

PROPRIEDADES DAS FIBRAS REGENERADAS DE CELULOSE

Data de aceite: 02/01/2024

Aline Ferreira Knhis

Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Têxtil – PGETEX,
Universidade Federal de Santa Catarina,
Departamento de Engenharia Têxtil -
Campus Blumenau, Blumenau, Brasil

Beatriz Barbosa de Brito

Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Têxtil – PGETEX,
Universidade Federal de Santa Catarina,
Departamento de Engenharia Têxtil -
Campus Blumenau, Blumenau, Brasil

Clara Leal Schwertl

Graduação em Engenharia Têxtil,
Departamento de Engenharia Têxtil,
Universidade Federal de Santa Catarina –
Campus Blumenau, Blumenau, Brasil

Lucas Souza da Silva

Graduação em Engenharia Têxtil,
Departamento de Engenharia Têxtil,
Universidade Federal de Santa Catarina –
Campus Blumenau, Blumenau, Brasil

José Alexandre Borges Valle

Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Têxtil – PGETEX,
Universidade Federal de Santa Catarina,
Departamento de Engenharia Têxtil -
Campus Blumenau, Blumenau, Brasil
Graduação em Engenharia Têxtil,

Departamento de Engenharia Têxtil,
Universidade Federal de Santa Catarina –
Campus Blumenau, Blumenau, Brasil

Andrea Cristiane Krause Bierhalz

Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Têxtil – PGETEX,
Universidade Federal de Santa Catarina,
Departamento de Engenharia Têxtil -
Campus Blumenau, Blumenau, Brasil
Graduação em Engenharia Têxtil,
Departamento de Engenharia Têxtil,
Universidade Federal de Santa Catarina –
Campus Blumenau, Blumenau, Brasil

Rita de Cassia Siqueira Curto Valle

Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Têxtil – PGETEX,
Universidade Federal de Santa Catarina,
Departamento de Engenharia Têxtil -
Campus Blumenau, Blumenau, Brasil
Graduação em Engenharia Têxtil,
Departamento de Engenharia Têxtil,
Universidade Federal de Santa Catarina –
Campus Blumenau, Blumenau, Brasil

RESUMO: A indústria têxtil busca por tecnologias sustentáveis que atendam às necessidades dos consumidores. A fibra de viscose, embora valorizada no mercado, não é sustentável devido ao uso de compostos

tóxicos. A dissolução direta da celulose em solventes recicláveis surge como uma alternativa para substituir o processo de viscose e obtenção de fibras com propriedades interessantes para a produção de artigos têxteis. Este estudo descreve os processos de produção de viscose, liocel/NMMO e liocel/líquidos iônicos, bem como as diferenças nas propriedades das fibras. O objetivo deste estudo é apresentar alternativas mais sustentáveis na produção de fibras têxteis, considerando a busca por uma indústria ecologicamente responsável.

PALAVRAS-CHAVE: processo de viscose, processo liocel, processo líquidos iônicos.

1 | INTRODUÇÃO

As fibras ou filamentos têxteis são o menor componente de natureza pilosa que pode ser extraído ou separado de um material têxtil. Fibras possuem comprimento limitado, enquanto os filamentos possuem comprimento ilimitado, sendo que esse último pode ser convertido em fibras (por meio de corte) de acordo com as características desejáveis para as propriedades e usos nos processos têxteis. Podem ser naturais ou manufaturadas e que, para serem utilizadas na produção de tecidos e estruturas têxteis por meio de diversos processos são primeiramente transformadas em fios e. Para que as fibras sejam fiáveis, é necessário que atendam a requisitos como comprimento mínimo de 5 mm, flexibilidade, coesão e resistência. Além disso, propriedades como elasticidade, finura, uniformidade, durabilidade e brilho também são requisitos importantes para o desempenho do fio (QIN, 2016).

A disponibilidade de uma ampla variedade de fibras oferece características estruturais distintas aos produtos têxteis, resultando em diferentes propriedades físicas e químicas que contribuem para o desempenho final dos produtos (ELMOGAHZY, Y. E., 2020). A qualidade e as propriedades das fibras têxteis dependem de sua composição química e do processo de formação/produção, que podem envolver modificações voluntárias ou involuntárias, bem como tratamentos específicos de acabamento. Portanto, as fibras são caracterizadas por suas propriedades físicas, mecânicas, químicas e biológicas (CHERIF, 2016).

As fibras têxteis podem ser classificadas em diferentes categorias. A Lei de Identificação de Produtos de Fibras Têxteis, estabelecida em 1960, divide as fibras principalmente em naturais ou manufaturadas (KARMAKAR, 1999). As fibras naturais podem ser de origem celulósica, como algodão, linho e juta, ou de origem proteica, como lã e seda. Já as fibras manufaturadas são divididas em duas categorias: fibras sintéticas e fibras regeneradas. As fibras sintéticas são produzidas a partir de matérias-primas petroquímicas e incluem poliéster, poliamida e acrílico. As fibras regeneradas são obtidas quimicamente a partir da dissolução de matérias-primas vegetais e animais e incluem a viscose, liocel, acetato de celulose, e fibras de leite, por exemplo (ELMOGAHZY, Y. E., 2020).

As fibras celulósicas desempenham um papel importante como matéria-prima na indústria têxtil. A celulose é o biopolímero natural mais abundante da Terra, sendo um

recurso renovável e biodegradável (DISSANAYAKE *et al.*, 2018). A estrutura da celulose consiste em moléculas de β -glicose unidas por ligações β -1,4-glicosídicas, formando uma estrutura linear, não ramificada e semi-cristalina. O grau de polimerização da celulose varia de acordo com o número de unidades de glicose repetidas em uma cadeia de celulose, podendo variar até cerca de mais de 10.000 para celulose bacteriana (ACHARYA; HU; ABIDI, 2021; PINKERT *et al.*, 2009).

