY, RUSTAM e ISKANDAR, 2011).

O óleo essencial de gengibre também ajuda no alívio de sentimentos de ansiedade, depressão e exaustão, devido às suas propriedades calmantes (DECLÉOR PARIS, 2015).

2.5 SISTEMAS DE LIBERAÇÃO PROLONGADA DE PRINCÍPIO ATIVO

Uma das tarefas mais difíceis no desenvolvimento de um têxtil de aromaterapia, consiste no aumento da vida útil da fragrância (SAMANTA et al., 2016). Assim, segundo Nelson (2002) muitas pesquisas que visam prolongar a durabilidade das substâncias ativas em matérias têxteis têm sido realizadas.

A encapsulação dos óleos essenciais em diferentes sistemas é considerada uma alternativa viável para suprir as limitações desses materiais, pois, esta técnica pode melhorar sua estabilidade e proteção, além de controlar sua liberação, consequentemente prolongando sua vida útil e biodisponibilidade (TOURÉ et al., 2011). A Figura 8, apresenta materiais que podem ser usados para encapsular as moléculas perfumadas.

Figura 8 – Materiais para encapsular as moléculas perfumadas

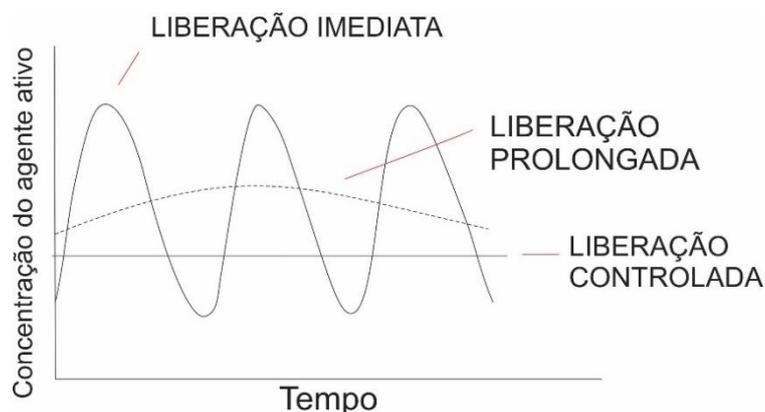


Fonte: Kaur et al., (2018)

Após o processo de encapsulação tem-se a necessidade de liberação do princípio ativo aprisionado (BEZERRA, 2022). Os três tipos de liberação existentes e seus comportamentos em função do tempo são apresentados na Figura 9. Na liberação imediata não tem nenhum controle da disponibilidade do agente ativo. Já na liberação controlada tem-se uma redução na frequência de disponibilização do agente (ANVISA, 2011; FERRAZ,

2011), enquanto, na liberação controlada os agentes ativos são liberados em taxas controladas por longos períodos (LEE e YEO, 2015).

Figura 9 – Representação esquemática de liberação imediata, prolongada e controlada.



Fonte: Adaptado Ferraz (2011)

A liberação de substâncias encapsuladas, no geral, obedece a três principais mecanismos, sendo estes: difusão, liberação por ativação e desagregação/erosão polimérica (BEZERRA, 2018). O mecanismo predominante é consequência da geometria do agente encapsulante, assim como, da geometria do agente encapsulado (MASTROMATTEO et al., 2009). Nem sempre é possível identificar o mecanismo de liberação predominante no sistema, em principal, por sua complexidade, além disso, a liberação da substância ativa pode ocorrer por mais de um mecanismo em simultâneo (FREDENBERG, RESLOW e AXELSSON, 2011).

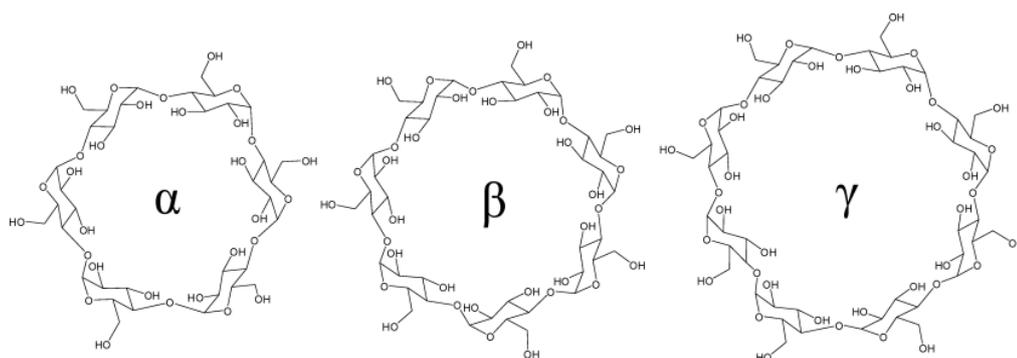
No presente trabalho o óleo essencial de gengibre foi complexado em β -CD, de modo a obter um tecido funcional com liberação prolongada desse agente ativo.

2.6 CICLODEXTRINA

As ciclodextrinas (CDs) ou dextrinas de Schardinger, são oligossacarídeos cíclicos não redutores, formados pela repetição de unidades de D-glucopiranosose unidas entre si por ligações do tipo α -1,4 glicosídicas (ARAÚJO, 2003, HAJI; BAHTIYARI, 2021). As CDs são obtidas através da degradação enzimática do amido ou compostos derivados (BENDER e KOMIYAMA, 1978) e são classificadas de acordo com a quantidade de glucose presentes em

sua estrutura. As CDs naturais mais conhecidas e produzidas industrialmente são alfa (α), beta (β) e gama (γ), as quais possuem em sua molécula, respectivamente, 6, 7, e 8 unidades de D-glucopiranosose (ANDREAUS et al., 2010, VENTURINI et al., 2008), tal como pode ser visto na Figura 10.

Figura 10 – Estruturas químicas da α , β e γ ciclodextrina.



Fonte: Manakker et al. (2009)

Devido à conformação em cadeira das unidades de glicose em conjunto com a falta de rotação livre ao redor das ligações glicosídicas as CDs apresentam um formato cônico truncado (PARMAR; PATEL; ABU-THABIT, 2018), onde os grupos hidroxilas secundários são encontrados na extremidade mais larga, ligados aos átomos de Carbono 2 e 3 das unidades de glicose, enquanto, os grupos hidroxila primários se encontram no lado oposto na extremidade mais estreita, ligado aos átomos de Carbono 6 das unidades de glicose (BEKERS et al., 1991; LOFTSSON et al., 2004). Esse arranjo espacial confere um carácter hidrofóbico para a cavidades das CDs e um carácter hidrofílico para sua superfície (BENDER e KOMIYAMA, 1978), assim as CDs são capazes de solubilizar-se em meio aquoso e ao mesmo tempo formar complexos de inclusão com uma grande variedade de moléculas hidrofóbicas (DEL VALLE, 2003). Na Tabela 3 estão resumidas algumas das propriedades físico-químicas das principais CDs naturais.

Tabela 3–Propriedades fundamentais das α , β e γ -ciclodextrinas

Ciclodextrina	Unidades de glucose	Peso molecular	Diâmetro da cavidade (Å)	Solubilidade em água (g/L)
α	6	972	4.7 – 5.2	129.5

β	7	1135	6.0 –6.4	18.4
γ	8	1297	7.5 –8.3	249.2

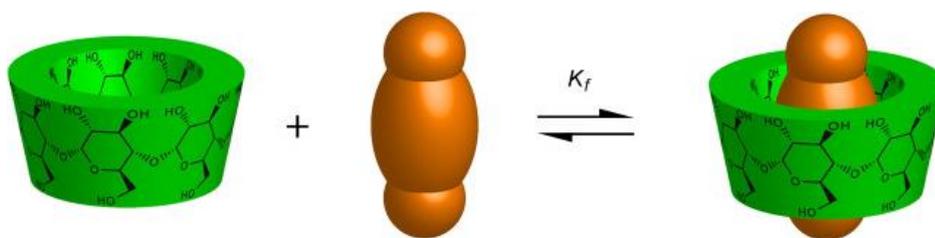
Fonte: Adaptado Uekama (2004)

As propriedades das três principais CDs naturais variam bastante entre si, em principal a solubilidade, sendo as β -CDs as menos solúveis. No entanto, apesar da sua baixa solubilidade, o escopo de aplicação da β -CD é o mais abrangente, devido à sua elevada capacidade de encapsulamento com ampla gama de compostos em consonância com seu elevado rendimento de produção e custo relativamente baixo (OLIVEIRA, 2014).

2.6.1 Complexos de inclusão

A característica mais notável das ciclodextrinas consiste na sua capacidade de formar complexos de inclusão com inúmeros compostos orgânicos e inorgânicos, permitindo a sua liberação de forma controlada (VILLIERS, 1891). A molécula hóspede é mantida dentro da cavidade da molécula hospedeira de ciclodextrina, por um ajuste dimensional entre as moléculas (DEL VALLE, 2003, WADHWA et al., 2017) como representado na Figura 11.

Figura 11– O processo de equilíbrio dinâmico de complexos de inclusão.



Fonte: Kfoury et al., (2016)

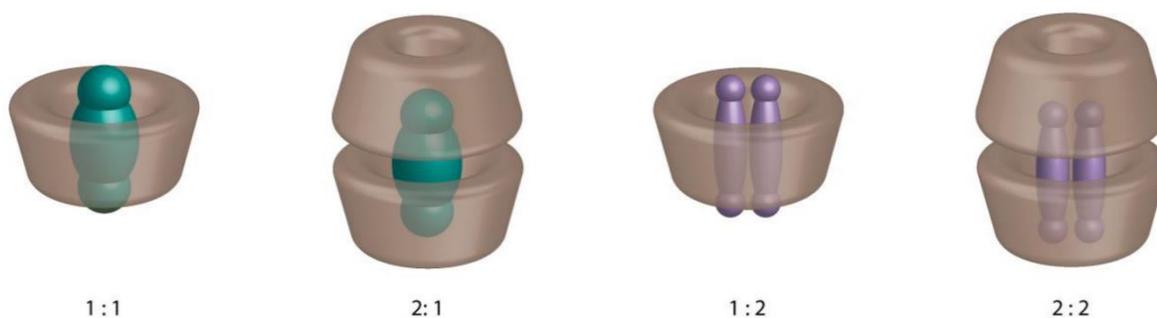
A lista de compostos passíveis de formar complexo com a ciclodextrina é bastante ampla e inclui desde compostos alifáticos de cadeia linear ou ramificada, aldeídos, cetonas, álcoois, ácidos orgânicos, ácidos graxos e compostos polares, como halogênios, oxiácidos e aminas (SCHMID, 1989).

Para a formação dos complexos de inclusão não ocorre a quebra e nem a formação de nenhuma ligação covalente (WANG, et al., 2015). A principal interação responsável por promover a complexação consiste na substituição das moléculas de água, presentes nas

cavidades hidrofóbicas das CDs por moléculas mais adequadas (SZEJTLI, 1998). Inúmeros fatores influenciam na formação dos complexos, como a estrutura, a carga, a polaridade e, especialmente, a compatibilidade geométrica entre a cavidade da CD e a molécula a ser encapsulada (DEL VALLE, 2004). Assim, outras forças estão envolvidas na formação e estabilização dos complexos de inclusão, sendo estas: forças de van der Waals, ligações de hidrogênio, interações eletrostáticas e hidrofóbicas (LAZA-KNOERR, GREF, COUVREUR, 2010, YAO et al., 2014).

Majoritariamente, os complexos formados com ciclodextrina, são do tipo 1:1 (CD: hóspede), no entanto, as CDs também são capazes de encapsular moléculas maiores (HARADA, 1996), de acordo com o tamanho da molécula visitante, está pode interagir com uma, duas ou mais ciclodextrinas, assim como duas moléculas hóspedes podem interagir com uma mesma CD (FOURMENTIN, CRINI e LICHTFOUSE, 2018). A Figura 12, demonstra as principais estequiometrias dos complexos de inclusão.

Figura 12–Representação esquemática das principais estequiometrias dos complexos de inclusão.



