



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS BLUMENAU
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA TÊXTIL

Leila Araújo Falani

**Utilização das ferramentas da Produção Mais Limpa e Tecnologias da Indústria
4.0 em um processo de pré-alveamento de algodão**

Blumenau
2022

Leila Araújo Falani

**Utilização das ferramentas da Produção Mais Limpa e Tecnologias da Indústria
4.0 em um processo de pré-alveijamento de algodão**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Têxtil da Universidade Federal de Santa Catarina para obtenção do título de Mestre em Engenharia Têxtil.

Orientador (a): Prof^a. Dr^a. Catia Rosana Lange de Aguiar

Coorientador (a): Prof^a. Dr^a. Ana Julia Dal Forno

Blumenau

2022

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

Falani, Leila Araújo
Utilização das ferramentas da Produção Mais Limpa e
Tecnologias da Indústria 4.0 em um processo de pré
alvejamento de algodão / Leila Araújo Falani ; orientador,
Catia Rosana Lange de Aguiar, coorientador, Ana Julia Dal
Porno, 2022.
122 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Campus Blumenau, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Têxtil, Blumenau, 2022.

Inclui referências.

1. Engenharia Têxtil. 2. Pré-tratamento de algodão. 3.
Indústria 4.0. 4. Produção Mais Limpa. 5. Enzimas. I.
Aguiar, Catia Rosana Lange de. II. Dal Porno, Ana Julia.
III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Têxtil. IV. Título.

Leila Araújo Falani

Utilização das ferramentas da Produção Mais Limpa e Tecnologias da Indústria 4.0 em um processo de pré-alvejamento de algodão

O presente trabalho em nível de Mestrado foi avaliado e aprovado, em 20 de julho de 2022, pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof.(a) Liane Mahlmann Kipper, Dr.(a)
Universidade de Santa Cruz do Sul

Prof.(a) Rita de Cássia Siqueira Curto Valle, Dr.(a)
Universidade Federal do Rio Grande do Norte

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

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Prof.(a) Catia Rosana Lange de Aguiar, Dr.(a)
Orientador(a)

Blumenau, 2022

Este trabalho é dedicado à minha família pelo apoio e incentivo
em todos os momentos de minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me proporcionar saúde e força para vencer mais esta etapa na minha vida.

À minha família por todo amor, inspiração e compreensão nos momentos em que necessitei me ausentar para a realização deste trabalho.

À orientadora Catia Rosana Lange de Aguiar e coorientadora Ana Julia Dal Forno pela paciência, dedicação, estímulo e compreensão durante o mestrado.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Têxtil da Universidade Federal de Santa Catarina pela contribuição na minha formação, em especial ao professor Fernando Ribeiro Oliveira (in memoriam) por todo o incentivo e companheirismo.

Aos funcionários e servidores UFSC Blumenau pela atenção e suporte, principalmente à Nathalia Cirne Diniz Cruz.

Ao bolsista Leonardo José Costa do Nascimento e Labcontrol da Universidade Federal do Rio Grande do Norte na realização dos ensaios físicos dos substratos presentes na pesquisa, o agradecimento se estende aos professores da instituição, Iêda Letícia de Souza Ferreira e José Heriberto Oliveira do Nascimento.

Às professoras Liane Mählmann Kipper, Rita de Cassia Siqueira Curto Valle e Selene Maria Arruda Guelli Ulson de Souza pelas relevantes contribuições em minha pesquisa.

Às empresas Werken Química e Akmey pela disponibilização do material desta pesquisa e às quatro indústrias têxteis que se disponibilizaram a participar do estudo de caso.

Aos colegas do mestrado que se tornaram amigos, Ana Paula Hiller, Cintia Kopsch Imme, José Marcelo Honório Ferreira Barros, Jully Schmidt Pinto Filippi e Letícia Fantinati Guimarães, pelo apoio emocional, companhia e contribuições na minha formação.

Ao meu gestor Odair Lopes do Prado pela compressão ao proporcionar flexibilidade para a realização da minha pesquisa em laboratório e às minhas colegas de trabalho Paula Christina Mattos dos Santos e Yara Pereira Santos pelo apoio.

À Capes pelo incentivo financeiro.

E a todos que, embora não citados, de alguma forma contribuíram com o desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

O setor têxtil e de confecção desempenham um papel de grande importância na história manufatureira mundial, antes mesmo do período industrial, e vem se propagando ao longo do tempo. Com o aumento expansivo de produção de artigos têxteis, elevou-se o consumo de produtos poluentes, água e energia, principalmente no setor de beneficiamento, em que possui um dos maiores tempos de processo da cadeia têxtil. Diante disso, práticas sustentáveis, como as da Produção Mais Limpa, vêm sendo aplicadas na indústria têxtil, buscando minimizar os impactos ambientais ocasionados pelos processos. Arelado a isso, as tecnologias da Indústria 4.0 vêm sendo (ainda que pouco) exploradas para auxiliar no controle de processos em escala industrial. Face ao exposto, este trabalho possui o objetivo de desenvolver uma proposta de processo de pré-alveamento de algodão em baixa temperatura, considerando a produção mais limpa e indústria 4.0. Para isso, foi realizado um estudo de casos múltiplos em quatro empresas têxteis verticalizadas localizadas no estado de Santa Catarina, objetivando diagnosticar o processo atual de pré-alveamento convencional utilizado em cada indústria, identificar as práticas de produção mais limpa adotadas pelas empresas e quais tecnologias da indústria 4.0 elas já utilizam, além dos seus principais desafios para implantação. Como resultado, tem-se que todas as empresas estudadas, preocupam-se em utilizar a maioria das práticas sustentáveis nas suas empresas e seguem as normas regulamentadoras e as leis ambientais; apenas 50% das empresas utilizam energias renováveis; nenhum dos casos informou o reuso da água no processo de pré-alveamento; os resíduos gerados não são reinseridos no processo e em sua maioria são vendidos. Com exceção da Empresa D, todos os casos realizaram modificação no produto ou no processo, e ao comprar a matéria-prima, levam em consideração a geração de resíduos. Ainda com base nos resultados do questionário, as empresas A e B são as que mais utilizam as tecnologias da indústria 4.0, ambas possuem seis das nove tecnologias. As tecnologias presentes em todas as empresas são segurança cibernética, integração de sistemas, big data e IoT, sendo a segurança cibernética a mais usada. Investimentos em novas tecnologias, foram elencados como o maior desafio para implantação da Indústria 4.0 nas empresas. No processo de pré-alveamento, todas as empresas possuem cozinha automatizada, controladores na máquina e controle automático de relação de banho, mas não possuem recursos automatizados para controle de pH e reutilização de água e leitura da cor do banho, para análise de possível reaproveitamento em processos posteriores. Além disso, todas as empresas estudadas utilizam produtos químicos poluentes, como peróxido de hidrogênio e soda cáustica, com processos de elevado tempo à em média de 95°C de temperatura. Diante das características encontradas no estudo de casos múltiplos, considerando as diretrizes da produção mais limpa e tecnologias da indústria 4.0, para um melhor controle do processo, foi replicado o processo convencional adotado pelas empresas, para fins comparativos. Dessa forma, o novo processo utilizando um complexo enzimático em um único banho foi possibilitou a redução de 10,5% de temperatura, 25% dos químicos no processo, o peróxido de hidrogênio e soda cáustica, além da economia da água através da redução de 4 banhos no processo. Combinado ao processo enzimático, foi desenvolvido o processo de pré-alveamento com o uso das práticas da Produção Mais Limpa (P+L) e tecnologias da I4.0 para aumento da qualidade e rastreabilidade do processo afim de substituir o convencional utilizado nas indústrias.