As fibras de algodão representam a forma mais pura de obtenção de celulose vegetal (CIECHAŃSKA; WESOŁOWSKA; WAWRO, 2009). A composição química das fibras de algodão é composta principalmente por celulose (88,0-96,5%), além de outros componentes não celulósicos, como proteínas (1,0-1,9%), ceras (0,4-1,2%), pectinas (0,4-1,2%), inorgânicos (0,7-1,6%) e outras substâncias (0,5-8,0%). Os compostos não celulósicos estão localizados nas camadas externas das fibras (cutícula e parede celular primária), enquanto a celulose está concentrada nas camadas internas (parede celular secundária) (S. GORDON; Y. L. HSIEH, 2007). Os compostos considerados impurezas são removidos durante o beneficiamento primário do algodão (KARAPINAR; SARIISIK, 2004). Pelas propriedades morfológicas do algodão, é considerado uma fonte interessante para produção de fibras celulósicas regeneradas (SHABBIR; MOHAMMAD, 2017);

A fibra de celulose regenerada é um tipo de fibra manufaturada ou artificial que utiliza celulose como matéria-prima (CHEN, 2015). As principais fontes para a obtenção de fibras de celulose regenerada são os línters de algodão e as polpas celulósicas de lenhosas de alto grau de polimerização, também conhecidas como polpas solúveis. As propriedades das fontes celulósicas utilizadas têm influência direta na qualidade das fibras de celulose regenerada (MENDES; PRATES; EVTUGUIN, 2021).

A fibra de celulose regenerada apresenta uma aparência lisa e brilhante, semelhante à seda, embora seja quimicamente diferente, e também exibe uma excelente capacidade de absorção de água, proporcionando o conforto das fibras naturais (SAYYED; DESHMUKH; PINJARI, 2019). Os tecidos produzidos com fibras de celulose regenerada são macios e altamente maleáveis, tornando-os amplamente utilizados na fabricação de roupas (CHEN, 2015).

O processamento químico da celulose é complexo devido à estrutura morfológica biopolimérica, à estrutura cristalina parcial e às interações não covalentes entre as moléculas. A celulose não é solúvel em água nem em uma ampla variedade de compostos orgânicos, o que torna seu processamento desafiador (SINGH *et al.*, 2015). A celulose natural pode ser dissolvida por meio de processos de dissolução derivativos ou não derivativos (JIANG, X. *et al.*, 2020).

No processo derivativo, a celulose é modificada antes da dissolução, formando um novo intermediário. Isso significa que ocorrem modificações químicas na celulose antes de ela ser dissolvida para formar as fibras regeneradas. (SAYYED; DESHMUKH; PINJARI, 2019). No caso do processo de viscose, que utiliza soda cáustica (NaOH) e dissulfeto

de carbono (CS_2), a celulose é modificada quimicamente para formar xantato de celulose de sódio antes de ser dissolvida como viscosa. O processo de viscosa é o sistema de derivatização mais comumente utilizado (SINGH *et al.*, 2015). Além do processo de viscosa, o acetato de celulose também é uma fibra de celulose regenerada obtida por meio de um processo derivado (CHEN, 2015).

Por outro lado, em processos não derivativos, a celulose é dissolvida diretamente no solvente, sem modificações para regenerar as fibras (SAYYED; DESHMUKH; PINJARI, 2019). Esses processos são mais simples, pois não exigem etapas adicionais de derivatização da celulose. As modificações ocorrem principalmente na estrutura molecular da celulose, como na cristalinidade, orientação do cristal e tamanho do cristalito (CHEN, 2015). Os processos de dissolução direta incluem cupramônio (cupro), cloreto de lítio / N,N-dimetilacetamida (LiCl/DMAc) e o processo de liocel / N-óxido de N-metilmorfolina (NMMO) ou liocel / líquido iônico (JIANG, X. *et al.*, 2020).

O processo de viscosa é o processo dominante na produção de fibras de celulose regeneradas, seguido do liocel e cupro (ZHANG, S. *et al.*, 2018). Como relatado, existem diversos processos de produção de fibra de celulose regeneradas e, neste artigo de revisão, serão destacados os processos de viscosa e liocel (NMMO e líquido iônico).

A tecnologia de viscosa foi originalmente patenteada em 1892 pelos químicos britânicos Charles Croos, Edward Bevan e Clayton Beadle. O método de fiação a partir da fibra de viscosa foi comercializado com sucesso em 1904, sendo patenteado por Samuel Courtauld & Co. Ltd, na Inglaterra (CHEN, 2015). O processo de viscosa envolve várias etapas, sendo as duas principais realizadas com soda cáustica, cuja mistura com a polpa celulósica produz celulose alcalina e com dissulfeto de carbono. A celulose alcalina obtida é tratada com dissulfeto de carbono (CS_2). O dissulfeto de carbono reage com a celulose alcalina para formar uma substância chamada xantato de celulose de sódio. O xantato de celulose de sódio é solubilizado em uma solução alcalina para formar uma substância viscosa conhecida como viscosa. A seguir, ocorre a fiação da viscosa para obter fios de celulose regenerada, coagulação dos fios em uma solução ácida, estiramento dos fios e processamento final. (CHEN, 2015). Um esquema do processo de viscosa é demonstrado na .