Fonte: Kfoury et al., (2018)

Diversos métodos para a formação dos complexos de inclusão já foram investigados, como a mistura física (RIEKES et al., 2010), moagem (MENNINI et al., 2014), liofilização (DEL VALLE, 2004), co-precipitação (COCERO et al., 2009), entre outros.

Muitos benefícios podem ser obtidos através da encapsulação com ciclodextrina, os quais destacam-se a estabilização contra os efeitos da luz, calor e oxidação, a redução da volatilidade, entre outros (ALLAN R. HEDGES, 1998). A possibilidade de alterar e proteger a molécula hóspede através da encapsulação com ciclodextrina tem atraído o interesse tanto da ciência como da indústria.

2.6.2 Aplicações das Ciclodextrinas

Devido às suas características únicas, como alta disponibilidade, fácil síntese, natureza inofensiva e principalmente sua elevada capacidade de formar complexos, as CDs são utilizadas em diversos setores industriais (CRINI, 2005; KURKOV e LOFTSSON, 2013; POULSON, et al., 2022), como pode ser visto na Figura 13. Entre os diversos setores que utilizam as CDs, destacam-se o farmacêutico, alimentício, agricultura e proteção ambiental, cosmético, químico, entre outros (SZEJTLI, 1998; DEL VALLE, 2004).

Quando comparado com os produtos sintéticos atualmente utilizados na indústria, são ainda mais evidentes os inúmeros benefícios da utilização das CDs, os quais vão desde o maior rendimento, inovação tecnológica, produção a partir de fontes renováveis e sua afinidade com o meio ambiente (BEZERRA, 2016).

Figura 13 - Aplicações da Ciclodextrina.



Fonte: Adaptado Poulson et al. (2022)

2.6.3 Aplicações das ciclodextrinas na indústria têxtil

Nos últimos anos houve um aumento no número de estudos voltados à aplicação de CDs na indústria têxtil (OLIVEIRA, 2014). O uso das ciclodextrinas neste setor proporciona inúmeras oportunidades para a inovação e desenvolvimento de produtos amigáveis ao meio ambiente (BHASKARA- AMRIT et al., 2011). São diversas as aplicações das CDs na área têxtil, com destaque para a obtenção de materiais capazes de absorver odores desagradáveis, liberar fragrâncias ou compostos ativos para o cuidado com a pele (VONCINA e VIVOD, 2013).

Conforme Buschamann et al. (1998), as CDs podem ser consideradas uma nova classe de produtos auxiliares para a indústria têxtil. Sua introdução nos processos de lavagem, tingimento e acabamento tem como objetivo melhorar o rendimento destes processos, melhorar a uniformidade da cor, o rendimento colorístico, diminuindo a quantidade de corante nas águas residuais, além de conferir novas funções aos têxteis por meio de modificações superficiais (OLIVEIRA, 2012). Entre os acabamentos funcionais que podem ser obtidos através da ciclodextrina, encontra-se o antimicrobiano, acabamento sem odor, entre outros (AMMAYAPPAN e MOSES, 2009). No Quadro 2, são apresentados alguns estudos relacionados à aplicação das ciclodextrinas na indústria têxtil.

Quadro 2 - Estudos sobre a aplicação das CDs na indústria têxtil

Autores	Título do trabalho	Informações do estudo
Aysun Cireli e Birkan Yurdakul (2006)	Application of cyclodextrin to the textile dyeing and washing processes	Os autores estudaram o efeito retardante/nivelamento da β -ciclodextrina no tingimento e enxague de celulose com corante direto.
Harbs (2019)	Uso de metil- β -ciclodextrina no tingimento têxtil	A metil- β -ciclodextrina foi utilizada como agente auxiliar no tingimento do algodão com corante ácido fluorescente.
Scacchetti, Pinto e Soares (2017)	Functionalization and characterization of cotton with phase change materials and thyme oil encapsulated in beta-cyclodextrins	Os autores estudaram a produção de tecidos de algodão com propriedades antibacterianas e antifúngicas por meio da aplicação de microcápsulas de materiais de mudança de fase (mPCM), monoclorotriazinil- β -ciclodextrina (MCT- β -CD) e óleo de tomilho.
Abolfazl Zare (2022)	β -cyclodextrin as dispersing agent in the dyeing of polyester-viscose fabrics.	O objetivo deste estudo foi investigar o efeito da β -ciclodextrina como auxiliar e substituto de um agente dispersante comumente comercial no tingimento reativo de tecidos de poliéster-viscose e suas propriedades.

Fonte: Autor (2022)

2.6.4 Fixação dos complexos nos substratos têxteis

As ciclodextrinas em seu estado natural não conseguem fixar-se de forma permanente aos substratos têxteis. Desta forma, a fixação dos complexos em matrizes têxteis pode ser por meio de duas abordagens, sendo elas: a modificação química das CDs, tornando-as reativas ou, com a utilização de reagentes bifuncionais que as ligam covalentemente na superfície das fibras (COTRIM, 2015 VONCINA e VIVOD, 2012). A Tabela 4, mostra os vários tipos de interações possíveis entre β -CD e algumas fibras têxteis.

Tabela 4 – Interações possíveis entre β -CD e algumas fibras têxteis (+) possível (-) não é possível

Parâmetro	Algodão	Lã	Poliéster	Poliamida	Acrílico	Polipropileno
Interações Iônicas	-	+	-	+	+	-
Ligações covalentes	+	+	-	+	-	-
Forças de Van der Waals	-	-	+	+	+	-
Agentes de reticulação	+	+	+	-	-	-
Polimerização de enxerto	+	+	+	+	+	+

Fonte: Bhaskara-Amrit; Agrawal; Warmoeskerken, (2011).

Entre os mecanismos para a fixação da β -CD aos substratos têxteis, o uso de agente reticulante é um dos métodos mais empregados (VONCINA e LE. MARECHAL, 2005). Agentes de ligação cruzada como epicloridrina, cloreto cianúrico e uma grande variedade de ácidos policarboxílicos são utilizados no processo de fixação das CDs (DONG et al., 2014).

Dehabadi, Buschmann e Gutmann (2014) investigaram o uso de ácidos poliaminocarboxílicos (PACAs) como agentes de reticulação para a fixação de β -CD em tecidos de algodão. Os autores realizaram um pré-tratamento do tecido com ácidos poliaminocarboxílicos e só depois enxertaram a β -CD. Os resultados obtidos evidenciam que o uso poliaminocarboxílicos é uma maneira simples e eficiente de fixar as CDs em tecidos de algodão e que a quantidade de β -CD fixadas no tecido depende diretamente do número de grupos carboxílicos no tecido tratado.

Nos últimos anos, o ácido cítrico também tem recebido notoriedade como agente reticulante (GHORPADE, YADAV e DIAS, 2016) principalmente por seu baixo custo, em conjunto com sua baixa toxicidade e afinidade com o meio ambiente (BHASKARA-AMRIT; AGRAWAL; WARMOESKERKEN, 2011).

Selvam e colaboradores (2012) estudaram a modificação química de β -CD por meio da inserção de grupos de ácido sulfônico. Os complexos β -CD-ácido sulfônico foram utilizados na reticulação de um tecido de algodão com nanopartículas de ZnO, TiO₂ e Ag. Segundo os autores, a modificação com β -CD-ácido sulfônico proporcionou a obtenção de uma superfície mais uniforme no tecido, possibilitando uma maior quantidade de nanopartículas fixadas ao material (COTRIM, 2015).

No presente trabalho, a fixação das β -CDs no tecido 100% algodão foi realizada com a utilização de dois agentes reticulantes, o BTCA e o ácido cítrico, bem como por meio da modificação química da β -CD com o Cloreto de 3-cloro-2-hidroxiopropiltrimetilamônio (CHPTAC).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS

A seguir, serão apresentados os materiais utilizados na realização dos experimentos.

3.1.1 Substrato têxtil

O substrato têxtil utilizado no estudo foi uma meia malha 100% algodão com gramatura de 154 g/m². O tecido já alvejado e isento de óptico foi fornecido pela empresa Werken Química.

3.1.2 Reagentes

Os produtos utilizados para a realização dos experimentos e suas respectivas funções são apresentados no Quadro 3.

Quadro 3 –Produtos utilizados e suas respectivas funções

	Função
β -Ciclodextrina	Agente encapsulante
Óleo essencial de gengibre	Fragrância
ácido 1,2,3,4-butano tetracarboxílico	Agente reticulante
ácido cítrico mono hidratado P. A	Agente reticulante
Hidrofosfito de sódio	Catalisador
Fenolftaleína	Quantificação de β -Ciclodextrina
cloreto de 3-cloro-2 hidroxipropiltrimetilamônio	Agente Catiônico, 65% solução
Álcool etílico	Preparação da solução de fenolftaleína
Soda cáustica	Conversão do CHPTAC em EPTAC
Ácido fórmico	Neutralização da solução de β - Ciclodextrina cationizada

WK Ecodyeing IR 4	Agente de nivelamento
Buffer CS 85	Agente alcalinizante
Tween 20	Tensoativo

Fonte: Autor (2022)

3.2 MÉTODOS

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Beneficiamento (LABENE) e Laboratório de Meio Ambiente (LABMAM), ambos do Departamento de Engenharia Têxtil da UFSC, Campus Blumenau.

3.2.1 Curva de calibração do óleo essencial de gengibre

Para a obtenção da curva de calibração do óleo essencial de gengibre, inicialmente realizou-se uma varredura para encontrar o comprimento de onda de máxima absorbância para o OEG. A solução mãe foi preparada adicionando 1g de OE em 50 mL de uma solução álcool: água (1:1) e então, realizou-se a leitura da absorbância variando os comprimentos de onda de 200 a 400 nm, em cubeta de quartzo.

Após a obtenção do comprimento de onda característico na varredura do óleo de gengibre, preparou-se outras cinco soluções a partir da solução mãe com as seguintes concentrações 20, 40, 60, 80 e 100 µg/mL, as quais foram analisadas no espectrofotômetro no comprimento de onda de 250 nm.

3.2.2 Cationização da β -CD

Para a cationização da β -ciclodextrina adaptou-se uma metodologia de cationização da fibra de algodão, visto que não se encontrou nenhum estudo relacionado a modificação superficial da β -ciclodextrina com o CHPTAC na literatura. A metodologia de cationização do algodão adaptada para a cationização da ciclodextrina foi a de Correia et al., (2021).

Inicialmente, preparou-se uma solução contendo 2 g/L de tensoativo (Tween 20), 40 g/L de CHPTAC e 5,25 g/L de NaOH 50%. A solução foi aquecida até 75 °C e só então 3g de β -CD foi adicionada. Manteve-se nesta temperatura por 25 minutos. Por fim, para remover os

odores indesejados do processo de cationização neutralizou-se a solução com uma solução de 0,5 g/L de ácido fórmico 85% (pH 7). O volume de banho foi de 50 mL.

3.2.3 Preparação das soluções de β -CDs para a fixação com os agentes reticulantes ácido 1,2,3,4 butano tetra carboxílico e com o ácido cítrico

As soluções de β -CDs para a fixação com os agentes reticulantes BTCA e ácido cítrico foram obtidas com a dissolução de 3 g de β -CD em 50 mL de uma solução etanol/água 1:3 (v/v) à 60°C sob agitação por 5 minutos.

3.2.4 Fixação das β -CDs nos tecidos

Para verificar a eficiência dos três métodos de fixação propostos no presente trabalho, inicialmente enxertou-se apenas as β -CDs no substrato têxtil, ou seja, sem a formação de complexos com OEG. A β -ciclodextrina cationizada foi incorporada ao tecido por meio do processo de esgotamento, para isso adicionou-se 2 g/L de WK Ecodyeing IR 4 e 40 g/L de soda cáustica na solução obtida no item 3.2.2. Após 20 minutos a 60 °C, adicionou-se 4,7 g/L de Buffer CS 85 alcalinizante, e então manteve-se a solução nesta temperatura por mais 40 minutos. O tecido foi seco à temperatura ambiente e por fim foi curado a 150 °C na estufa.