Palavras-chave: Pré-tratamento de algodão. Indústria Têxtil. Produção Mais Limpa. Indústria 4.0. Enzimas.

ABSTRACT

The textile and apparel sector plays a very important role in the world's manufacturing history, even before the industrial period, and has been propagating over time. With the expansive increase in the production of textile articles, the consumption of polluting products, water and energy has increased, especially in the processing sector, which has one of the longest process times in the textile chain. Therefore, sustainable practices, such as Cleaner Production, have been applied in the textile industry, seeking to minimize the environmental impacts caused by the processes. Linked to this, the technologies of Industry 4.0 have been (albeit little) explored to assist in the control of processes on an industrial scale. In view of the above, this work aims to develop a proposal for a low temperature cotton pre-bleaching process, considering cleaner production and industry 4.0. For this, a multiple case study was carried out in four verticalized textile companies located in the state of Santa Catarina, aiming to diagnose the current conventional pre-bleaching process used in each industry, identify the cleaner production practices adopted by the companies and which technologies of industry 4.0 they already use, in addition to their main challenges for implementation. As a result, all the companies studied are concerned with using most sustainable practices in their companies and follow regulatory standards and environmental laws; only 50% of companies use renewable energy; none of the cases reported the reuse of water in the pre-bleaching process; the waste generated is not reinserted in the process and is mostly sold. With the exception of Company D, all cases made changes to the product or process, and when purchasing the raw material, they took into account the generation of waste. Still based on the results of the questionnaire, companies A and B are the ones that most use Industry 4.0 technologies, both have six of the nine technologies. The technologies present in all companies are cybersecurity, systems integration, big data and IoT, with cybersecurity being the most used. Investments in new technologies were listed as the biggest challenge for the implementation of Industry 4.0 in companies. In the pre-bleaching process, all companies have an automated kitchen, machine controllers and automatic bath ratio control, but they do not have automated resources for pH control and water reuse and bath color reading, for analysis of possible reuse in later processes. In addition, all the companies studied use polluting chemical products, such as hydrogen peroxide and caustic soda, with long processes at an average temperature of 95°C. Given the characteristics found in the multiple case study, considering the guidelines of cleaner production and industry 4.0 technologies, for better process control, the conventional process adopted by companies was replicated for comparative purposes. In this way, the new process using an enzymatic complex in a single bath made it possible to reduce the temperature by 10.5%, 25% of the chemicals in the process, hydrogen peroxide and caustic soda, in addition to saving water through the reduction of 4 baths in the process. Combined with the enzymatic process, the pre-bleaching process was developed using P+L practices and I4.0 technologies to increase the quality and traceability of the process in order to replace the conventional one used in industries.

Keywords: Pre-treatment of cotton. Textile Industry. Clean Production. Industry 4.0. Enzymes.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Tecnologias da indústria 4.0	21
Figura 2– Pilares para o desenvolvimento sustentável	26
Figura 3– Diagrama da cadeia têxtil.....	30
Figura 4 - Classificação do beneficiamento têxtil	34
Figura 5 - Fluxograma da metodologia.....	42
Figura 6 – Procedimentos para condução do estudo de caso	43
Figura 7 - Objetivos das questões da etapa indústria 4.0	47
Figura 8 – Processo de pré-alveamento convencional.....	50
Figura 9 - PAE I – Pré-alveamento enzimático com banhos separados.....	52
Figura 10 - PAE II – Pré-alveamento enzimático com banho único.....	52
Figura 11 – Dinamômetro utilizado para o ensaio de tração	56
Figura 12 - Utilização de energias renováveis.....	61
Figura 13 - Percentual de reutilização de água no processo de pré-alveamento	62
Figura 14 - Análise da geração de resíduos na compra da matéria-prima.....	63
Figura 15 - Ótica das empresas em relação as modificações no produto ou processo	63
Figura 16 - Análise de reciclagem da sobra de material dentro da empresa	64
Figura 17 - Análise sobre reinserção do resíduo no processo produtivo.....	65
Figura 18 - Percentual de empresas que realizam manutenção preventiva nos equipamentos.....	66
Figura 19 - Análise de modificações no produto final das empresas	66
Figura 20 - Nível de utilização de ciber segurança.....	68
Figura 21 - Nível de utilização de Integração de sistemas	68
Figura 22 - Nível de utilização da Internet das coisas	69
Figura 23 - Nível de utilização dos serviços em nuvens.....	70
Figura 24 - Empresas que possuem recursos automáticos para a recuperação de água	75
Figura 25 - Comparativo da perda de massa da biopurga com desvio padrão	76
Figura 26 - Comparativo da capilaridade da biopurga com desvio padrão	77
Figura 27- Comparativo do grau de branco da biopurga com desvio padrão.....	78
Figura 28 - Comparativo da perda de massa com variação de temperatura.....	80
Figura 29 - Comparativo de hidrofildade com variação de temperatura	81