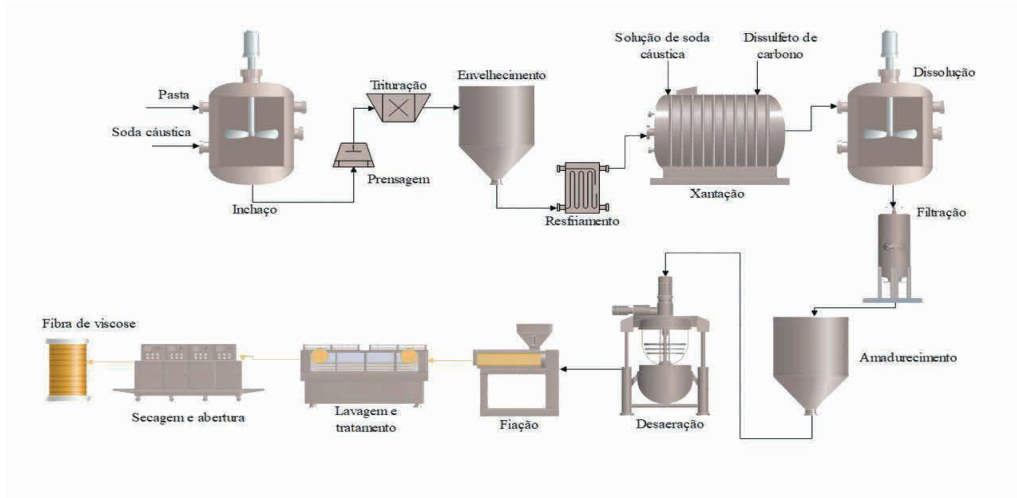


Figura 1. Esquema do processo de produção de fibras de viscose

O processamento da viscose produz resíduos químicos tóxicos durante a produção, causando poluição ambiental. Um dos maiores problemas é a utilização de dissulfeto de carbono (CS_2), em função da poluição da água e do ar com compostos de enxofre, além dos riscos de incêndio e explosão (CIECHAŃSKA; WESOŁOWSKA; WAWRO, 2009). Este processo também consome muita energia e alta demanda de mão de obra (SAYYED; DESHMUKH; PINJARI, 2019). Além disso, com o uso dessa tecnologia há riscos de acidente de trabalho quando os trabalhadores são expostos a produtos tóxicos, em decorrência de possíveis explosões e vazamentos (ALEXANDRA FREITAS; AND RUTH MATHEWS, 2017).

A demanda por um processo ambientalmente correto para a produção de fibras de celulose regeneradas levou ao desenvolvimento da tecnologia liocel em 1939, com a primeira patente publicada por Charles Graenacher (MENDES; PRATES; EVTUGUIN, 2021; RANA *et al.*, 2014). No processo de liocel, o NMMO (N-metilmorfolina-N-óxido) é utilizado como solvente para a dissolução da celulose, sendo um processo de dissolução direta. O solvente NMMO não é tóxico e os efluentes produzidos não são perigosos (MENDES; PRATES; EVTUGUIN, 2021). O processo de fabricação da fibra é demonstrado na Figura 2.

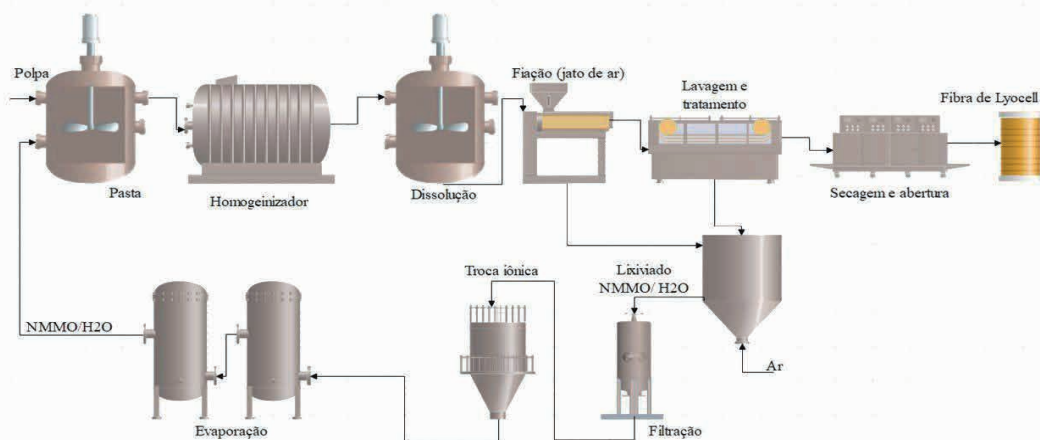


Figura 2. Processo de liocel baseado em NMMO

O processo de liocel ocorre por meio da dissolução direta, sem a formação de derivados intermediários de celulose. O solvente NMMO pode ser recuperado e reciclado, reduzindo o impacto com a geração de efluentes (MENDES; PRATES; EVTUGUIN, 2021). No entanto, o processo liocel utilizando NMMO também apresenta desvantagens, como a ocorrência de reações secundárias oxidativas, formando produtos secundários, afetando as propriedades da fibra e exigindo grande quantidade de estabilizadores (MEKSI; MOUSSA, 2017; MICHUD; HUMMEL; SIXTA, 2015). Além das reações secundárias, o processo apresenta instabilidade térmica e necessita de altas temperaturas para o processo de dissolução (SAYYED; DESHMUKH; PINJARI, 2019).