Já a fixação das β -CDs no tecido com o BTCA e com o ácido cítrico foi realizada pelo método de foulardagem, seguindo a metodologia de Bezerra (2016) com algumas modificações. Para isso, adicionou-se em uma das soluções obtidas no item (3.2.3) 6 g/L de catalisador (SHP) e 6 g/L de BTCA, na outra solução, adicionou-se também 6 g/L de catalisador e 6 g/L de ácido cítrico. As amostras de tecido foram imersas nas soluções por 1 minuto a 25 °C. Em seguida, passou-se os tecidos no foulard com pressão de 2 bar e 1,48 m/min para a obtenção de um *pick up* aproximado de 90%. Por fim, as amostras foram secas a 80°C durante 3 minutos e reticuladas a 150 °C por 5 minutos.

3.2.5 Ganho de massa

Para avaliar a adesão das CDs no tecido de algodão, pesou-se as amostras de tecido em uma balança analítica antes da realização da impregnação, de modo a identificar sua massa inicial. Após o processo de impregnação, secagem e cura em estufa, as amostras foram pesadas novamente. Os cálculos de ganho de massa foram realizados através da seguinte equação:

$$\text{Ganho de massa(\%)} = \frac{\text{Massa final} - \text{Massa inicial}}{\text{Massa inicial}} \times 100 \quad (1)$$

3.2.6 Quantificação de β -ciclodextrina enxertada

A quantificação de β -ciclodextrina ancorada ao substrato têxtil foi determinada através do ensaio colorimétrico de fenolftaleína, que se baseia na capacidade de formação de complexos de inclusão 1:1 β -ciclodextrina/fenolftaleína. Enquanto a fenolftaleína na forma livre apresenta uma cor rosa intensa, a forma complexada (1:1) é incolor (SZEJTLI, 2003; NUNES 2022). Para tanto utilizou-se as CDs sem o óleo com os agentes reticulantes.

Inicialmente, preparou-se uma solução de 4 mM de fenolftaleína em álcool etílico e uma solução 125 mM de carbonato de sódio em água destilada. A solução padrão foi obtida adicionando-se 1 mL da solução de fenolftaleína e 4 mL de etanol em 100 mL da solução de carbonato de sódio. Para a construção da curva de calibração da solução de fenolftaleína, mediu-se a absorvância da solução com diferentes concentrações de β -ciclodextrina (1,2,3 e 4 g/L) no comprimento de onda de 553 nm.

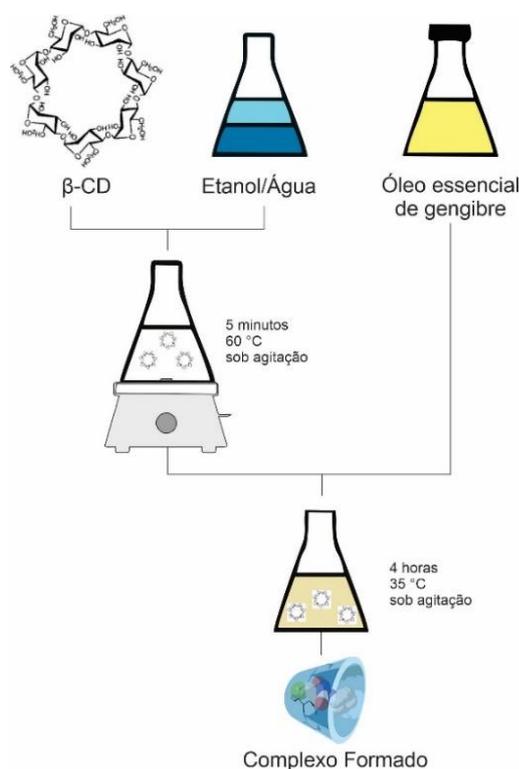
Em seguida, os tecidos previamente tratados com β -CD foram imersos em alíquotas de 10 mL da solução padrão de fenolftaleína por 30 minutos sob agitação magnética. Após o período de imersão, realizou-se a leitura da absorvância para determinação da concentração de β -CD impregnada no tecido de algodão.

3.2.7 Formação dos complexos de inclusão β -CD: OEG

Os complexos de inclusão foram obtidos seguindo a metodologia de Bezerra et al (2016) com algumas modificações. Inicialmente, 3 g de β -CD foram dissolvidas em 50 mL de

uma solução etanol/água 1:3 (v/v) por 5 minutos, à 60 °C sob agitação. Em seguida, adicionou-se o óleo essencial de gengibre, em uma relação 1:1 (v:m) óleo e ciclodextrina. A mistura foi agitada por 4 horas a 35 °C. A Figura 14, mostra o esquema experimental da preparação dos complexos de inclusão.

Figura 14 - Diagrama de obtenção de complexo de inclusão de óleo essencial de gengibre e ciclodextrina.



Fonte: Adaptado Bezerra (2016)

Devido aos resultados obtidos durante a realização dos ensaios descritos nos itens (3.2.5 e 3.2.6) optou-se por não prosseguir os experimentos com a β-ciclodextrina cationizada.

3.2.8 Fixação dos complexos no substrato têxtil

A aplicação dos complexos de inclusão no tecido foi realizada pelo método de foulardagem, seguindo a metodologia de Bezerra (2016) com algumas modificações. O tecido foi impregnado por 1 minuto na solução de complexos (item 3.2.7) com a adição de 6 g/L de

catalisador (SHP) e 6 g/L dos agentes reticulantes a 25 °C. Em seguida, passou-se os tecidos no foulard, com pressão de 2 bar e velocidade de 1,48 m/min para a obtenção de um *pick up* em torno de 90%. Por fim, as amostras foram secas a 80°C durante 3 minutos e reticuladas a 150 °C por 5 minutos.

3.2.9 Liberação in vitro do óleo essencial de gengibre

Para determinar o perfil de liberação do óleo essencial de gengibre em solução aquosa, cortou-se amostras de 3 cm² dos tecidos impregnados que foram adicionadas a um banho termostaticado a 37 °C ± 0,5 °C. Em intervalos de tempo pré-determinados, uma alíquota de 2 mL era coletada e analisada por espectroscopia na região UV-Vis, no comprimento de onda de 250 nm.

3.2.10 Estimativa da eficácia bactericida

A eficácia bactericida dos tecidos funcionalizados com os complexos de inclusão β -CD:OEG e do tecido enxertado com a β -ciclodextrina cationizada foi realizada de forma qualitativa, por meio de uma versão simplificada do método Petrifilm Aerobic Count (AC), seguindo a metodologia utilizada por Correia et al., (2021). Água subterrânea foi utilizada como fonte de bactéria, diferindo do método original, onde se utiliza uma solução bacteriana. Com uma pipeta posicionadora, colocou-se 1 mL de água subterrânea no centro do filme inferior, esperou-se um minuto antes de colocar o tecido, de modo a garantir o espalhamento da água sobre toda a superfície das lâminas da placa Petrifilm. Após colocar o tecido, cuidadosamente, abaixou-se a lâmina superior. Em seguida, encubou-se as placas de Petrifilm por 48 horas a 35 °C. Realizou-se apenas uma estimativa qualitativa da eficácia bactericida das amostras de tecido, em virtude do desconhecimento da concentração de bactérias presentes na água subterrânea.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos no processo de enxerto dos complexos de inclusão de β -ciclodextrina e óleo essencial de gengibre no tecido de algodão, através da cationização da ciclodextrina e com a utilização do ácido 1,2,3,4-butano tetracarboxílico e do ácido cítrico como agentes de reticulação.

4.1 GANHO DE MASSA

Após o enxerto das CDs no tecido, avaliou-se o ganho de massa. Para isso, pesou-se as amostras antes e após o processo de impregnação. Através da diferença de massa, determinou-se o percentual de complexos presentes nos substratos, conforme equação apresentada no item (3.2.5). Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Ganho de massa após a aplicação de β -CD em tecidos 100% algodão

Amostra	Ganho de massa (%)
Ácido cítrico	8,57
BTCA	9,46
B-CD Cationizada	6,21

Fonte: Autor (2022)

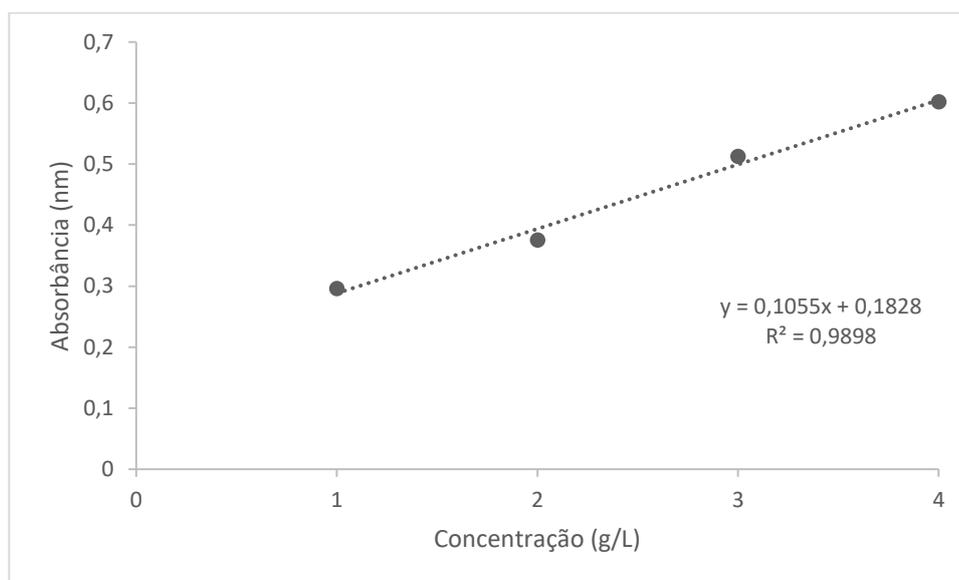
Os percentuais de ganho de massa obtidos indicam que todos os tratamentos resultaram em uma incorporação de material sólido à superfície do tecido. As amostras tratadas com o ácido 1,2,3,4-butano tetracarboxílico tiveram o maior percentual de ganho de massa, o que já era esperado, dado que diversos estudos encontrados na literatura comprovam a eficiência desse poliácido carboxílico na reticulação de ciclodextrinas em algodão. O ácido cítrico também permitiu um ganho de massa significativo. No entanto, as amostras impregnadas com a β -CD cationizada obtiveram o menor ganho de massa entre os 3 métodos analisados, indicando uma menor eficiência deste tratamento na incorporação de β -CDs na superfície do tecido.

Conforme Nunes (2022) o aumento da massa do tecido de algodão funcionalizado com ciclodextrina não está relacionado apenas ao enxerto da ciclodextrina, mas também a reticulação dos grupos da celulose, o que pode explicar os diferentes percentuais obtidos.

4.2 QUANTIFICAÇÃO DA CICLODEXTRINA ENXERTADA NO TECIDO

Para avaliar a influência do agente reticulante na quantidade de β -CD enxertada na fibra de algodão, assim como, analisar a fixação da β -CD cationizada, inicialmente, construiu-se uma curva de calibração a partir de soluções com concentrações conhecidas deste composto. A curva de calibração obtida para a β -CD está apresentada na Figura 15. O coeficiente de determinação (R^2) de 0,9898 indica o bom ajuste do modelo linear aos dados de absorvância obtidos.

Figura 15 - Curva de calibração para β -ciclodextrina.



Fonte: Autor (2022)

A partir da relação determinada para o método espectrofotométrico com fenolftaleína em solução, determinou-se a quantidade de β -CDs ancoradas aos substratos têxteis, disponíveis para complexação com o óleo essencial de gengibre. A quantificação foi realizada nas amostras após a foudardagem (Figura 16) e nas amostras após lavagem simples com água destilada em temperatura ambiente. Em todas as amostras foi subtraído o valor de absorvância da amostra controle, ou seja, a interferência da absorção da fenolftaleína apenas pelo algodão.

Figura 16 -Quantificação da ciclodextrina após a impregnação no foulard.