Figura 30 - Comparativo do grau de branco com variação de temperatura	81
Figura 31 - Comparativo da resistência em função da variação da temperatura	82
Figura 32 - Comparativo do alongamento em função da variação da temperatura...	83
Figura 33 - Comparativo da perda de massa PAE I e II	84
Figura 34 - Comparativo da hidrofiliidade PAE I e II	84
Figura 35 – Comparativo do grau de alvura de PAE I e II	85
Figura 36 - Comparativo da resistência PAE I e II.....	85
Figura 37 - Comparativo do alongamento PAE I e II	86
Figura 38 - Comparativo da perda de massa em diferentes concentrações do H ₂ O ₂ e de NaOH	87
Figura 39 - Comparativo da hidrofiliidade em diferentes concentrações do H ₂ O ₂ e de NaOH	88
Figura 40 - Comparativo do grau de alvura em diferentes concentrações do H ₂ O ₂ e de NaOH	88
Figura 41 - Comparativo da resistência em diferentes concentrações do H ₂ O ₂ e de NaOH	89
Figura 42 - Comparativo do alongamento em diferentes concentrações do H ₂ O ₂ e de NaOH	89
Figura 43 - Propostas das dimensões da P+L e tecnologias da I4.0 em cada etapa do processo de pré-alvejamento.....	94

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Dimensões internas e externas da P+L	57
Quadro 2– Tecnologias mais relevantes de acordo com as empresas estudadas....	71
Quadro 3 – Desafios selecionados pelas empresas	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição química da fibra de algodão	32
Tabela 2 - Enzimas usadas em processamentos têxteis	36
Tabela 3 – Amostra das empresas pesquisadas.....	45
Tabela 4 - Atores da pesquisa.....	45
Tabela 5 – Principais reagentes químicos utilizados no presente trabalho	49
Tabela 6 – Equipamentos utilizados.....	49
Tabela 7 - Parâmetros de tempo e concentração para biopurga	51
Tabela 8 - Dados da formulação e processos de pré-alveamento das empresas	72
Tabela 9 - Resumo das caracterizações dos processos com diferentes temperaturas e desvio padrão.....	79
Tabela 10 – Comparativo da caracterização nos processos PAE I e PAE II e os desvios padrão	83
Tabela 11 - Comparativo dos processos com variação da concentração dos químicos e desvio padrão	87

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3D	Tridimensional
ABIT	Associação Brasileira da Indústria Têxtil e Confecção
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRAPA	Associação Brasileira dos Produtores de Algodão
BEN	Balanço Energético Nacional
CNAE	Classificação Nacional das Atividades Econômicas
CNI	Confederação Nacional da Indústria
CPS	Cyber-Physical Systems (Sistemas Ciber Físicos)
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
FIEG	Federação das Indústrias de Goiás
FIESC	Federação das Indústrias do Estado de Santa Catarina
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
I4.0	Indústria 4.0
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IdC/IoT	Internet das Coisas
LABCT	Laboratório de Cuidados Têxteis
LABCTEX	Laboratório Físico Têxtil (Fibras & Controle de Qualidade)
LABENE	Laboratório de Beneficiamento
P+L	Produção Mais Limpa
PAE	Pré-Alvejamento Enzimático
pH	Potencial Hidrogênico
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
TOC	Carbono Orgânico Total
UNIDO	Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial
VBPI	Valor Bruto da Produção Industrial

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	OBJETIVO	18
1.1.1	Objetivo geral	18
1.1.2	Objetivos específicos	18
2	REVISÃO DA LITERATURA	19
2.1	INDÚSTRIA 4.0.....	19
2.1.1	Tecnologias da Indústria 4.0	20
2.1.2	Evolução do setor têxtil até a Indústria 4.0	23
2.2	DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL	25
2.2.1	Produção Mais Limpa (P+L)	26
2.3	SETOR TÊXTIL.....	27
2.3.1	Cadeia produtiva têxtil	29
2.3.1.1	<i>Fibras têxteis</i>	31
	2.3.1.1.1 Fibras de algodão	31
2.4	BENEFICIAMENTO TÊXTIL	33
2.4.1	Processos de pré-tratamento	35
2.4.2	Pré -alvejamento de algodão	37
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	41
3.1	ESTUDO DE CASOS MÚLTIPLOS	42
3.1.1	Seleção dos casos e dos atores da pesquisa	44
3.1.2	Coleta de dados	46
3.2	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	48
3.2.1	Materiais	48
3.2.2	Pré-tratamento convencional	49
3.2.3	Pré-tratamentos enzimáticos	50
3.2.4	Avaliação da decomposição do peróxido	53
3.2.5	Caracterização da malha	54
3.2.5.1	<i>Caracterização da malha</i>	54
3.2.5.2	<i>Avaliação de alvura</i>	54
3.2.5.3	<i>Perda de massa das amostras pré-alvejadas</i>	55
3.2.5.4	<i>Resistência mecânica</i>	55

3.2.6	Proposta do PAE com a utilização das tecnologias da I4.0 e diretrizes da P+L	56
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	58
4.1	ESTUDO DE CASOS MÚLTIPLOS	58
4.1.1	Produção Mais Limpa	58
4.1.1.1	<i>Empresa e Meio Ambiente</i>	59
4.1.1.2	<i>Energia</i>	59
4.1.1.3	<i>Água</i>	61
4.1.1.4	<i>Matéria-prima</i>	62
4.1.1.5	<i>Destinação dos resíduos</i>	63
4.1.1.6	<i>Processo Produtivo</i>	65
4.1.2	Indústria 4.0	67
4.1.2.1	<i>Nível de utilização das tecnologias</i>	67
4.1.2.2	<i>Nível de relevância das tecnologias</i>	70
4.1.2.3	<i>Desafios encontrados</i>	71
4.1.3	Beneficiamento	72
4.2	CONSOLIDAÇÃO DO PRÉ-TRATAMENTO ENZIMÁTICO	75
4.2.1	Biopurga	75
4.2.2	Determinação da temperatura e tipo do processo	78
4.2.3	Definição da concentração dos químicos	86
4.2.4	Comparação entre os bioprocessos e o processo convencional	90
4.3	PROPOSTA DE PRÉ-TRATAMENTO ENZIMÁTICO COM USO DE TECNOLOGIAS DA I4.0 E FERRAMENTAS DA P+L	91
5	CONCLUSÃO	95
	REFERÊNCIAS	97
	APÊNDICE A – PROTOCOLO DO ESTUDO DE CASO	108
	APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO INSTRUMENTO DO ESTUDO DE CASOS MÚLTIPLOS	110