O processo de dissolução de celulose em líquido iônico é um método de dissolução direta relativamente recente, sendo relatado pela primeira vez em 2002 (HERMANUTZ *et al.*, 2019). Os líquidos iônicos apresentam perspectivas ecológicas e industriais muito promissoras, devido à sua propriedade de dissolução e capacidade de fiação de fibras de celulose regeneradas (SAYYED; DESHMUKH; PINJARI, 2019). Os líquidos iônicos consistem em cátions e ânions, que se diferem no tamanho da molécula e possuem flexibilidade estrutural, podendo selecionar os íons de cátions e ânions conforme a necessidade de aplicação (MOHD *et al.*, 2017). Deste modo, alguns solventes de líquidos iônicos apresentam melhor solubilidade, como os líquidos iônicos à base de imidazol (SHUHUA *et al.*, 2020). O mecanismo de dissolução de celulose em líquidos iônicos é semelhante ao NMMO e o processo de produção por fiação a seco/úmido é análogo ao ilustrado na Figura 2 .

A celulose dissolvida em líquido iônico pode ser processada por fiação a úmido (*wet*

spinning) ou por fiação a úmido com jato seco (*dry jet wet spinning*), permitindo alterações das propriedades da fibra de acordo com a necessidade desejada. Essas propriedades também são influenciadas pela cristalinidade, grau de polimerização e a estabilidade das ligações de hidrogênio (HERMANUTZ *et al.*, 2019).

Os solventes utilizados na dissolução da celulose devem ser capazes de satisfazer os domínios hidrofílico e hidrofóbico da celulose. Nos líquidos iônicos, os ânions desempenham a função fundamental na dissolução da celulose e essa capacidade de dissolução aumenta com o aumento da capacidade de aceitar ligações de hidrogênio (VERMA *et al.*, 2019). O desempenho do cátion é incerto, alguns estudos relatam que os cátions podem fornecer interações de van der Waals, outros que os cátions formam ligações de hidrogênio fracas, além de poderem formar ligações covalentes com a extremidade redutora da celulose (ALEXANDRIDIS *et al.*, 2018; MOHD *et al.*, 2017).

A celulose é regenerada a partir da solução de líquido iônico quando adicionado solventes próticos (anti-solvente), por exemplo água, etanol, acetona, gerando um grande volume de solução de líquido iônico. Diante disto, a reciclagem deste solvente orgânico deve ser considerada, pois, o descarte da solução pode causar problemas ambientais, devido à lenta degradação e toxicidade. Além disso, o líquido iônico pode ser reutilizado em novos ciclos de dissolução (TRINH *et al.*, 2013).

No entanto, foi observada a necessidade de aprofundar as investigações nessa temática, a fim de que o processo de utilização de líquidos iônicos na produção de fibras regeneradas seja otimizado e suas propriedades sustentáveis possam ser consideradas na aplicação industrial (MEKSI; MOUSSA, 2017; SAYYED; DESHMUKH; PINJARI, 2019).

Diante do exposto, este artigo tem como objetivo apresentar as propriedades das fibras de celulose regenerada obtidas através dos processos de viscose, liocel/ NMMO e liocel/ líquido iônico.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho de revisão de literatura foi desenvolvido a partir de artigos selecionados nas bases de dados Periódicos Capes, *Science Direct*, *Springer*, *Scopus* e *Google Scholar*. A pesquisa adotou o critério de inclusão e exclusão de palavras-chave, tais como: *viscose process*, *lyocell process NMMO* e *lyocell process ionic liquids*, de artigos completos, revisados por pares e publicados em um período de dez anos, compreendido entre 2012 e 2021.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a comparação das propriedades foram selecionados 50 artigos dos 4.282 estudos que envolvem as propriedades de fibras regeneradas, obtidas por meio dos

processos de viscose e liocel. A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta a evolução das investigações ao longo de 10 anos.

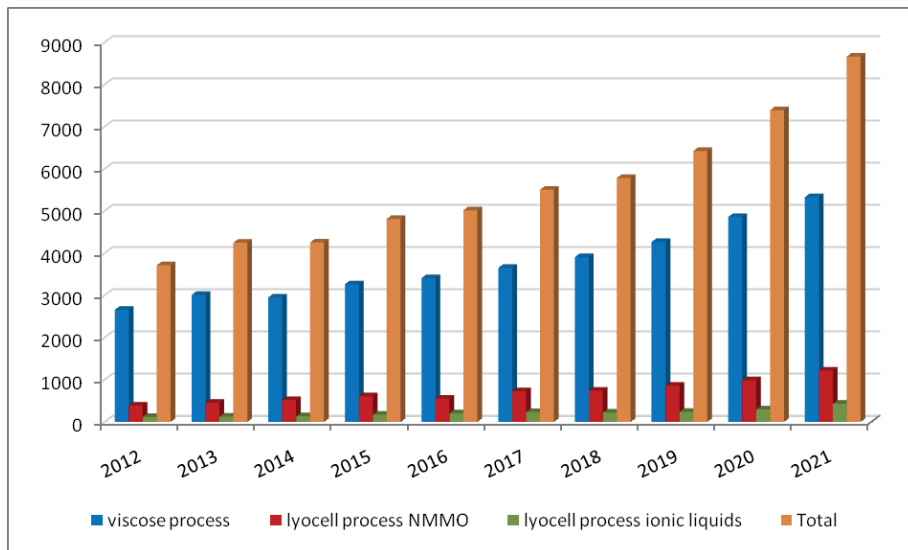


Figura 3. Número de publicações sobre as propriedades de fibras regeneradas obtidas pelo processo de viscose e liocel nos últimos 10 anos.