Fonte: Autor (2022)

Através da Figura 16, é possível fazer uma análise qualitativa em relação à concentração de β -CDs no algodão. As amostras fixadas com BTCA e ácido cítrico apresentam coloração rosa mais claro, indicando uma maior quantidade de CDs. A amostra controle, denominada na figura como pura tem a coloração mais escura, o que é já esperado dado que a diminuição na absorbância da fenolftaleína nesta solução é oriunda apenas da adsorção das moléculas da fenolftaleína na estrutura do tecido. A coloração da amostra cationizada ficou muito próxima da coloração da amostra controle, evidenciando uma baixa enxertia de β -CDs. A análise quantitativa do enxerto de β -CDs no algodão é apresentada na Tabela 6.

Tabela 6 - Quantificação da β -ciclodextrina impregnada após o processo de foulard e após lavagem com água destilada

Amostra	mg β -CDs \cdot g ⁻¹ CO	mg β -CDs \cdot g ⁻¹ CO - Lavada
Ácido Cítrico	4,88	2,73
BTCA	5,06	3,64
Cationizada	2,45	0,37

Fonte: Autor (2022)

O BTCA proporcionou um melhor rendimento no processo de enxertia de β -CD no algodão. Conforme Pimenta (2014) esse fato pode ser atribuído ao maior grau de funcionalização do BTCA, que possui 4 grupos carboxila em sua estrutura, os quais podem

reagir com os grupos hidroxila da celulose (VONCINA e MARECHAL, 2005). O ácido 1,2,3,4 butano tetracarboxílico na presença de um catalisador, neste caso o SHP, forma um anídrico cíclico de cinco membros, que reage com grupos hidroxila da celulose e β -CD, formando uma ligação éster estável (GU e YANG, 2000).

Já o ácido cítrico forma um intermediário anídrico cíclico de seis membros que é menos reativo que o anídrico cíclico de cinco membros formado pelo BTCA (WELSHI et al. 2016), o que pode explicar a maior enxertia das amostras com BTCA quando comparada com o ácido cítrico. Outra possível justificativa para o menor rendimento no enxerto com o ácido cítrico, pode estar relacionado à formação preferencial de compostos celulose- ácido cítrico ou ciclodextrina-ácido cítrico-ciclodextrina induzida pelas condições de reação (ZORNIO, 2013).

Rukmani e Sundrarajan (2011) avaliaram o uso do ácido cítrico como agente reticulante no processo de enxertia de complexos de inclusão de β -CD e timol em algodão orgânico. Os autores analisaram a influência da concentração de CA, e os resultados obtidos demonstram que uma maior concentração, aumenta o rendimento da enxertia até 0,2%, depois diminui lentamente. Conforme Yang et al (2003) o impedimento estérico do ácido policarboxílico reduz a acessibilidade dos grupos hidroxila da celulose e reduz a quantidade de produto reticulado.

Após o processo de lavagem com água destilada em temperatura ambiente, verificou-se uma redução significativa na quantidade de CDs em todas as amostras. Conforme Nunes (2022) este fato demonstra que uma grande parte da β -CD utilizada depositou-se apenas na superfície do tecido, sendo assim facilmente removida no processo de lavagem, mas também ocorreu o enxerto, dado a retenção da CD após esse processo.

Oliveira (2014) avaliou a quantidade de ciclodextrina enxertada na fibra de algodão, através do método colorimétrico de fenolftaleína e verificou uma redução significativa de β -CDs durante a lavagem simples. Antes do processo de lavagem a massa enxertada era de $6,5 \pm 0,1$ mg/g algodão e após a lavagem, a quantidade de β -CD ancorada ao tecido foi de $1,936 \pm 0,002$ mg/g algodão. Conforme a autora, apesar das β -CD terem sido esgotadas no tecido, através da utilização de agente reticulante uma parte dos complexos sempre é apenas adsorvida e não forma ligação covalente com o algodão, saindo facilmente na lavagem processual.

Analisando os resultados obtidos nas amostras enxertadas com a ciclodextrina cationizada, verifica-se que o processo teve uma baixa eficiência, em virtude da baixa quantidade de material ligado ao substrato têxtil. Uma possível justificativa para este resultado pode estar relacionada à dificuldade das CDs reativas de penetrar nas regiões amorfas da celulose devido ao tamanho molecular.

Nazi et al., (2012) investigaram a modificação da β -CD também com um ácido policarboxílico (ácido itacônico). Os autores também obtiveram um baixo rendimento de enxertia de CD modificada no algodão, o que segundo os autores pode estar relacionada ao tamanho da molécula formada, por ser muito grande, se torna difícil sua penetração na fibra. Outra possível justificativa para a baixa enxertia da CD cationizada consiste na tendência das CDs de se auto montar espontaneamente para formar micropartículas visíveis em meios aquosos. Os motivos pelos quais ocorrem a formação destes agregados ainda não foram elucidados, apenas se sabe que estes afetam os resultados analíticos (RYZHAKOV, 2016). Assim, devido à baixa fixação da β -CD cationizada ao tecido, optou-se por não prosseguir os experimentos com essa metodologia, pois, os resultados evidenciam a necessidade da realização de estudos mais aprofundados em relação ao processo de modificação da β -CD com o CHPTAC.

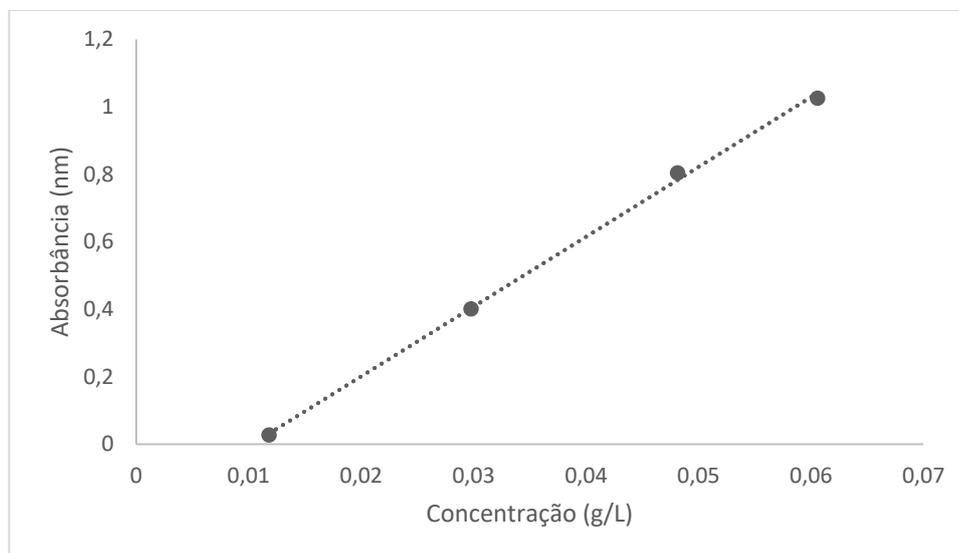
4.3 CURVA DE CALIBRAÇÃO DO ÓLEO ESSENCIAL

O comprimento máximo de absorvância encontrado para o óleo essencial de gengibre foi de 250nm. O valor encontrado está de acordo com o da literatura, que varia entre 232 nm (ZHANG et al., 2018) e 270 nm (SAHARUDDIN et al., 2020).

A Figura 17, apresenta a curva de calibração para o óleo essencial de gengibre e sua respectiva regressão linear. O valor do coeficiente de determinação (R^2) encontrado foi 0,9988, indicando que o método apresentou linearidade na faixa de concentração estudada. A equação da reta obtida, é apresentada a seguir:

$$y = 20,692x - 0,213 \quad (2)$$

Figura 17 - Curva padrão de calibração de análise do óleo essencial de gengibre por absorção espectrofotométrica a 250 nm



Fonte: Autor (2022)

4.4 EFICIÊNCIA DA FORMAÇÃO DE COMPLEXOS

A partir da curva de calibração do óleo essencial de gengibre, calculou-se a concentração de óleo presente no sobrenadante da solução de complexos e, com o valor da concentração, determinou-se a eficiência de complexação (%EC). Os valores encontrados são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Eficiência de formação de complexos para o BTCA e o ácido cítrico

Agente reticulantes	Eficiência
Ácido Cítrico	90%
BTCA	88%

Fonte: Autor (2022)

O rendimento da complexação encontrado para ambos os agentes reticulantes foi bastante elevado, indicando boa afinidade entre a β -ciclodextrina e o óleo essencial de gengibre. Bezerra (2016) complexou o óleo de citronela com a β -CD e obteve um valor médio de rendimento de 63,79%.

Conforme Kfoury et al., (2016) uma infinidade de equilíbrios ocorre ao combinar CDs e óleos essenciais, dado que cada um dos componentes presentes nos OEs possui estequiometria particular. Além disso, o método usado para formar os complexos é determinante no percentual de encapsulamento (ABARCA et al., 2016). Kanimura, Santos, Hill e Gomes (2014) analisaram a eficiência da formação de complexos entre β -hidroxipropilciclodextrina e óleo de carvacrol, por dois métodos distintos: malaxagem e liofilização. A complexação por liofilização permitiu rendimento de 83,7%, enquanto, por amassamento o rendimento foi de 78,1% (ABARCA et al., 2016).

Zhang et al., (2018) também complexaram óleo essencial de gengibre com β -ciclodextrina e obtiveram uma eficiência de 72,02%. Os autores avaliaram o efeito de diferentes condições para preparar os complexos. As variáveis investigadas foram: (A) relação núcleo-parede; (B) Concentração do material da parede; (C) Temperatura e (D) Tempo reativo. Os resultados obtidos demonstraram que a eficiência de complexação é influenciada diretamente por essas variáveis. Com o aumento da relação núcleo-parede, da concentração, assim como, da temperatura e tempo de processo, observou-se inicialmente um aumento no EE% até que se atingiu um máximo e começou a diminuir.

A forma e a velocidade de agitação interferem no processo de inclusão do óleo essencial na cavidade da CD. Uma agitação vigorosa, como ocorre em ultraturrax, promove a inclusão, entretanto, a turbulência promovida no sistema pode remover o material, já que o complexo permanece na cavidade por forças de van derWaals. No mesmo sentido uma baixa velocidade de agitação promoverá um encontro da CD com o óleo no sistema e a inclusão se dá por afinidade e com os baixos níveis de turbulência nos favorece a remoção. Isso pode explicar as diferenças entre os métodos de inclusão entre os diferentes autores e os dados de rendimento obtidos neste trabalho.

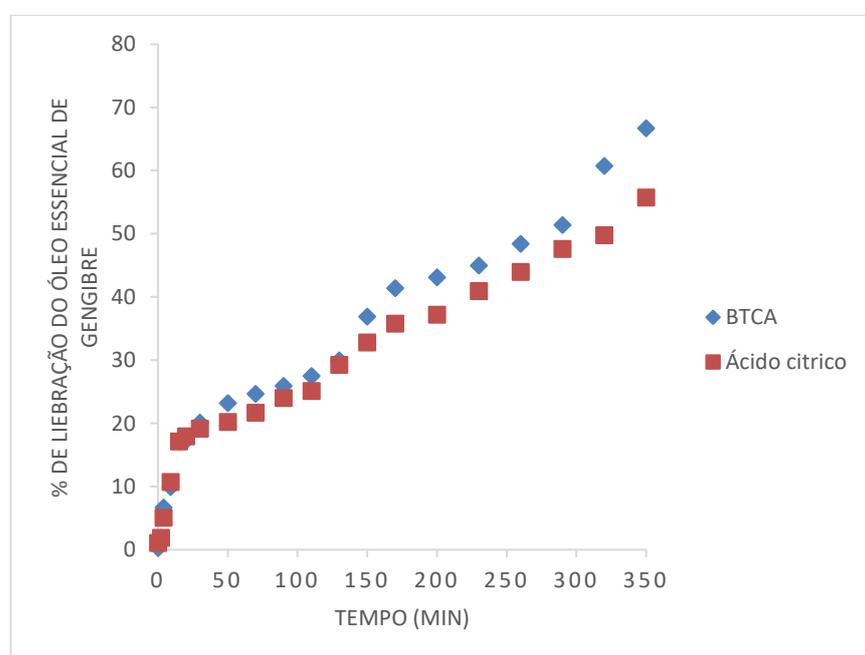
Ressalta-se ainda que os dados aqui apresentados não possuem replicação, entretanto, tem-se uma proximidade entre os valores de rendimento obtidos para os dois agentes reticulantes.