1 INTRODUÇÃO

O setor têxtil e de confecção teve um importante papel na história manufatureira mundial, antes mesmo do período industrial, onde os produtos eram fabricados artesanalmente. Porém, com o decorrer das revoluções industriais, o setor passou por transformações na configuração do modelo de negócio, substituindo operações de trabalho manual pelo fabril (DUARTE, 2017).

Fujita e Jorente (2015) afirmam que a sociedade desenvolveu uma infraestrutura produtiva que se transformou em parques industriais para atender demandas de larga escala no mercado interno e externo. Esta infraestrutura constitui uma rede de infrasegmentos produtivos independentes, tais como fiação, tecelagem, malharia, beneficiamento e confecção, constituindo a cadeia têxtil.

O setor de beneficiamento desempenha um papel de agregar valor e resposta a diversas demandas da indústria têxtil. Este processo é um gargalo conhecido entre os processos de toda a indústria têxtil, devido ao seu longo tempo de processo (KU *et al.*, 2020). Além de ser responsável pelo uso de elevados volumes de água (CHEN *et al.*, 2017), descarte de substâncias tóxicas no solo, ar e na água (SAN *et al.*, 2018) e utilização de produtos químicos, tais como corantes, metais pesados, ácidos, soda cáustica e carbonato de sódio.

Segundo He *et al.* (2021), Sandin e Peters (2018), a demanda global por produtos têxteis está aumentando constantemente e tende à continuar, devido ao crescimento populacional e desenvolvimento econômico. Entretanto, as empresas têm demonstrado preocupações crescentes em relação ao impacto ambiental de suas atividades fabris (KUMAR *et al.*, 2021). Assim, objetivando reduzir os impactos ambientais, diversas áreas tem aplicado a Produção Mais Limpa (P+L), principalmente no setor têxtil (ORTOLANO *et al.*, 2014; OZTURK *et al.*, 2016; SILVA *et al.*, 2018; NETO *et al.*, 2019).

Diante de uma maior conscientização e regulamentação de normas ambientais, os processos biotecnológicos com utilização de enzimas, são considerados uma boa alternativa de P+L, visando substituir processos químicos convencionais (MOJSOV, 2019; REIS, 2016), especialmente aqueles que utilizam grandes quantidades de água, energia e produtos químicos poluentes (MOJSOV, 2016), melhorar a qualidade estética (HANNAN *et al.*, 2019) e reduzir tempo e custos de processos (BRISTI *et al.*, 2019; SAE-BE *et al.*, 2007).

Segundo Kumar *et al.* (2021), a substituição de processos químicos convencionais na preparação de substrato de algodão por tratamentos enzimáticos, podem economizar energia, por operarem em temperaturas mais baixas e que o efeito dos tratamentos enzimáticos limpa e trata as fibras mais facilmente.

Visando o futuro dos produtos têxteis, Bruno (2016) afirma que a aplicação de biotecnologias e criação de novos materiais aumentará a intensidade tecnológica necessária para atender demandas de consumo. O autor ainda sugere uma tendência no segmento têxtil com o uso de mini fábricas automatizadas, modulares, móveis e sustentáveis.

Para auxiliar no aumento da intensidade tecnológica, as indústrias estão utilizando conceitos da Indústria 4.0 (I4.0) e aplicando suas tecnologias nos processos produtivos para proporcionar inovação para suas empresas e torná-las mais competitivas.

A indústria têxtil está gerando demandas crescentes no mercado global e as tecnologias modernas beneficiaram a indústria têxtil com a automatização de processos longos e complexos, resultando em melhoria na velocidade, qualidade e custo da fabricação de têxteis (SCHWARZ; KOVAČEVIĆ, 2017). Falani *et al.* (2019), ressaltam que os avanços tecnológicos são um dos fatores estratégicos para gerar mudanças que contribuem para o aprimoramento de técnicas, ferramentas e utilização de novos insumos.

O conceito de Indústria 4.0 tem por objetivo auxiliar as empresas a preservar o meio ambiente, reduzir consumo de água, energia, geração de resíduos e minimizar gastos durante a produção (MOKTADIR *et al.*, 2018). Este conceito, pode afetar positivamente a manufatura ambientalmente sustentável, com o desenvolvimento de produtos ecológicos, processos de manufatura e gerenciamento da cadeia de suprimentos (JABBOUR *et al.*, 2018).

Segundo a Confederação Nacional da Indústria - CNI (2018b), o avanço de outros países rumo à Indústria 4.0 cria um duplo desafio para o Brasil. Além de buscar a incorporação e o desenvolvimento dessas tecnologias, é preciso fazê-lo com agilidade, a fim de evitar que aumente o *gap* de competitividade com seus principais competidores.

Fujita e Jorente (2015) ressaltam que é necessário investimento em inovação tecnológica e na geração de novos conhecimentos, mediante desenvolvimento científico realizado no incentivo às pesquisas compartilhadas com a indústria têxtil.

Além do que, as empresas que visam à sustentabilidade, precisam considerar a contribuição das tecnologias da Indústria 4.0 em suas atividades (BAI *et al.*, 2020). Os autores ressaltam ainda que há uma lacuna de informações a respeito do tema na literatura.

Diante do exposto, a presente pesquisa pretende responder ao seguinte questionamento: como as empresas têxteis podem inserir conceitos da Produção Mais Limpa e Indústria 4.0 em seu processo de pré-alveamento de algodão?