O número de estudos que envolve a palavra-chave “*lyocell process*” praticamente dobrou entre 2012 e 2021. Em análise da evolução das pesquisas é verificado um salto significativo para o termo “*viscose process*”, que passou de cerca de 2500 trabalhos em 2012 para mais de 5000 trabalhos em 2021. A inclusão do termo “*lyocell ionic liquids*” neste levantamento ressalta o menor número de estudos, no entanto, pode-se observar a evolução com o tempo. A análise deste aumento recente demonstra a atualidade do tema para expansão e aprofundamento das pesquisas. Os trabalhos levantados neste estudo de revisão discutem propriedades físicas e morfológicas das fibras regeneradas de celulose produzidas a partir de processos viscose e liocel.

Cristalinidade

A cristalinidade é uma das características que diferenciam as fibras regeneradas produzidas pelos processos de viscose, liocel à base de NMMO e liocel baseado em líquidos iônicos. Embora todas sejam originadas da celulose, diversos fatores ao longo da cadeia de produção resultam em diferenças nas propriedades mecânicas dessas fibras. A cristalinidade das fibras celulósicas varia de 20% a 60% (ASAADI *et al.*, 2018). A viscose, pertencente ao grupo da celulose tipo II, apresenta uma estrutura com baixa orientação e, conseqüentemente, menor valor de cristalinidade (MENDES; PRATES; EVTUGUIN, 2021). Já o processo de liocel, devido ao métodos de dissolução e extrusão utilizados, resulta

em fibras com maior peso molecular e maior cristalinidade, conferindo maior resistência à tração e menor elasticidade (JIANG, G. *et al.*, 2018). Fatores como baixa degradação da fibra durante o processo de fabricação, uma boa área de contato entre as fibrilas e grandes cadeias de celulose formando ligações de hidrogênio intermoleculares também contribuem para a resistência à tração superior do liocel (JIANG, X. *et al.*, 2020).

O processo de fiação úmido por jato seco utilizado na fabricação da fibra de liocel favorece a cristalização das cadeias celulósicas, resultando em um maior valor de cristalinidade em comparação com a viscose (JIANG, G. *et al.*, 2018). Nesse método, o aumento da velocidade durante a extração da fibra leva a uma maior orientação e cristalinidade (ZHANG, S. *et al.*, 2018). As fibras produzidas pelos métodos convencionais de liocel e líquido iônico possuem maior orientação e grau de polimerização, resultando em uma maior regularidade tanto no comprimento quanto na seção transversal (JIANG, G. *et al.*, 2018).

Resistência à tração

A resistência mecânica do liocel é superior à da viscose devido a vários fatores. O liocel não apresenta degradação significativa da celulose durante o processo de fiação, devido às ligações de hidrogênio intermoleculares fortes e à cadeia de celulose longa. Além disso, o liocel possui alta cristalinidade, contato firme entre as moléculas de celulose e alta orientação nas regiões cristalinas e amorfas, o que contribui para sua resistência à tração (JIANG, X. *et al.*, 2020). A solução de fiação do liocel também possui um grau de polimerização mais alto do que a solução de viscose, o que contribui para a maior resistência mecânica do liocel (ZHANG, S. *et al.*, 2018).

Outro fator relevante pode ser destacado na tecnologia de fiação, tendo em vista a relação entre a fiação úmido com jato a seco para o processo de liocel e a fiação a úmido para o processo de viscose. Neste último, não há tempo suficiente para a orientação da *dope* devido à ausência do estiramento antes do banho de coagulação (ZHANG, S. *et al.*, 2018), o que pode resultar em uma estrutura de fibra menos orientada e com menor resistência. Vale destacar também que a fibra de viscose perde cerca de metade de sua resistência à tração quando molhada (ZHANG, S. *et al.*, 2018).

Tenacidade

A tenacidade, que representa a capacidade de suportar uma carga de ruptura antes de se romper, é outro parâmetro importante para as fibras regeneradas. Estudos demonstram que a substituição de solventes derivatizantes por solventes mais sustentáveis no processo de dissolução da celulose tende a aumentar a resistência à ruptura das fibras regeneradas (BOTELHO, 2017; EL SEOUD *et al.*, 2020; JADHAV *et al.*, 2021; SAYYED;

DESHMUKH; PINJARI, 2019; YUAN *et al.*, 2018).

As fibras de viscosa, que passam por processos de mercerização, envelhecimento e xantação, apresentam menor tenacidade, variando na faixa de 22-26 cN/tex (EL SEOUD *et al.*, 2020). Em contraste, as fibras regeneradas produzidas pelo processo liocel convencional, com base em NMMO, apresentam uma tenacidade na faixa de 37,2-48,7 cN/tex (cN/tex) (BJÖRQUIST *et al.*, 2018). As fibras fiadas a partir do material celulósico produzido para esse estudo apresentaram características físicas excelentes, sobretudo a tenacidade. A resposta dessa propriedade sugere ainda que as fibras com alta resistência também são resistentes à umidade (ZHANG, H. *et al.*, 2021).

O processo do tipo liocel para a produção de fibras regeneradas baseado na dissolução direta da celulose em um líquido iônico demonstrou potencial capacidade de manter e melhorar a propriedade de resistência à ruptura. Nos ensaios de fiação da pesquisa de Elsayed *et al.* (2020) foram avaliadas as propriedades das fibras, dentre elas a tenacidade. Os resultados mostraram que as tenacidades das fibras regeneradas neste processo são equivalentes ou superiores às das fibras de liocel à base de NMMO, com valores que variam de 38,6-52,8 (cN/tex). A tenacidade da fibra tende a aumentar à medida que aumenta o seu contato com o líquido iônico no banho de coagulação, embora este resultado desfavoreça as características de alongamento. As alterações nas propriedades das fibras podem estar intrinsecamente relacionadas à cinética das etapas de coagulação e regeneração (GUIZANI *et al.*, 2021; NISHIYAMA *et al.*, 2019).