Desta forma, fica evidente a importância da escolha adequada do método de formação dos CI, assim como, da determinação adequada das condições de processo, dado que isso é crucial no rendimento de complexação.

4.5 LIBERAÇÃO IN VITRO DO ÓLEO ESSENCIAL DE GENGIBRE

A utilização de substratos têxteis como suporte para liberação controlada de agentes ativos exige algumas propriedades específicas, em principal, alta área de contato com a pele, biocompatibilidade, além de liberação estimulada, entre outras (LIS et al., 2018). O perfil de liberação do OE de gengibre para ambos os agentes reticulantes em contato com água é mostrado na Figura 18. O intervalo de tempo estudado foi de 350 minutos.

Figura 18- Liberação do OE de gengibre complexado em β -CD e reticulado em tecido de algodão com o uso do ácido cítrico e o BTCA.



Fonte: Autor (2022)

Observando-se a curva de liberação do OEG observa-se quatro fases distintas. A primeira fase também conhecida como fase de explosão (*Burst release*) ocorre nos primeiros trinta minutos com uma velocidade de liberação elevada e característica de um comportamento difásico. A rápida liberação é atribuída ao fato de o óleo essencial de gengibre estar na superfície das CDs ou com uma incorporação incompleta na cavidade da CD. Ao final desta fase cerca de 20% do total do óleo já tinha sido liberado em ambos os sistemas.

Uma segunda fase é observada com alteração da inclinação da curva. Nessa fase podem estar ocorrendo interações das fibras de algodão com o meio aquoso provocando um

inchamento das fibras e parte do óleo encapsulado pode estar interagindo com a fibra, fato este proporcionado pelo processo de difusão das moléculas de água para o interior ou interstícios das fibras (BEZZERRA et al., 2016).

Na fase três, com as fibras já hidratadas, há um aumento das interações hidrofóbicas do óleo com a fibra e há uma retomada da liberação do óleo. E na fase quatro uma redução da velocidade da liberação do óleo, que já pode estar relacionada à quantidade de OE presente no complexo β -CD-OE. Nessa fase observou-se um certo desvio de comportamento entre os sistemas de reticulação propostos, a amostra reticulada com o BTCA apresentou um aumento na velocidade de liberação do óleo essencial após 300 minutos.

Através da formação de complexos de inclusão com a β -Ciclodextrina é possível modificar a difusão do agente ativo, dado que ao complexar o OEG na cavidade da CD tem-se um retardo na oferta do óleo ao usuário, o que é favorável tanto em relação ao tempo como também para que o odor fique agradável.

Diversos autores observaram as cinéticas de liberação de substâncias encapsuladas e colocadas na superfície dos tecidos com comportamento anômalo (descontinuado) (BEZERRA et al., 2019, MENDES et al., 2021).

Conforme Babaoglu et al (2017) o mecanismo de liberação de compostos encapsulados com ciclodextrina é resultado da combinação de inúmeros fatores, em principal, a morfologia da fibra, a concentração e distribuição das moléculas encapsuladas, assim como, da hidrofobicidade ou hidrofiliidade do material matriz.

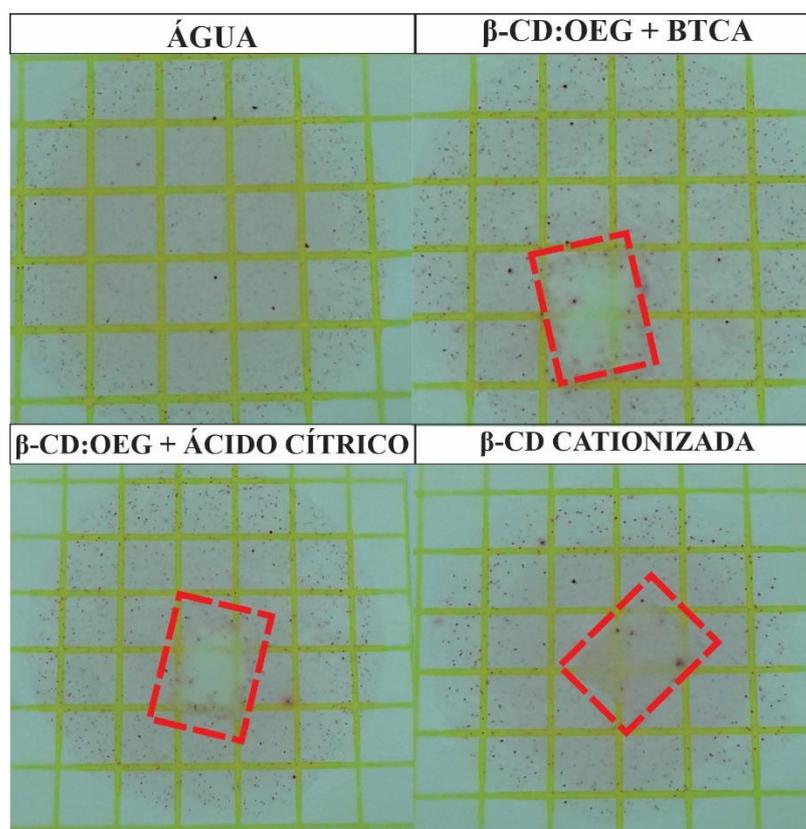
4.6 EFICÁCIA ANTIBACTERIANA DOS TECIDOS FUNCIONALIZADOS

Os materiais têxteis estão constantemente em contato com microrganismos, sejam eles advindos do meio ambiente ou da própria pele do usuário. Esses microrganismos, além de serem potenciais fontes de doenças infecciosas, podem provocar danos aos próprios substratos têxteis como descoloração, manchas e odores desagradáveis (JASWAL et al., 2017). Assim, o acabamento de tecidos com agentes antimicrobianos é de grande relevância, tanto para a proteção do usuário como para a conservação do têxtil. A intenção da análise antimicrobiana da funcionalização de β -CD cationizada (sem OEG) foi verificar a

possibilidade da cationização manter um potencial zeta positivo na superfície das fibras de algodão e, com isso, promover uma redução do crescimento microbiano.

Desta forma, realizou-se uma estimativa da ação bactericida dos tecidos funcionalizados com o óleo essencial de gengibre e do tecido enxertado com β -ciclodextrina cationizada, conforme apresentado na Figura 19.

Figura 19 - Estimativa do efeito bactericida utilizando uma metodologia simplificada da Petrifilm AC



Fonte: Autor (2022)

Todos os tecidos apresentaram ação bactericida, dado o aparecimento de uma zona de inibição após a incubação em todas as amostras. A ação bactericida do óleo essencial de gengibre é associada aos seus compostos fenólicos e derivados, como aldeídos, cetonas, álcoois e ésteres (BAUZA et al., 2016). Outros autores já estudaram a atividade antimicrobiana do OEG como, por exemplo, Jaswal et al., (2017) que desenvolveram um tecido de algodão antimicrobiano ecologicamente correto, para isso uma das substâncias antimicrobianas utilizadas foi o óleo essencial de gengibre. Os autores variaram a

concentração do agente antimicrobiano em 40 e 80 g/L, de modo a avaliar a eficiência deste. A atividade antibacteriana do acabamento foi avaliada quantitativamente usando o método de teste AATCC-100. O tecido obtido apresentou excelentes propriedades antimicrobianas, e, com o aumento da concentração de óleo, verificou-se também um aumento na eficácia contra o crescimento bacteriano.

Lópes e colaboradores (2017) também estudaram a atividade antimicrobiana do óleo essencial de gengibre por meio do método disco-difusão e os resultados obtidos demonstram elevado potencial do OEG no tratamento de doenças causadas por diversos microrganismos, dado que os autores observaram efeito antimicrobiano do óleo de gengibre em 15 cepas bacterianas, sendo seis cepas Gram-positivas e nove gram-negativas.

Já a ação bactericida apresentada pela amostra enxertada apenas com a β -ciclodextrina cationizada é devido ao efeito antimicrobiano do grupamento amônio quartenário (DAVIES e FIELD, 1969), presente no CHPTAC.

5 CONCLUSÃO

Com os resultados obtidos no presente trabalho, conclui-se que a quantidade de β -CD ancorada ao substrato têxtil tem relação direta com a forma de reticulação empregada. Os ácidos poli carboxílicos BTCA e ácido cítrico mostraram-se potencialmente eficientes na fixação das CDs em tecidos de algodão. O BTCA forma um intermediário cíclico de cinco membros que é mais reativo que o intermediário anidrido de seis membros formado pelo ácido cítrico, o que pode justificar os melhores resultados obtidos com o uso do BTCA. A cationização da β -CD com o CHPTAC mostrou-se ineficiente, dado a baixa enxertia observada, evidenciando a necessidade de estudos mais aprofundados para determinar melhores condições de processo e compreender os motivos que levaram à obtenção deste resultado. Duas possíveis justificativas para a fixação ineficiente da β -CD cationizada no substrato foram elencadas da literatura, como o tamanho da molécula formada dificultando a penetração nas regiões amorfas da fibra de algodão e a tendência da ciclodextrina de formar agregados. O perfil de liberação para ambos os agentes reticulantes apresentou um comportamento anômalo, com quatro distintas fases e a estabilidade não foi alcançada no intervalo de análise, indicando um retardo na liberação, resultado interessante para uso como têxtil funcionalizado, visto que reduzir a velocidade de liberação do óleo essencial é o principal objetivo para formar complexos de inclusão. Os resultados da estimativa da ação bactericida dos tecidos, demonstram que além das propriedades aromáticas o enxerto dos complexos de inclusão β -CD:OEG proporcionaram à obtenção de um tecido com propriedades bactericidas, ou seja, um tecido bifuncional.

Diante dos fatos citados, conclui-se que a funcionalização do algodão com óleo essencial de gengibre por meio da formação de complexos de inclusão com a β -CD pode ser considerada uma alternativa promissora para a obtenção de têxteis com propriedades especiais voltadas ao bem-estar do usuário.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Alguns aspectos que se revelam interessantes para uma abordagem mais detalhada são apresentados a seguir:

- Estudar outros fatores que podem contribuir na diminuição da eficácia de liberação do óleo essencial de gengibre, como a solidez a fricção e a lavagem.
- Aprofundar-se no processo de cationização da β -CD com o CHPTAC, de modo a determinar os reais motivos para a baixa fixação no algodão.
- Incluir os cuidados relacionados a problemas e questões de segurança ambientais, éticas e regulatórias, que envolvem a utilização da β -CD e de compostos bioativos.
- Realizar um acompanhamento do processo de cationização da β -CB com auxílio de um medidor de tamanho de partícula.
- Realizar a reticulação de β -CD:OE em algodão cationizado.
- Aumentar o tempo de análise em ensaios de liberação de forma a concluir o tempo total de esgotamento do OE de gengibre.
- Testar a inclusão de outros OEs e comparar a afinidade com a β -CD.
- Realizar análise de MEV nos tecidos funcionalizados.