1.1 OBJETIVO

Para responder ao questionamento da pesquisa, foram desenvolvidos o objetivo geral e os específicos.

1.1.1 Objetivo geral

Desenvolver uma proposta de processo de pré-alveamento de algodão com enzimas em baixa temperatura, redução do consumo de água e produtos químicos agressivos, a partir do uso da filosofia Produção Mais Limpa e tecnologias da indústria 4.0, para um melhor controle do processo.

1.1.2 Objetivos específicos

- Conhecer quais são as enzimas utilizadas no processo de pré-alveamento de algodão e os seus benefícios;
- Identificar e caracterizar o processo de beneficiamento das indústrias têxteis quanto à utilização de práticas da P+L e tecnologias da Indústria 4.0 por meio do estudo de casos múltiplos;
- Quantificar e comparar os resultados das malhas pré-tratadas enzimaticamente com o processo de pré-alveamento convencional, por meio de caracterização dos substratos;
- Propor a aplicação de ferramentas de I4.0 e P+L interligadas ao processo de pré-alveamento da fibra de algodão.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo apresenta uma revisão da literatura sobre a Indústria 4.0, Produção Mais Limpa, o cenário em que se encontra a indústria têxtil, aprofundando sobre os processos de pré-alvejamento de algodão e as enzimas utilizadas neste processo.

2.1 INDÚSTRIA 4.0

Definido por Hermann *et al.* (2015), a Indústria 4.0 trata-se de um termo coletivo para tecnologias e conceitos de organização da cadeia de valor. Segundo Shafiq *et al.* (2016), ela promove a informatização das fábricas tradicionais e de seus ecossistemas em direção a um esquema de manuseio de recursos conectado. O termo surgiu em 2011 na Alemanha com a necessidade de criação de uma abordagem para fortalecer a competitividade da indústria manufatureira do país (KAGERMANN *et al.*, 2013).

Também denominada de Quarta Revolução Industrial, conforme Schwab (2016), esta nova revolução é caracterizada pelo uso intensivo de tecnologias digitais com o intuito de fabricar novos produtos de forma rápida, com uma ágil resposta à demanda e otimização em tempo real da produção e da cadeia de suprimentos, podendo causar possíveis rupturas na cadeia de valor das empresas.

Os princípios do setor 4.0 são interoperabilidade, virtualização, descentralização, capacidade em tempo real, orientação a serviços e modularidade (HERMANN *et al.*, 2015).

Assim, segundo Hermann *et al.* (2015) e Ribeiro (2017), a Indústria 4.0 possui como objetivos: garantir a sustentabilidade ao longo prazo nos aspectos econômicos, financeiros e energéticos através da promoção e otimização de recursos e minimização da geração de resíduos; facilitar a interligação entre peças, produtos e máquinas; fornecer novos tipos de serviços e modelos de negócios de interação na cadeia de valor; automatizar e flexibilizar a cadeia produtiva; além de promover paradigmas de interação homem-máquina.

Em termos de recursos, a Indústria 4.0 pode fornecer mais flexibilidade, reduzir os prazos de entrega, personalizar com tamanhos de lotes pequenos e reduzir custos, além disso, os trabalhadores estarão gradativamente mais livres da realização

de tarefas rotineiras, concentrando-se em atividades mais criativas e de maior agregação de valor (KAGERMANN *et al.*, 2013; SHAFIQ *et al.*, 2015, 2016).

Com a Indústria 4.0, é possível reunir e analisar dados entre máquinas, permitindo processos produtivos mais rápidos, flexíveis e mais eficientes para produzir produtos de alta qualidade a custos reduzidos (RÜBMANN *et al.*, 2015).

É considerável que a implantação da Indústria 4.0 apresenta algumas barreiras, elencadas nos estudos de Horváth e Szabó (2019) e Vello e Volante (2019), algumas delas serão abordadas neste estudo, como: elevado investimento em novas tecnologias; resistência organizacional (resistências ao novo modelo de negócio); ausência de *framework* regulatório (políticas e regimentos das empresas, em destaque à proteção de dados); escassez de mão-de-obra qualificada; falta de disponibilidade dos produtos (principalmente os inovadores); carência de financiamento para pesquisas (distância entre indústria e instituições acadêmicas e de pesquisa); ausência de padronização de processos e infraestrutura tecnológica.

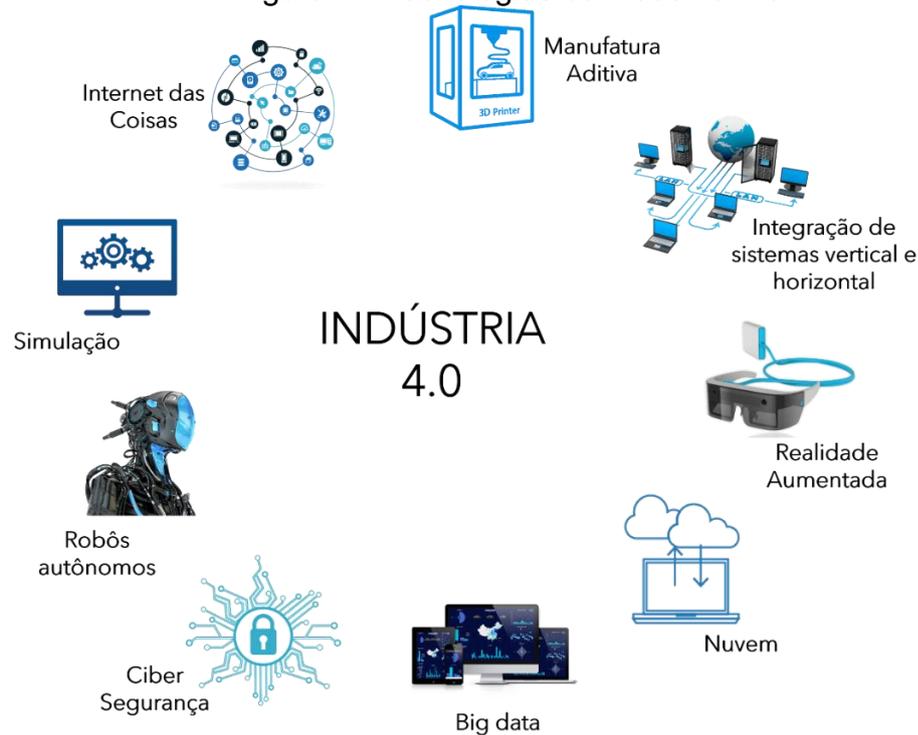
A implantação da Indústria 4.0 resulta em uma maior eficiência e mudança nas relações tradicionais entre fornecedores, produtores e clientes, bem como a interação entre humanos e máquinas (RÜBMANN *et al.*, 2015). Para a implementação da I4.0, a literatura apresenta uma série de tecnologias para serem utilizadas nas indústrias.