Alongamento

As fibras de celulose regeneradas fabricadas utilizando processos liocel e viscosa apresentam diferenças em sua resposta estrutural à deformação por alongamento, devido ao fato que o alongamento está relacionado com a cristalinidade e orientação cristalina das fibras de celulose (SHARMA *et al.*, 2019). O aumento da cristalinidade resulta em maior tenacidade e menor alongamento (MICHUD; HUMMEL; SIXTA, 2015). A fibra de liocel à base de NMMO apresenta menor alongamento devido à sua alta zona cristalina e estruturas uniformes, enquanto a fibra de viscosa tende a ter boa elasticidade (CHEN, 2015; ZHANG, S. *et al.*, 2018). As fibras de liocel produzidas a partir de líquidos iônicos mostram variações compatíveis com as demais fibras.

Secção transversal das fibras

A morfologia da seção transversal das fibras também varia de acordo com o processo de regeneração. A fibra de viscosa possui uma seção transversal semelhante a um círculo irregular com contorno serrilhado e superfície lisa, com um núcleo de alta cristalinidade cercado por uma camada de cristalinidade mais baixa. A seção transversal da viscosa pode ser alterada modificando a concentração de H_2SO_4 no banho de fiação (MANIAN;

PHAM; BECHTOLD, 2018; SHARMA *et al.*, 2019). Por outro lado, as fibras de liocel (NMMO e líquido iônico) possuem uma seção transversal circular e superfície longitudinal lisa e cilíndrica, proporcionando uma melhor sensação de caimento (CHEN, 2015). A morfologia da seção transversal é consequência do processo de regeneração.

Em resumo, as fibras regeneradas obtidas pelos processos de viscose, liocel à base de NMMO e liocel baseado em líquidos iônicos apresentam diferenças em suas características físicas e morfológicas, como cristalinidade, resistência à tração, tenacidade, alongamento e seção transversal. Cada processo possui vantagens e desvantagens, e a escolha do processo mais adequado depende das propriedades desejadas para a aplicação específica das fibras regeneradas. A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta as propriedades físicas relevantes para o desempenho mecânico dessas fibras.

Fibra	Tenacidade (cN/tex)	Alongamento (%)	Resistência à tração (cN/tex)	Densidade (g/cm ³)	Cristalinidade (%)	Referências
Viscose	¹ 22-26	² 17-25	³ 20-26	⁴ 1,52-1,54	⁵ 39	¹ El Seoud <i>et al.</i> (2020); ² Zhang, S. <i>et al.</i> (2018); ³ Hermanutz; Vocht; Buchmeiser, (2020); ⁴ Mendes; Prates; Evtuguin, (2021); ⁵ Jiang, X. <i>et al.</i> , (2020)
Liocel NMMO	⁶ 37,2-48,7	⁷ 10-17	⁸ 35-47	⁹ 1,50	¹⁰ 62	⁶ Björquist <i>et al.</i> (2018); ⁷ Mendes; Prates; Evtuguin, (2021); ⁸ Hermanutz; Vocht; Buchmeiser, (2020); ⁹ Mendes; Prates; Evtuguin, (2021); ¹⁰ Jiang, X. <i>et al.</i> , (2020)
Liocel LI	¹¹ 38,6-52,8	¹² 7,5-13,7	¹³ 12-35	¹⁴ 1,02-1,39	¹⁵ 41,98	¹¹ Elsayed <i>et al.</i> , (2020); ¹² Elsayed <i>et al.</i> , (2020); ¹³ Hermanutz; Vocht; Buchmeiser, (2020); ¹⁴ Lopes <i>et al.</i> , (2017); ¹⁵ Lee <i>et al.</i> , (2019)

Tabela 1. Propriedades de diferentes fibras regeneradas de celulose

4 | CONCLUSÃO

As fibras de celulose regenerada têm ganhado cada vez mais espaço em estudos como forma de obtenção de fibra que se assemelha em propriedades com aquelas apresentadas pelo algodão, considerado que o algodão se encontra em condições limites de produção para o atendimento das necessidades da indústria têxtil em termos de fibras

celulósicas.

Apesar de se tratar de um processo não muito recente, as fibras de celulose regenerada estão passando por um constante desenvolvimento visando a otimização das tecnologias de produção de fibras têxteis, com foco na qualidade e sustentabilidade ambiental. Atualmente, a fibra de viscose é a mais amplamente comercializada devido ao seu baixo custo operacional e qualidade moderada. No entanto, ela está longe de ser considerada uma opção ambientalmente correta.

Por outro lado, a fibra de liocel, baseada no processo de dissolução direta utilizando NMMO, destaca-se como uma alternativa mais sustentável. Esse processo permite a reciclagem do solvente, contribuindo para a redução do impacto ambiental. Além disso, as propriedades da fibra de liocel/NMMO são superiores às da viscose, tornando-a adequada para diversas aplicações têxteis. Apesar das vantagens, a instabilidade durante o processo e o alto custo ainda são desafios que impedem sua ampla adoção em comparação o processo da viscose.