REFERÊNCIAS

- ABARCA, Romina L.; RODRÍGUEZ, Francisco J.; GUARDA, Abel; GALOTTO, María J.; BRUNA, Julio E.. Characterization of beta-cyclodextrin inclusion complexes containing an essential oil component. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 196, p. 968-975, abr. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.10.023>.
- ABD EL-HADY, M. M.; SHARAF, S.; FAROUK, A. Highly hydrophobic and UV protective properties of cotton fabric using layer by layer self-assembly technique. **Cellulose**, [s. l.], v. 27, n. 2, p. 1099–1110, 2020.
- ABRAPA. Algodão no mundo. Disponível em: <https://www.abrapa.com.br/Paginas/dados/algodao-no-mundo.aspx>Acesso em: 18 marc. 2022.
- ACHARYA, S.; ABIDI, N.; RAJBHANDARI, R.; MEULEWAETER, F. Chemical cationization of cotton fabric for improved dye uptake. **Cellulose**, [s. l.], v. 21, n. 6, p. 4693–4706, 2014.
- AMALRAJ, A; HAPONIUK, Józef T.; THOMAS, S; GOPI, S. Preparation, characterization and antimicrobial activity of polyvinyl alcohol/gum arabic/chitosan composite films incorporated with black pepper essential oil and ginger essential oil. **International Journal Of Biological Macromolecules**, [S.L.], v. 151, p. 366-375, maio 2020. Elsevier BV.
- AMMAYAPPAN, Lakshmanan & MOSES, Jeyakodi. (2009). An overview on application of Cyclodextrins in textile product enhancement. **Journal of the Textile Association**. 70. 9-18.
- ANDREAUS, J. DALMOLIN, M. C.; OLIVEIRA, I. B.; BARCELLOS, I. O. **Aplicação de ciclodextrinas em processos têxteis**. Química Nova, [s.l.], v. 33, n. 4, p. 929-937, 2010.
- ANVISA, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Vocabulário controlado de formas farmacêuticas, vias de administração e embalagens de medicamentos**. Brasília: Anvisa, 2011.
- ARAÚJO, D. R.; PINTO, L. M. A.; BRAGA, A. F. A.; de PAULA, E. **Revista Brasileira de Anestesiologia**, [s.l.], v. 53, n. 5, p. 663-671. 2003
- AUMEERUDDY-ELALFI, Zaahira et al. Selected essential oils inhibit key physiological enzymes and possess intracellular and extracellular antimelanogenic properties in vitro. **journal of food and drug analysis**, v. 26, n. 1, p. 232-243, 2018.
- AVANCI, F. S.; PACHECO, N. M. R. A. **Funcionalização De Materiais Têxteis**. Icônica, v. 2, n. 1, 2016.
- AZIZI, Nedra; CHEVALIER, Yves; MAJDOUB, Mustapha. Isosorbide-based microcapsules for cosmeo-textiles. **Industrial Crops And Products**, [S.L.], v. 52, p. 150-157, jan. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.10.027>.

BABAUGLU, Humeyra Cetin *et al.* Encapsulation of clove essential oil in hydroxypropyl beta-cyclodextrin for characterization, controlled release, and antioxidant activity. **Journal Of Food Processing And Preservation**, [S.L.], v. 41, n. 5, 1 fev. 2017. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/jfpp.13202>.

BAKKALI, F.; AVERBECK, S.; AVERBECK, D.; IDAOMAR, M.. Biological effects of essential oils – A review. **Food And Chemical Toxicology**, [S.L.], v. 46, n. 2, p. 446-475, fev. 2008.

BHASKARA-AMRIT, U. R.; AGRAWAL, P. B.; WARMOESKERKEN, M. M. C. G. Applications of β -cyclodextrins in textiles. **Autex Research Journal**, v. 11, n. 4, p. 94–101, 2011.

BAUZA, Silvia del Carmen *et al.* Antimicrobial Activity of Ginger (*Zingiber Officinale*) and Its Application in Food Products. **Food Reviews International**, [S.L.], v. 35, n. 5, p. 407-426, 4 fev. 2019. <http://dx.doi.org/10.1080/87559129.2019.1573829>.

BEKERS, O.; UIJTENDAAL, E. V.; BEIJNEN, J. H.; BULT, A.; UNDERBERG, W. J. M.. Cyclodextrins in the Pharmaceutical Field. **Drug Development And Industrial Pharmacy**, [S.L.], v. 17, n. 11, p. 1503-1549, jan. 1991. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.3109/03639049109026630>

BELLIK, Yuva. Total antioxidant activity and antimicrobial potency of the essential oil and oleoresin of *Zingiber officinale* Roscoe. **Asian Pacific Journal Of Tropical Disease**, [S.L.], v. 4, n. 1, p. 40-44, fev. 2014. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s2222-1808\(14\)60311-x](http://dx.doi.org/10.1016/s2222-1808(14)60311-x).

BENDER, Myron L.; KOMIYAMA, Makoto. Cyclodextrin Chemistry. Berlin: **Springer Verlag**, 1978.

BERNARDI, Alberta; CANTÙ, Chiara Luisa; CEDROLA, Elena. Key success factors to be sustainable and innovative in the textile and fashion industry: Evidence from two Italian luxury brands. **Journal of Global Fashion Marketing**, v. 13, n. 2, p. 116-133, 2022.

BEZERRA, Fabricio Maestá. LIBERAÇÃO CONTROLADA DO ÓLEO ESSENCIAL DE CITRONELA EM MATRIZ TÊXTIL. 2016. 146 f. **Dissertação (Mestrado)** - Curso de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2016. Disponível em: <http://repositorio.uem.br:8080/jspui/bitstream/1/3778/1/000224284.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2022.

BEZERRA, Fabricio Maestá; CARMONA, Óscar García; CARMONA, Carlos García; PLATH, André Mathias Souza; LIS, Manuel. Biofunctional wool using β -cyclodextrins as vehiculizer of citronella oil. *Process Biochemistry*, [S.L.], v. 77, p. 151-158, fev. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.procbio.2018.11.018>.

BEZERRA, Fabricio Maestá; LIS, Manuel; CARMONA, Óscar García; CARMONA, Carlos García; MOISÉS, Murilo Pereira; ZANIN, Gisella Maria; MORAES, Flávio Faria. Assessment of the delivery of citronella oil from microcapsules supported on wool fabrics. **Powder Technology**, [S.L.], v. 343, p. 775-782, fev. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.powtec.2018.11.001>.

(BNITH). Bureau de Normalization des Industries Textiles et de l'Habillement 2011.

BRIZIDO, Vitor Zambon. TINGIMENTOS DE MALHAS DE ALGODÃO CATIONIZADAS COM 3-CLORO-2- HIDROXIPROPILTRIMETILAMÔNIO (CHTAC). 2018. 93 f. **Dissertação (Mestrado)** - Curso de São Bernardo do Campo, Centro Universitário Fei, São Bernado do Campo, 2018. Disponível em: <https://repositorio.fei.edu.br/bitstream/FEI/63/1/fulltext.pdf>. Acesso em: 03 maio 2022.

BUNSELL, A.R. Handbook of tensile properties of textile and technical fibres. Cambridge: **Woodhead Publishing**, 2009.

BUSCHMANN, U. Denter, D. Knittel e E. SchoUmeyer, "The Use of Cyclodextrins in Textile," **Textile Institute**, vol. 1, nº 3, pp. 554-561, 1998.

BUTT, Masood Sadiq; SULTAN, M. Tauseef. Ginger and its Health Claims: molecular aspects. *Critical Reviews In Food Science And Nutrition*, [S.L.], v. 51, n. 5, p. 383-393, 11 abr. 2011. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/10408391003624848>.

CARMO, Sidney Nascimento do. Acabamentos Funcionais Têxteis Aplicados Por Estamparia Digital Em Substratos Têxteis Ativados Por Plasma. (2015). Disponível: <https://www.proquest.com/docview/2562860711?pq-origsite=gscholar&fromopenview=true>. Acesso: 15 maio de 2022.

CARVALHO FILHO, José Luiz S. et al. Influence of the harvesting time, temperature and drying period on basil (*Ocimum basilicum* L.) essential oil. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, [S.L.], v. 16, n. 1, p. 24-30, mar. 2006. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-695x2006000100007>.

CEREMPEI, Angela. "Aromatherapeutic Textiles" In Active Ingredients from Aromatic and Medicinal Plants, edited by Hany El-Shemy. Londres: **IntechOpen**, 2017. 10.5772/66510

CHAND, Navin; FAHIM, Mohammed. Natural fibers and their composites. *Tribology Of Natural Fiber Polymer Composites*, [S.L.], p. 1-59, 2021. **Elsevier**. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-818983-2.00001-3>.

CIRELI, Aysun; YURDAKUL, Birkan. Application of cyclodextrin to the textile dyeing and washing processes. **Journal of applied polymer science**, v. 100, n. 1, p. 208-218, 2006.

COCERO, M. J. et al. Encapsulation and co-precipitation processes with supercritical fluids: Fundamentals and applications. **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 47, n. 3, p. 546–555, 1 jan. 2009.

CONMETRO (Conselho nacional de metrologia, normalização e qualidade industrial). Regulamento Técnico Mercosul Sobre Etiquetagem de Produtos Têxteis.

CORREIA J., OLIVEIRA, F.R., VALLE, R.C.S.C et al. Preparation of cationic cotton through reaction with different polyelectrolytes. **Cellulose** 28, 11679–11700 (2021). <https://doi.org/10.1007/s10570-021-04260-4>

COTRIM, Monique de Alvarenga Pinto. DESIGN DE TECIDOS FUNCIONAIS: UMA VISÃO INOVADORA SOBRE COMPLEXAÇÃO DE ÓLEO DE CAPIM LIMÃO (CYMBOPOGON CITRATUS) COM β -ciclodextrina. 2015. 102 f. **Dissertação (Mestrado) - Curso de Design**, Universidade do Estado de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015. Disponível em: <https://docplayer.com.br/11783241-Design-de-tecidos-funcionais-uma-visao-inovadora-sobre-complexacao-de-oleo-de-capim-limao-cymbopogon-citratus-com-v-ciclodextrina.html>. Acesso em: 01 maio 2022.

COVA TF, Murtinho D, Pais AACC and Valente AJM (2018) Combining Cellulose and Cyclodextrins:Fascinating Designs for Materials andPharmaceutics. **Front. Chem.** 6:27

DARIA, M.; KRZYSZTOF, L.; JAKUB, M. Characteristics of biodegradable textiles used in environmental engineering: A comprehensive review. **Journal of Cleaner Production**, v. 268, p. 1–17, 2020.

DAVIES, A., FIELD, B.S. ACTION OF BIGUANIDES, PHENOLS AND DETERGENTS ON ESCHERICHIA COLI AND ITS SPHEROPLASTS. **Journal of applied Bacteriology**, v.32, n.2, p. 223-238, 1969

DECLÉOR PARIS. **Ginger Essential Oils**. 2015. Disponível: em <https://www.decleor.co.uk/blogs/ginger.html>. Acesso em: 15 maio 2022.

DECOCK, G., Landy, D., Surpateanu, G. et al. **Study of the retention of aroma components by cyclodextrins by static headspace gas chromatography**. *J Incl Phenom Macrocycl Chem* 62, 297–302 (2008). <https://doi.org/10.1007/s10847-008-9471-z>

DEHABADI, V.A., BUSCHMANN, HJ. & GUTMANN, J.S. A novel approach for fixation of β -cyclodextrin on cotton fabrics. **J Incl Phenom Macrocycl Chem** 79, 459–464 (2014). <https://doi.org/10.1007/s10847-013-0368-0>

DEL VALLE, E. M. M. Cyclodextrins and their uses: a review. **Process Biochemistry**, v. 39, n. 9, p. 1033–1046, maio 2004

DIEGO M.A, et al., Aromatherapy positively affects mood, EEG patterns of alertness, and math computations. **Int. J. Neurosci.** 1998; **96**:217–224. doi: 10.3109/00207459808986469.

DJILANI, Abdelouaheb; DICKO, Amadou. The Therapeutic Benefits of Essential Oils. **Nutrition, Well-Being And Health**, [S.L.], v. 7, n. 7, p. 1-12, 23 fev. 2012. InTech. <http://dx.doi.org/10.5772/25344>.

DONG, C.; QIAN, LY.; ZHAO, G.L.; HE, BH.; XIAO, HN. Preparation of antimicrobial cellulose fibers by grafting β -cyclodextrin and inclusion with antibiotics. **Materials Letters**, v. 124, p.181-183, 2014.

EICHHORN, S. J. et al. **Handbook of Textile Fibre Structure**, v. 2: natural, regenerated, inorganic and specialist fibres. Cambridge: Woodhead Publishing, 2009

FARRELL, M. J.; HAUSER, P. J. **Cationic cotton, reservations to reality**. AATCC Review, [s. l.], v. 13, n. 5, p. 56–63, 2013

FARZANEZ, S., ZOHREH, S., MASOUMEH, AK., & MAHBOOBEH, T. Acupressure and ginger to relieve nausea and vomiting in pregnancy: A Randomized Study. **Iran Red Crescent Med J**, 16(9), 854-61, 2013.