2.1.1 Tecnologias da Indústria 4.0

As tecnologias da Indústria 4.0 ajudam a gerenciar o planejamento e programação da produção, utilização da capacidade, manutenção e gerenciamento de energia (SZALAVETZ, 2019). Conforme Schwab e Davis (2019), estas tecnologias são construídas sobre o conhecimento e os sistemas das Revoluções Industriais anteriores, em particular, sobre recursos digitais da terceira Revolução Industrial.

Na literatura é possível encontrar diferentes classificações das tecnologias da indústria 4.0 (BRUNO, 2016; DALENOGARE *et al.*, 2018; FETTERMANN *et al.*, 2018), porém, no presente trabalho, são introduzidas as tecnologias do Rüßmann *et al.* (2015), que classificam em nove pilares de desenvolvimento tecnológico aplicáveis no campo industrial, apresentados na Figura 1.

Figura 1– Tecnologias da indústria 4.0



Fonte: Falani *et al.* (2020)

Primeiramente, a Manufatura Aditiva é uma técnica de fabricação através da adição de materiais em camadas sobrepostas para formar um objeto, tem o benefício de reduzir o tempo de espera para lançamentos de produtos, prototipagem rápida, redução de custos ao longo da cadeia de valor e inovação (BAUMERS, 2012). Além disso, permite fabricar qualquer peça e utensílios utilizando software e hardware específicos e a impressão em 3D (SANTOS; BELÉM, 2018) e possibilita confecção de pequena quantidade de produtos personalizados com aperfeiçoamento de *design*, além de auxiliar na logística e controle de estoque (MOKTADIR *et al.*, 2018).

Também chamada de integração de sistemas de *hardware*, a integração de sistemas vertical e horizontal possui o objetivo de criar e organizar a plataforma de suporte de gerenciamento com base nas informações da organização para fins específicos (TANG, 2015), implicando em uma automatização da comunicação e da cooperação ao longo de processos produtivos (VAIDYA *et al.*, 2018).

Segundo Paelke (2014) e Ribeiro (2017), a realidade aumentada refere-se à integração de informações adicionais geradas por um computador em um ambiente do mundo real, permitindo ao trabalhador tomar decisões e adaptar processos de trabalho, melhorando a tomada de decisões e os procedimentos de trabalho (VAIDYA *et al.*, 2018).

A computação em nuvem permite gerenciar grandes volumes de dados em sistemas abertos e garantir a comunicação em tempo real com o sistema de produção, além de permitir o acesso a informações de qualquer lugar do mundo a qualquer momento (HAIPING *et al.*, 2014). Os principais serviços em nuvem são: Big-data, e-commerce, computação social e móvel, inteligência de negócios, logística e sistema *Enterprise Resource Planning - ERP* (RÜßMANN *et al.*, 2015; BRUNO, 2017).

Rüßmann *et al.* (2015) afirmam que a possibilidade da análise dos dados otimiza a qualidade, economiza energia e melhora a eficiência de equipamentos e sistemas produtivos. No contexto da indústria 4.0, utilizar tecnologia *Big Data*, auxilia na abordagem para captura, análise e gerenciamento de informações (SAKURAI; ZUCHI, 2018). Esta tecnologia consiste na coleta de dados de sistemas e objetos, como leituras de sensores com capacidade de analisar, armazenar e tratar um volume elevado de dados (BRUNO, 2016; FELIX, 2022).

Com a necessidade de proteger os sistemas industriais críticos e linhas de fabricação, aumenta significativamente a necessidade de segurança cibernética (RÜßMANN *et al.*, 2015). Os Sistemas Cibernético-Físicos (CPS) consistem na integração da computação, redes de comunicação e processos físicos. Ao contrário dos sistemas tradicionais, o objetivo dos CPS é monitorar e controlar vários dispositivos, máquinas e equipamentos de um processo produtivo através de rede, permitindo a comunicação de dispositivos físicos com o sistema cibernético e vice-versa (PISCHING *et al.*, 2015).

Os robôs autônomos são gerenciados diretamente por uma fábrica inteligente e conectados ao restante do sistema da empresa. O processamento é tratado automaticamente pelos sistemas ciber-físicos. Eles são usados principalmente em trabalhos ergonomicamente difíceis ou extremos (HAIPING *et al.*, 2014). Segundo Rübmann *et al.* (2015) e Vaidya *et al.* (2018), os robôs se tornarão mais autônomos, flexíveis e cooperativos, possibilitando completar determinada tarefa de forma precisa e inteligente dentro do tempo pré-determinado, focando na segurança, flexibilidade, versatilidade e colaboração.

A simulação é um processo usado em engenharia, que permite aos operadores testarem e otimizarem as configurações da máquina para o próximo produto em linha no mundo virtual antes da mudança física, reduzindo assim os tempos de configuração da máquina e aumentando a qualidade (RÜBMANN *et al.*, 2015). É um aspecto relevante pois possui elevados investimentos e baixa

probabilidade de erro. Conceitos de máquinas, roupas e fábricas virtuais surgem em projetos como os das minis fábricas (BRUNO, 2016).

Por fim, Bruno (2016) conceitua Internet das Coisas (IoT ou IdC) como um ecossistema com bilhões de dispositivos que interage com sensores e computadores em um ambiente da Internet por meio de comunicação sem fio e visa solucionar problemas de comunicabilidade (FRANK *et al.*, 2019; TAO *et al.*, 2018) entre coisas (produtos, serviços, lugares) e pessoas, por meio de plataformas e tecnologias conectadas (SCHWAB, 2016).