Um sistema promissor é o processo de dissolução direta de liocel utilizando líquidos iônicos. Essa tecnologia é limpa, sustentável e possui um grande potencial de avanço industrial. A utilização de líquidos iônicos na produção da fibra de liocel proporciona propriedades únicas, além de reduzir significativamente o consumo de água e a geração de efluentes. Espera-se que em breve essa nova tecnologia esteja disponível no mercado, oferecendo fibras de celulose regenerada de alta qualidade e ambientalmente aceitáveis.

Esses avanços na produção de fibras de celulose regenerada refletem um compromisso crescente com a sustentabilidade e a busca por alternativas mais eco-friendly na indústria têxtil. À medida que as tecnologias continuam evoluindo e se aprimorando, é esperado um futuro promissor para as fibras de celulose regenerada, oferecendo uma combinação ideal entre qualidade, desempenho e responsabilidade ambiental.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES - Código Financeiro 001), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico e à Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de Santa Catarina (FAPESC) pela concessão de bolsa de estudos e suporte financeiro (Processo nº 2021TR000327).

REFERÊNCIAS

ACHARYA, Sanjit; HU, Yang; ABIDI, Nouredine. Cellulose dissolution in ionic liquid under mild conditions: Effect of hydrolysis and temperature. **Fibers**, [s. l.], v. 9, n. 1, p. 1–14, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/fib9010005>

ALEXANDRA FREITAS; AND RUTH MATHEWS. Viscose fibres production: an assessment of sustainability issues. **Current History**, [s. l.], v. 116, n. 792, p. 288–288, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1525/curh.2017.116.792.288>

ALEXANDRIDIS, Paschalis *et al.* Solvent processing of cellulose for effective bioresource utilization. **Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry**, [s. l.], v. 14, p. 40–52, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2018.05.008>

ASAADI, Shirin *et al.* Structural analysis of Ioncell-F fibres from birch wood. **Carbohydrate Polymers**, [s. l.], v. 181, p. 893–901, 2018. Disponível em: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.11.062>

BJÖRQUIST, Stina *et al.* Textile qualities of regenerated cellulose fibers from cotton waste pulp. **Textile Research Journal**, London, England, v. 88, n. 21, p. 2485–2492, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/0040517517723021>

BOTELHO, M H C. **Resistência dos materiais: para entender e gostar**. [S. l.]: BLUCHER, 2017.

CHEN, J. Synthetic Textile Fibers. In: UNIVERSITY OF TEXAS AT AUSTIN (org.). **Textiles and Fashion**. Austin, TX, USA: Elsevier, 2015. p. 79–95. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-1-84569-931-4.00004-0>

CHERIF, Chokri. **Textile Materials for Lightweight Constructions**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-662-46341-3>

CIECHAŃSKA, D.; WESOŁOWSKA, E.; WAWRO, D. An introduction to cellulosic fibres. In: HANDBOOK OF TEXTILE FIBRE STRUCTURE. [S. l.]: Elsevier, 2009. v. 2, p. 3–61. Disponível em: <https://doi.org/10.1533/9781845697310.1.3>

DISSANAYAKE, Niwanthi *et al.* Substituent effects on cellulose dissolution in imidazolium-based ionic liquids. **Cellulose**, [s. l.], v. 25, n. 12, p. 6887–6900, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10570-018-2055-1>

EL SEOUD, Omar A *et al.* Cellulose Regeneration and Chemical Recycling: Closing the “Cellulose Gap” Using Environmentally Benign Solvents. **Macromolecular Materials and Engineering**, [s. l.], v. 305, n. 4, p. 1900832, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/mame.201900832>

ELMOGAHZY, Y. E. Fibers. In: ELMOGAHZY, Yehia E B T - Engineering Textiles (Second Edition) (org.). **Engineering Textiles**. [S. l.]: Woodhead Publishing, 2020. p. 191–222. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-102488-1.00008-3>

ELSAYED, Sherif *et al.* Recycling of Superbase-Based Ionic Liquid Solvents for the Production of Textile-Grade Regenerated Cellulose Fibers in the Lyocell Process. **ACS Sustainable Chemistry and Engineering**, [s. l.], v. 8, n. 37, p. 14217–14227, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1021/ACSSUSCHEMENG.0C05330/SUPPL_FILE/SC0C05330_SI_001.PDF. Acesso em: 4 dez. 2021.

GUIZANI, C *et al.* Air gap spinning of a cellulose solution in [DBNH][OAc] ionic liquid with a novel vertically arranged spinning bath to simulate a closed loop operation in the Ioncell® process. **Journal of Applied Polymer Science**, Department of Bioproducts and Biosystems, Aalto University, Espoo, Finland, v. 138, n. 5, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/app.49787>

HERMANUTZ, Frank *et al.* Processing of Cellulose Using Ionic Liquids. **Macromolecular Materials and Engineering**, Weinheim, v. 304, n. 2, p. 1800450, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/mame.201800450>

JADHAV, Sachin *et al.* Modified Lyocell process to improve dissolution of cellulosic pulp and pulp blends in NMMO solvent. **Cellulose**, [s. l.], v. 28, n. 2, p. 973–990, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10570-020-03580-1>

JIANG, Guansen *et al.* Structure and properties of regenerated cellulose fibers from different technology processes. **Carbohydrate Polymers**, [s. l.], v. 87, n. 3, p. 2012–2018, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.10.022>

JIANG, Xiaoya *et al.* A review on raw materials, commercial production and properties of lyocell fiber. **Journal of Bioresources and Bioproducts**, [s. l.], v. 5, n. 1, p. 16–25, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jobab.2020.03.002>

KARAPINAR, Emre; SARIISIK, Merih Ones. Scouring of cotton with cellulases, pectinases and proteases. **Fibres and Textiles in Eastern Europe**, [s. l.], v. 12, n. 3, p. 79–82, 2004.