FERNANDES, Marta; PADRÃO, Jorge; RIBEIRO, Ana I.; FERNANDES, Rui D. V.;

FERREIRA, Alexandre José Sousa; FERREIRA, Fernando Batista Nunes; OLIVEIRA, Fernando Ribeiro. Têxteis Inteligentes: uma breve revisão da literatura. **Redige**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 5, p. 0-0, abr. 2014.

FOUDA, Moustafa M.G.; ABDEL-HALIM, E.s.; AL-DEYAB, Salem S.. RETRACTED: antibacterial modification of cotton using nanotechnology. **Carbohydrate Polymers**, [S.L.], v. 92, n. 2, p. 943-954, fev. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.09.074>.

FREDENBERG. S., M. W. RESLOW, M., AXELSSON, A. The mechanisms of drug release in poly(lactic-co-glycolic acid)-based drug delivery systems - A review, **Int. J. Pharm.**, vol. 415, no. 88 1–2, pp. 34–52, 2011.

GHORPADE, Vishwajeet Sampatrao; YADAV, Adhikrao Vyankatrao; DIAS, Remeth Jacky. Citric acid crosslinked β -cyclodextrin/carboxymethylcellulose hydrogel films for controlled delivery of poorly soluble drugs. **Carbohydrate Polymers**, [S.L.], v. 164, p. 339-348, maio 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.02.005>.

GOBBO-NETO, Leonardo; LOPES, Norberto P.. Plantas medicinais: fatores de influência no conteúdo de metabólitos secundários. **Química Nova**, [S.L.], v. 30, n. 2, p. 374-381, abr. 2007.

GU, X. H.; YANG, C. Q. FTIR spectroscopy study of the formation of cyclic anhydride intermediates of polycarboxylic acids catalyzed by sodium hypophosphite. **Text. Res. J.** 2000, 70, 64–70, DOI: 10.1177/004051750007000110

HABS, Aline Heloisa Rauh. Uso de metil- β -ciclodextrina no tingimento têxtil. Trabalho de Conclusão de **Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Blumenau**, Graduação em Engenharia Têxtil, Blumenau, 2019.

Haji, Aminoddin & Bahtiyari, Muhammed. (2021). **Natural compounds in sustainable dyeing and functional finishing of textiles**. 10.1016/B978-0-323-85204-3.00004-X.

HARADA, A.; Adachi, H.; Kawaguchi, Y.; Kamachi, M. Recognition of Alkyl Groups on a Polymer Chain by Cyclodextrins. **Macromolecules** 1997, 30, 5181–5182.

HAULE, Liberato V.; NAMBELA, Lutamyo. **Sustainable application of nanomaterial for finishing of textile material**. Green Nanomaterials For Industrial Applications, [S.L.], p. 177-206, 2022. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-823296-5.00011-3>.

HAUSER, P. J.; TABBA, A. H. **Improving the environmental and economic aspects of cotton dyeing using a cationised cotton+**. **Coloration Technology**, [s. l.], v. 117, n. 5, p. 282–288, 2001.

HEDGES, Allan R.. Industrial Applications of Cyclodextrins. **Chemical Reviews**, [S.L.], v. 98, n. 5, p. 2035-2044, 25 jun. 1998. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/cr970014w>.

ISLAM, Jahid MM et al. Textiles in cosmetics and personal care. In: **Medical Textiles from Natural Resources**. Woodhead Publishing, 2022. p. 457-497.

JAREANSIN, Sutinee; SUKAAM, Panuwat; KUSUKTHAM, Boonsri. **Preparation and characterization of modified cotton fabrics with responsive pH**. **Polymer Bulletin**, [S.L.], v. 76, n. 9, p. 4507-4520, 16 nov. 2018. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s00289-018-2603-8>.

JASWAL et al., Antimicrobial activity of herbal treated cotton fabric. **International Research Journal of Engineering and Technology** (IRJET). 2017

KAMIMURA, J. A., SANTOS, E. H., HILL, L. E., & GOMES, C. L. (2014). Antimicrobial and antioxidant activities of carvacrol microencapsulated in hydroxypropyl-beta-cyclodextrin. **L WT - Food Science and Technology**, 57, 701-709.

KFOURY, Miriana et al. Development of a total organic carbon method for the quantitative determination of solubility enhancement by cyclodextrins: Application to essential oils. **Analytica Chimica Acta**, v. 918, p. 21-25, 2016.

KFOURY, Miriana et al. Effect of cyclodextrin and cosolvent on the solubility and antioxidant activity of caffeic acid. **Food Chemistry**, v. 278, p. 163-169, 2019.

KHANNA, Shelly & CHAKRABORTY, Jadu. (2017). Optimization of monochlorotriazine γ -cyclodextrin grafting on cotton and assessment of release behavior of essential oils from functionalized fabric. **Fashion and Textiles**. 4. 10.1186/s40691-017-0089-x.

KHEDKAR, SHWETA, & MALLICK, ARANYA. **Aroma textiles**. 2020. 10.1016/B978-0-12-820257-9.00008-4.

KINGHORN, A. Douglas; PAN, Li; FLETCHER, Joshua N.; CHAI, Heebyung. The Relevance of Higher Plants in Lead Compound Discovery Programs. **Journal Of Natural**

Products, [S.L.], v. 74, n. 6, p. 1539-1555, 8 jun. 2011. **American Chemical Society (ACS)**. <http://dx.doi.org/10.1021/np200391c>.

KURKOV, Sergey V.; LOFTSSON, Thorsteinn. Cyclodextrins. **International Journal Of Pharmaceutics**, [S.L.], v. 453, n. 1, p. 167-180, ago. 2013. Elsevier BV.

LAZA-KNOERR, A. L.; GREF, R.; COUVREUR, P. **Cyclodextrins for drug delivery**. *Journal of Drug Targeting*, v. 18, n. 9, p. 645–656, 25 nov. 2010.

LEE, J.H e YEO, Y., Controlled drug release from pharmaceutical nanocarriers, *Chem. Eng. Sci.*, vol. 125, pp. 75–84, 2015.

LEWIN, M. **Handbook of Fiber Chemistry**. 3. ed. New York: Crc Press, p. 1052, 2007.

LIS, MANUEL et al. Smart and Biofunctional Textiles: An Alternative for Vehiculation of Active Principles (2019).

LIU Y, TOVIA F, BALASURBRAMIAN K, PIERCE JD, DUGAN J. Scent Infused Textiles to Enhance Consumer Experiences. **Journal of Industrial Textiles**. 2008;37(3):263-274. doi:[10.1177/1528083707083791](https://doi.org/10.1177/1528083707083791)

LIU, L.; YAO, J. Salt-free dyeability of thiourea grafted cotton fabric. **Fibers and Polymers**, [s. l.], v. 12, n. 1, p. 42–49, 2011.

LOFTSSON, Thorsteinn; MÁSSON, Már; BREWSTER, Marcus E.. Self-Association of Cyclodextrins and Cyclodextrin Complexes. **Journal Of Pharmaceutical Sciences**, [S.L.], v. 93, n. 5, p. 1091-1099, maio 2004. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1002/jps.20047>.

LÓPEZ, Etna Itzel Curiel et al. Antimicrobial Activity of Essential Oil of *Zingiber officinale* Roscoe (Zingiberaceae). **American Journal Of Plant Sciences**, [S.L.], v. 08, n. 07, p. 1511-1524, 2017.

MA, W.; WANG, T.; LI, H.; ZHANG, S. Cotton fabric modification through ceric (IV) ioninitiated graft copolymerisation of 2-methacryloyloxyethyltrimethyl ammonium chloride to enhance the fixation of reactive dyes. **Cellulose**, [s. l.], v. 22, n. 6, p. 4035–4047, 2015.

MAGALHÃES, A. P. S. A. de. (2015). Atividade antimicrobiana em têxteis. **Universidade do Porto**.

MARTEL, B. et al. Polycarboxylic Acids as Crosslinking Agents for Grafting Cyclodextrins onto Cotton and Wool Fabrics: Study of the Process Parameters. v. 83, p. 1449–1456, 2001.

MARTINS, G. B. H. Práticas Limpas Aplicadas às Indústrias Têxteis de Santa Catarina. **Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção**, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

- MARX, Wolfgang et al. Ginger—Mechanism of action in chemotherapy-induced nausea and vomiting: A review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 57, n. 1, p. 141-146, 2017.
- MASTROMATTEO, M. et al. Controlled release of thymol from zein based film. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 10, n. 2, p. 222-227, 2009.
- MATHER, R., R. WARDAN, R. The chemistry of textile fibres. **RSC Publishing**, 2015.
- MATHIS, R.; MEHLING, A.. Textiles with cosmetic effects. Handbook Of Medical Textiles, [S.L.], p. 153-172, 2011. **Elsevier**. <http://dx.doi.org/10.1533/9780857093691.1.153>.
- MEDEIROS, M.K. De. Medeiros, M. K. De. **Tecnologia têxtil**. Universidade Anhembi Morumbi, 1–22, 2016.
- MEHTA, S.; MACGILLIVRAY M. Aromatherapy in Textiles: A Systematic Review of Studies Examining Textiles as a Potential Carrier for the Therapeutic Effects of Essential Oils †. **Textiles** 2022, 2, 29–49. <https://doi.org/10.3390/textiles2010003>. 2022
- MELRO, Liliana; NICOLAU, Talita; MEHRAVANI, Behnaz; ALVES, Cátia; RODRIGUES, Rui; ZILLE, Andrea. Polysaccharides and Metal Nanoparticles for Functional Textiles: a review. **Nanomaterials**, [S.L.], v. 12, n. 6, p. 1006, 18 mar. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/nano12061006>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2079-4991/12/6/1006/htm>. Acesso em: 15 maio 2022.
- MENDES, S.; Catarino, A.; ZILLE, A.; Fernandes, N.; BEZERRA, F.M. Vehiculation of Methyl Salicylate from Microcapsules Supported on Textile Matrix. **Materials**. 2021, 14, 1087. <https://doi.org/10.3390/ma14051087>
- MENDES, Samira da Silva. Libertação controlada de salicilato de metila em estruturas têxteis: desenvolvimento e caracterização. 2020. 108 f. **Dissertação (Mestrado)** - Curso de Engenharia Química, Universidade do Minho, Porto, 2020. Disponível em: <https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/76169/1/Tese%2BCorrigida%20%281%29.pdf>. Acesso em: 03 maio 2022.
- MENNINI, N. et al. Physico-chemical characterization in solution and in the solid state of clonazepam complexes with native and chemically-modified cyclodextrins. **Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis**, v. 89, p. 142–149, 15 fev. 2014
- MERINO, E. F. (2011). Têxteis e Vestuário Desportivo. **Medicina Desportiva Informa**, 1-2
- Mesomo M.C., Corazza M.L., Ndiaye P.M., Dalla Santab O.R., Cardozoc L., Scheer A.D.P. Supercritical CO₂ extracts and essential oil of ginger (*Zingiber officinale* R.): Chemical composition and antibacterial activity. **J. Supercrit. Fluid**. 2013; 80:44–49. doi: 10.1016/j.supflu.2013.03.031.

MISHRA, R. et al. The production, characterization and applications of nanoparticles in the textile industry. **Textile Progress**, v. 46, n. 2, p. 133–226, 2014.

NAZI, M.; MALEK, R. M. A.; KOTEK, R. Modification of β -cyclodextrin with itaconic acid and application of the new derivative to cotton fabrics. **Carbohydrate Polymers**, v. 88, p. 950–958, 2012

Neelesh K Varde & Daniel W Pack (2004) Microspheres for controlled release drug delivery, **Expert Opinion on Biological Therapy**, 4:1, 35-51, DOI: 10.1517/14712598.4.1.35

NELSON, G. (2002). Application of microencapsulation in textiles. **International Journal of Pharmaceutics**, 242, 55–62.

NYLSTAR. MERYL® HYALURONAN. Disponível em: <https://www.nylstar.com/meryl-hyaluronan/>. Acesso em: 03 de maio de 2022.

NUNES, Jair. FUNCIONALIZAÇÃO DE SUBSTRATO TÊXTIL DE ALGODÃO COM NANOPARTÍCULAS DE ZnO e β -CICLODEXTRINAS. 2022. 87 f. **Dissertação (Mestrado)** - Curso de Engenharia Têxtil, Universidade Federal de Santa Catarina, Blumenau, 2022.