Algumas destas tecnologias apresentadas já eram utilizadas em setores industriais, como o têxtil, antes mesmo do surgimento do conceito da Indústria 4.0.

2.1.2 Evolução do setor têxtil até a Indústria 4.0

Segundo Sakurai e Zuchi (2018), a indústria têxtil foi pioneira em utilizar a nova tecnologia da máquina a vapor durante a Primeira Revolução Industrial. Posteriormente, outros segmentos utilizaram meios de automação de processos, assim, inseriram máquinas em sua cadeia produtiva, portanto, a indústria têxtil tornou-se símbolo na excelência de produção naquela época.

Durante a Primeira Revolução Industrial, houve diversas inovações no segmento têxtil, como criação de máquina hidráulica de fiar, para produção de fios e a criação de lançadeiras para facilitar a passagem do fio no tear, ambos processos, antes eram efetivados manualmente. Joseph-Marie Jacquard combinou mecanismos já existentes para desenvolver o Tear Jacquard e foi o inventor dos cartões perfurados que, posteriormente, tornaram-se base para os cartões de memória usados nos computadores (MCNEIL, 2002).

A Segunda Revolução Industrial foi marcada pelo aprimoramento de tecnologias, advindas das pesquisas científicas e conhecimentos práticos obtidos na primeira revolução, que contribuiu para o aumento na produtividade e introdução de novas fontes de energia na indústria têxtil (DUARTE, 2017). Também foi patenteado o primeiro tear circular com estrutura ribana, muito utilizada em suéteres, golas e punhos. Apesar de ter sido inventada anteriormente, Isaac Singer patenteou a primeira máquina de costura doméstica, que mudou significativamente o consumo e produção de roupas (MCNEIL, 2002).

Na Terceira Revolução Industrial, explorou-se o uso da eletrônica e tecnologia da informação para a automação produtiva, acarretando renovação no processo econômico, político e social, com grande dinamismo e alta complexidade (RAPOSO, 2018; SAKURAI; ZUCHI, 2018). Segundo Duarte (2017), algumas soluções tecnológicas na indústria têxtil para atuar com customização em massa, como escaneamento, modelagem 3D e estamperia digital estão sendo gradativamente adotadas pela indústria têxtil.

Kagermann, *et al.* (2013) relatam que as primeiras três revoluções industriais são oriundas da mecanização, eletricidade e tecnologia da informação. Diante disso, a expressão indústria 4.0 começou então a ser utilizada para designar uma quarta fase industrial baseada em produtos e processos resultantes das mudanças tecnológicas atuais (OLIVEIRA, 2017).

Chien *et al.* (2018), indicam em seu estudo, a Indústria 3.5, definida como uma estratégia híbrida que permite a fabricação inteligente com o uso da análise de big data e dos processos de tomada de decisão digital da Indústria 4.0 e o sistema de fabricação existente da Indústria 3.0. Ku *et al.* (2020) afirmam que é aplicável na indústria têxtil.

Desde a Primeira Revolução Industrial, o segmento têxtil não parou de investir em novas tecnologias de produção e, atualmente, está na vanguarda da implementação da chamada Indústria 4.0 (BRUNO, 2016). No entanto, muitas empresas ainda hesitam em iniciar seu processo de transformação digital devido a sérias barreiras de implementação, incluindo incertezas sobre benefícios financeiros e falta de conhecimento especializado (KÜSTERS *et al.*, 2017).

No Brasil, 47% das empresas de fabricação de produtos têxteis empregam pelo menos uma das tecnologias da indústria 4.0, contrapondo a indústria de vestuário e acessórios, com 29% de utilização das tecnologias (CNI, 2016). Entre as grandes empresas industriais brasileiras, 73% se encontram na Indústria 4.0, ainda que em estágio inicial de implantação das tecnologias (CNI, 2018b).

Em médio e longo prazo, a incorporação das novas tecnologias em uma estratégia para o desenvolvimento da indústria brasileira será essencial para a competitividade do país e para melhorar a sua participação nas cadeias globais de valor. Portanto, a aplicabilidade de tecnologias da indústria 4.0 está cada vez mais em ascensão no Brasil (CNI, 2016).

A Indústria 4.0 busca não somente aprimorar os processos de produção, mas também tem o potencial de influenciar significativamente no desenvolvimento sustentável social e ambiental (BAI *et al.*, 2020).

2.2 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Em 1987, a Comissão de Meio Ambiente e Desenvolvimento das Nações Unidas presidida por Gro Harlem Brundtland, cujo relatório intitulado “Nosso Futuro Comum”, definiu desenvolvimento sustentável como "aquele que atende às necessidades atuais sem comprometer as possíveis necessidades das gerações futuras" (BRASIL, [s.d.]).

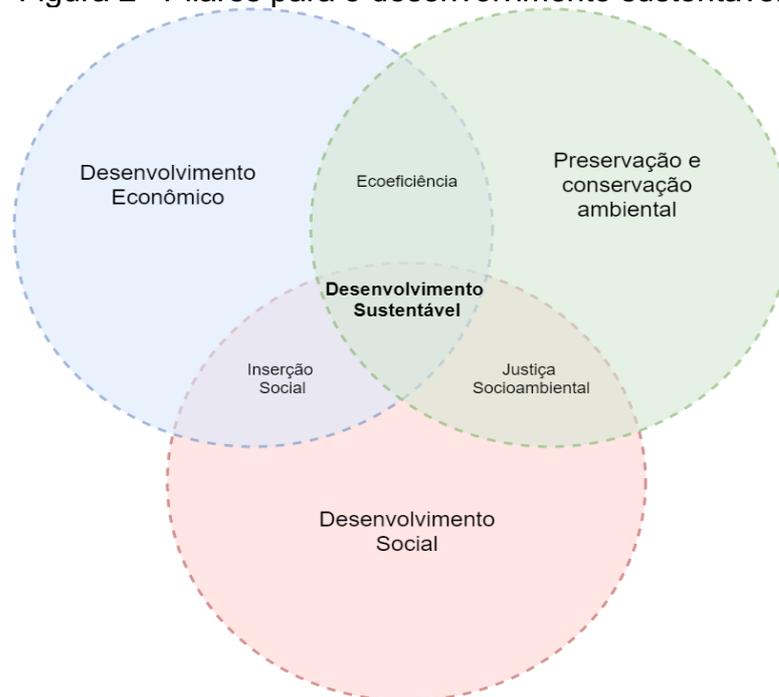
Robert *et al.*, (2005) entendem que o desenvolvimento sustentável representa diversos esforços locais e globais, para arquitetar e implementar uma visão positiva de um mundo em que as necessidades humanas básicas sejam atendidas, sem extinguir ou degradar irrevogavelmente, os sistemas naturais dos quais todos dependem.