KARMAKAR, S. R. Chapter 15 Application of biotechnology in the pre-treatment processes of textiles. In: ELSEVIER BV (org.). **Textile Science and Technology**. [S. l.: s. n.], 1999. p. 418–440. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0920-4083\(99\)80016-4](https://doi.org/10.1016/S0920-4083(99)80016-4)

MANIAN, Avinash P; PHAM, Tung; BECHTOLD, Thomas. 10 - Regenerated cellulosic fibers. In: BUNSELL, Anthony R B T - Handbook of Properties of Textile and Technical Fibres (Second Edition) (org.). **The Textile Institute Book Series**. [S. l.]: Woodhead Publishing, 2018. p. 329–343. Disponível em: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101272-7.00010-9>

MEKSI, Nizar; MOUSSA, Ali. A review of progress in the ecological application of ionic liquids in textile processes. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 161, p. 105–126, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.05.066>

MENDES, Inês S.F.; PRATES, António; EVTUGUIN, Dmitry V. Production of rayon fibres from cellulosic pulps: State of the art and current developments. **Carbohydrate Polymers**, [s. l.], v. 273, p. 118466, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118466>

MICHUD, Anne; HUMMEL, Michael; SIXTA, Herbert. Influence of molar mass distribution on the final properties of fibers regenerated from cellulose dissolved in ionic liquid by dry-jet wet spinning. **Polymer**, [s. l.], v. 75, p. 1–9, 2015. Disponível em: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.polymer.2015.08.017>

MOHD, N. *et al.* Dissolution of cellulose in ionic liquid: A review. **AIP Conference Proceedings**, [s. l.], v. 1809, n. February 2017, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1063/1.4975450>

NISHIYAMA, Yoshiharu *et al.* Water-induced crystallization and nano-scale spinodal decomposition of cellulose in NMMO and ionic liquid dope. **Cellulose**, [s. l.], v. 26, n. 1, p. 281–289, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/S10570-018-2148-X/FULLTEXT.HTML>

PINKERT, André *et al.* Ionic liquids and their interaction with cellulose. **Chemical Reviews**, [s. l.], v. 109, n. 12, p. 6712–6728, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/cr9001947>

QIN, Yimin. A brief description of textile fibers. **Medical Textile Materials**, [s. l.], p. 23–42, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100618-4.00003-0>

RANA, Sohel *et al.* Regenerated Cellulosic Fibers and Their Implications on Sustainability BT - Roadmap to Sustainable Textiles and Clothing: Eco-friendly Raw Materials, Technologies, and Processing Methods. *In*: MUTHU, Subramanian Senthilkannan (org.). Singapore: Springer Singapore, 2014. p. 239–276. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-981-287-065-0_8

S. GORDON; Y. L. HSIEH. **Cotton: Science and technology**. Cambridge, England: Woodhead Publishing, 2007.

SAYYED, Anwar J.; DESHMUKH, Niteen A.; PINJARI, Dipak V. A critical review of manufacturing processes used in regenerated cellulosic fibres: viscose, cellulose acetate, cuprammonium, LiCl/DMAc, ionic liquids, and NMMO based lyocell. **Cellulose**, [s. l.], v. 26, n. 5, p. 2913–2940, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10570-019-02318-y>

SHABBIR, Mohd; MOHAMMAD, Faqeer. **Sustainable production of regenerated cellulosic fibres**. [S. l.]: Elsevier Ltd, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102041-8.00007-X>

SHARMA, Aakash *et al.* Structure–property relations in regenerated cellulose fibers: comparison of fibers manufactured using viscose and lyocell processes. **Cellulose**, [s. l.], v. 26, n. 6, p. 3655–3669, 2019. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10570-019-02352-w>

SHUHUA, Wang *et al.* Recycling of cotton fibers separated from the waste blend fabric. **Journal of Natural Fibers**, [s. l.], v. 17, n. 4, p. 520–531, 2020.

SINGH, Poonam *et al.* From Cellulose Dissolution and Regeneration to Added Value Applications — Synergism Between Molecular Understanding and Material Development. *In*: INTECHOPEN (org.). **Cellulose - Fundamental Aspects and Current Trends**. Londres, Reino Unido: InTech, 2015. p. 1–44. Disponível em: <https://doi.org/10.5772/61402>

TRINH, Ly Thi Phi *et al.* Recovery of an ionic liquid [BMIM]Cl from a hydrolysate of lignocellulosic biomass using electrodialysis. **Separation and Purification Technology**, [s. l.], v. 120, p. 86–91, 2013. Disponível em: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.seppur.2013.09.025>

VERMA, Chandrabhan *et al.* Dissolution of cellulose in ionic liquids and their mixed cosolvents: A review. **Sustainable Chemistry and Pharmacy**, [s. l.], v. 13, n. April, p. 100162, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scp.2019.100162>

YUAN, Wei *et al.* Cellulose acetate fibers with improved mechanical strength prepared with aqueous NMMO as solvent. **Cellulose**, [s. l.], v. 25, n. 11, p. 6395–6404, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10570-018-2032-8>

ZHANG, Huihui *et al.* Influence of cross-section shape on structure and properties of Lyocell fibers. **Cellulose**, [s. l.], v. 28, n. 2, p. 1191–1201, 2021.

ZHANG, Shaokai *et al.* Regenerated cellulose by the lyocell process, a brief review of the process and properties. **BioResources**, [s. l.], v. 13, n. 2, p. 1–16, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.15376/biores.13.2.Zhang>