OLIVEIRA, Ana Sofia Leal. Desenvolvimento de Têxteis com Capacidade de Libertação de Agentes Funcionais: desenvolvimento de têxteis com capacidade de libertação de agentes funcionais. 2014. 85 f. **Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química**, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, 2014. Disponível em: https://recipp.ipp.pt/bitstream/10400.22/5580/1/DM_Ana%20Oliveira_2014_MEQ.pdf. Acesso em: 01 maio 2022.

OLIVEIRA, Cristina Manuel Sousa. Estudo da funcionalização e recarga de fibras sintéticas com -ciclodextrinas. 2012. 56 f. **Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química**, Universidade do Minho, Porto, 2012. Disponível em: https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/22305/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o_Cristina.pdf. Acesso em: 07 jun. 2022.

OSORIO-TOBÓN, J. Felipe *et al.* Process integration for turmeric products extraction using supercritical fluids and pressurized liquids: economic evaluation. **Food And Bioproducts Processing**, [S.L.], v. 98, p. 227-235, abr. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbp.2016.02.001>.

PARMAR, Vijaykumar; PATEL, Gayatri; ABU-THABIT, Nedal Y.. Responsive cyclodextrins as polymeric carriers for drug delivery applications. **Stimuli Responsive Polymeric Nanocarriers For Drug Delivery Applications**, Volume 1, [S.L.], p. 555-580, 2018. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-08-101997-9.00024-2>.

PEDRO, A. São et al. The use of nanotechnology as an approach for essential oil-based formulations with antimicrobial activity. In: **A MÉNDEZ-VILAS**. Microbial pathogens and strategies for combating them: science, technology and education. 2. ed. Badajoz: Formatex Research Center, 2013. Cap. 15. p. 1364-1374.

PIMENTA, Joana Mafalda de Sousa. Desenvolvimento de têxteis com capacidade de remoção ou libertação de odores/fragrâncias. 2014. 69 f. **Dissertação (Mestrado)** - Curso de Engenharia Química, Universidade do Porto, Porto, 2014. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/89560/2/31716.pdf>. Acesso em: 01 maio 2022.

POULSON B.G.; Alsulami, Q.A.; Sharfalddin, A.; El Agammy, E.F.; Mouffouk, F.; Emwas, A.-H.; Jaremko, L.; Jaremko, M. Cyclodextrins: Structural, Chemical, and Physical Properties, and Applications. **Polysaccharides** 2022, 3, 1–31. <https://doi.org/10.3390/polysaccharides3010001>

RIEKES, M. K. et al. Enhanced solubility and dissolution rate of amiodarone by complexation with β -cyclodextrin through different methods. **Materials Science and Engineering: C**, v. 30, n. 7, p. 1008–1013, 30 ago. 2010.

ROY CHOUDHURY, A. K. Coloration of Cationized Cellulosic Fibers—A Review. **AATCC Journal of Research**, [s. l.], v. 1, n. 3, p. 11–19, 2014.

RUKMANI, A.; SUNDRARAJAN, M. **Inclusion of antibacterial agent thymol on β -cyclodextrin-grafted organic cotton**. *Journal of Industrial Textiles*, v. 42, n. 2, p.132-144, 2011.

SAHARUDDIN et al., Characterization of encapsulated ginger essential oils and its antimicrobial properties. **Journal of Academia**, 8 (1). pp. 1-6. ISSN 2289-6368.

SALEM, V. Tingimento têxtil: fibras, conceitos e tecnologias. São Paulo: **Blucher**, 2010.

SANTANA, J.C.F. de; WANDERLEY, M.J.R.; BELTRÃO, N.E. de M.; VIEIRA, D.J. Características da fibra e do fio do algodão: análise e interpretação dos resultados. In: **O agronegócio do algodão no Brasil**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologias, 1999.

SCACCHETTI, Fabio Alexandre Pereira; PINTO, Eugénia; SOARES, Graça Maria Barbosa. Functionalization and characterization of cotton with phase change materials and thyme oil encapsulated in beta-cyclodextrins. **Progress in Organic Coatings**, v. 107, p. 64-74, 2017.

SCHMID G. Cyclodextrin glycosyltransferase production: yield enhancement by overexpression of cloned genes. **Trends Biotechnol.** 1989;7:244–248. doi: 10.1016/0167-7799(89)90015-2.

SELLARO R., Van Dijk W.W., Paccani C.R., Colzato L.S. A question of scent: Lavender aroma promotes interpersonal trust. **Front. Psychol.** 2015; **5**: 1486. doi: 10.3389/fpsyg.2014.01486.

SELVAM, S. et al. Antibacterial effect of novel synthesized sulfated β -cyclodextrin crosslinked cotton fabric and its improved antibacterial activities with ZnO, TiO₂ and Ag

nanoparticles coating. **International Journal of Pharmaceutics**, v. 434, n. 1-2, p. 366-374, 2012.

SINGH, Gurdip; KAPOOR, I.P.s.; SINGH, Pratibha; HELUANI, Carola S. de; LAMPASONA, Marina P. de; CATALAN, Cesar A.N.. Chemistry, antioxidant and antimicrobial investigations on essential oil and oleoresins of *Zingiber officinale*. **Food And Chemical Toxicology**, [S.L.], v. 46, n. 10, p. 3295-3302, out. 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fct.2008.07.017>.

SOLÓRZANO-SANTOS, Fortino; MIRANDA-NOVALES, Maria Guadalupe. Essential oils from aromatic herbs as antimicrobial agents. **Current Opinion In Biotechnology**, [S.L.], v. 23, n. 2, p. 136-141, abr. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.copbio.2011.08.005>.

SOUZA, Cláudia RF; FERRAZ-FREITAS, Patrícia N.; OLIVEIRA, Wanderley P. Complexos de inclusão binários, ternários e quaternários contendo óleo essencial de *Lippia sidoides*. **Química Nova**, v. 39, p. 979-986, 2016.

SOWNDHARARAJAN, Kandhasamy; KIM, Songmun. Influence of Fragrances on Human Psychophysiological Activity: with special reference to human electroencephalographic response. **Scientia Pharmaceutica**, [S.L.], v. 84, n. 4, p. 724-751, 29 nov. 2016. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/scipharm84040724>.

SRININGSIH e LESTARI, Kurniati Puji. Aromatherapy Ginger Use in Patients with Nausea & Vomiting on Post Cervical Cancer Chemotherapy. **Jurnal Kesehatan Masyarakat**, [S.L.], v. 13, n. 1, p. 59-68, 28 jul. 2017. Universitas Negeri Semarang. <http://dx.doi.org/10.15294/kemas.v13i1.5367>.

STAPPEN I, HOELZ A, RANDJELOVIC O, WANNER J. (2016). Influence of essential ginger oil on human psychophysiology after inhalation and dermal application. **Natural Product Communications**, 11, 1565-1568.

SZEJTLI, J. **Cyclodextrin Technology**. Budapest: Springer Netherlands, 1988.

SZEJTLI, J. **Cyclodextrins in the textile industry**. *Starch Stärke*, v. 55, n. 2003, p. 191–196, 2003

TARBUK, Anita; GRANCARIC, Ana Marija; LESKOVAC, Mirela. Novel cotton cellulose by cationization during mercerization—part 2: the interface phenomena. **Cellulose**, [S.L.], v. 21, n. 3, p. 2089-2099, 13 fev. 2014. **Springer Science and Business Media LLC**. <http://dx.doi.org/10.1007/s10570-014-0194-6>.

TOURÉ, Alhassane *et al.* Microencapsulation of Ginger Oil in 18DE Maltodextrin/Whey Protein Isolate. **Journal Of Herbs, Spices & Medicinal Plants**, [S.L.], v. 17, n. 2, p. 183-195, abr. 2011. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/10496475.2011.583137>.

Troficolor. **Fibras têxteis**. Processos Têxteis. Trofa, Portugal, 2016

TROTMAN, E. R. Dyeing and Chemical Technology of Textile Fibres. 6. **Ed. England: Charles Griffin & Company Limited**, 1984.

TUREK, Claudia; STINTZING, Florian C.. Stability of Essential Oils: a review. **Comprehensive Reviews In Food Science And Food Safety**, [S.L.], v. 12, n. 1, p. 40-53, jan. 2013. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/1541-4337.12006>.

VALLE, E. M. M. DEL. Cyclodextrins and their uses: a review. **Science Direct**, v. 39, p. 1033–1046, 2004.

VASCONCELOS, A. J. da C. Obtenção de Tecidos de Poliéster de Baixo Peso por Tratamento Enzimático. 2005. 68 f. **Dissertação (Mestrado) - Curso de Química Têxtil**, Departamento de Engenharia Têxtil, Universidade do Minho, Braga, 2005.

VENTURINI, C. DE G. *et al.* Propriedades e aplicações recentes das ciclodextrinas. **Química Nova**, v. 31, n. 2, p. 360–368, 2008.

VILLIERS, A. 1891. Sur la transformation de la fécule en dextrine par le ferment butyrique. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences** 112:435–8.

VONCINA, B. e A. LE MARECHAL. Grafting of cotton with β cyclodextrin via poly (carboxylic acid). **Journal of Applied Polymer Science**, 2005. 96(4): p. 1323-1328.

WADHWA, G. et al. **Essential oil–cyclodextrin complexes: an updated review**, Journal of Inclusion Phenomena and Macrocyclic Chemistry, v.89, n.1-2, p.39–58, 2017.

WANG, C. X., e CHEN, S. L. (2005). **Aromachology and its Application in the Textile Field**. Southern Yangtze University; Donghua University, College of Textile and Garments; College of Chemistry and Chemical Engineering.

WANG, L.; MA, W.; ZHANG, S.; TENG, X.; YANG, J. **Preparation of cationic cotton with two-bath pad-bake process and its application in salt-free dyeing**. **Carbohydrate Polymers**, [s. l.], v. 78, n. 3, p. 602–608, 2009.

WANG, Xin *et al.* **Antibacterial Activity and Mechanism of Ginger Essential Oil against Escherichia coli and Staphylococcus aureus**. **Molecules**, [S.L.], v. 25, n. 17, p. 3955, 30 ago. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/molecules25173955>.

Wiraharja, RS, Rustam, S. & Iskandar, M. Kegunaan Jahe Untuk Mengatasi Gejala Mual Dalam Kehamilan, 2011, 10(3):161–170.

WÜSTENBERG, Tanja. Cellulose and Cellulose Derivatives in the Food Industry., [S.L.]. set. 2014. **Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA**. <http://dx.doi.org/10.1002/9783527682935>.

YANG, CQ. **Crosslinking cotton with poly(itaconic acid) and in situ polymerization of itaconic acid: Fabric mechanical strength retention.** *J Appl Polym Sci* 2003; 87: 2023–2030.

YAO, Y. et al. Development of a myricetin/hydroxypropyl- β -cyclodextrin inclusion complex: Preparation, characterization, and evaluation. **Carbohydrate Polymers**, v. 110, p. 329–337, set. 2014.

YU, C.. Natural Textile Fibres. *Textiles And Fashion*, [S.L.], p. 29-56, 2015. **Elsevier**. .

ZARE, Abolfazl. β -cyclodextrin as dispersing agent in the dyeing of polyester-viscose fabrics. **Journal of Color Science and Technology**, 2022.

ZHAI, Hengxiao et al. Potential of essential oils for poultry and pigs. **Animal Nutrition**, [S.L.], v. 4, n. 2, p. 179-186, jun. 2018. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.aninu.2018.01.005>. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405654517301506>.

ZHANG et al. Preparation and Properties of Ginger Essential Oil β -Cyclodextrin/Chitosan Inclusion Complexes. 2018. Disponível em:
https://www.researchgate.net/publication/327315804_Preparation_and_Properties_of_Ginger_Essential_Oil_b-CyclodextrinChitosan_Inclusion_Complexes. Acesso: 15 maio 2022.

ZORNIO, C. F. Preparação e caracterização do complexo de inclusão β -- ciclodextrina/(z)-jasmona e da fibra de algodão enxertada com β --ciclodextrina. [s.l.] **UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA-UFSC**, 2013.