De acordo com Elkington (1998), o desenvolvimento sustentável se origina a partir de um tripé que interliga aspectos ambientais, econômico e sociais (Figura 2). Ou seja, se desenvolver da maneira eficiente, utilizando a menor quantidade de recursos ambientais e gerando a menor quantidade de resíduos capazes de prejudicar a saúde do homem e do ambiente.

Mehler (2013), afirma que as empresas que utilizam como premissa equilibrar aspectos econômicos, sociais e ambientais, tendem a ganhar vantagem competitiva no novo ambiente que está se formando.

O desenvolvimento sustentável é aplicado como forma de redimir os danos causados ao meio ambiente em que se vive, através da utilização de biotecnologia, tecnologias limpas, mudanças de padrões de produção e consumo, reuso, reaproveitamento e toda e qualquer forma de diminuir a pressão sobre matérias-primas (COSTA, 2010).

Figura 2– Pilares para o desenvolvimento sustentável



Fonte: Elaborada a partir de Savitz e Weber (2007)

A ecoeficiência promove o desenvolvimento sustentável levando em consideração a economia e o reaproveitamento, diminuindo a quantidade de resíduos priorizando a fabricação de produtos de melhor qualidade, maior durabilidade (BALAN; PIRES, 2021). Além disso, existem diversas ferramentas qualitativas e quantitativas para determinar o impacto ambiental de determinado produto ou processo, uma delas é a Produção Mais Limpa (P+L).

2.2.1 Produção Mais Limpa (P+L)

Algumas empresas tratam suas substâncias poluentes no final do processo de produção, quando todos os produtos e resíduos foram produzidos e em seguida liberados, essa técnica é denominada fim-de-tubo (GLAVIČ; LUKMAN, 2007). Em contrapartida, a P+L aspira integrar processos produtivos aos princípios ambientais, objetivando a redução das emissões geradas, quantidade e periculosidade dos resíduos, no que eliminaria, em certa medida, a necessidade de tratamento final e, em alguns casos, proporcionaria um benefício financeiro para as empresas (FONSECA *et al.*, 2013; LUKEN, 1995).

Portanto, a grande diferença está no fato de que a P+L não se trata simplesmente de um diagnóstico, mas tenta atingir as raízes do problema (SENAI-RS, 2003).

A P+L é um modelo de produção industrial desenvolvido na década de 80, pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e pela Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (UNIDO), com o objetivo de instrumentalizar o conceito e as práticas do desenvolvimento sustentável.

Denominada por Al-Yousfi (2004) e Fonseca *et al.* (2013) como uma filosofia proativa de prevenção, a P+L, permite que indústrias e provedores de serviços, produzam mais com menos: matérias-primas, energia, desperdícios e emissões, conseqüentemente, menos impacto ambiental e maior sustentabilidade.

A P+L comumente é aplicada a processos e produtos, muito embora, os documentos elaborados pelo PNUMA e pela UNIDO, incluam também os serviços, a qual busca uma redução de riscos ao homem e à natureza (GLAVIČ; LUKMAN, 2007; PIMENTA; GOUVINHAS, 2011).

No que se refere aos processos produtivos, a aplicação da P+L resulta na combinação de ações para eliminação da toxicidade, conservação de insumos como matéria-prima, água e energia, além da minimização da geração de resíduos e efluentes na fonte e/ou durante o desenvolvimento das atividades produtivas (COSTA, 2010; FARIA; PACHECO, 2011).

As alterações nos processos são as ações mais identificadas ao implantar a P+L. São efetuadas por meio de boas práticas operacionais, substituição de materiais e mudanças tecnológicas, desafiando os procedimentos tradicionais (AL-YOUSFI, 2004; GUARDA, 2016), tornando-se uma alternativa viável de gestão ambiental em diversos setores industriais, como o setor têxtil.

2.3 SETOR TÊXTIL

Precursor na Revolução Industrial, o setor têxtil representa um dos setores industriais mais antigos do país e do mundo. Além de sua importância histórica, a indústria têxtil manteve sua tradição, desempenhando um papel importante para muitos países ao ser responsável por grande parte da sua economia (SILVA, 2013).

De acordo com a Federação das Indústrias de Goiás - FIEG, em 2020 no mundo, uma parcela das companhias da moda e vestuário movimentam, em média,

U\$ 35 trilhões em vendas por ano, com lucro de U\$ 2,4 trilhões, como exemplo: Zara, Dior, Nike, H&M, Adidas, Michael Kors, entre outras. O continente asiático concentra 70% da produção têxtil e 65% da produção de vestuário. Entre os 15 maiores produtores têxteis do mundo, 8 estão no continente asiático, destacando: China, Índia, Paquistão, Indonésia, Taiwan, Coréia do Sul e Tailândia (FIEG, [s.d.]).

Somente a China concentra 50% de toda a produção mundial de têxteis e 47% das peças de vestuário. Dentre os países da América do Sul, o Brasil é o único com posição de destaque na produção têxtil mundial (FIEG, [s.d.]). Atualmente, ocupa a quarta posição entre os maiores produtores mundiais de artigos de vestuário e a quinta posição entre os produtores de manufaturas têxteis, além disso, possui a maior cadeia produtiva integrada do Ocidente, segundo dados da Associação Brasileira da Indústria Têxtil e Confecção (ABIT, 2022).

Ainda conforme (ABIT, 2022), o setor têxtil e de confecção representa cerca de 5% do valor total da produção da indústria de transformação brasileira, entretanto, é o 2º maior empregador da indústria de transformação, perdendo apenas para alimentos e bebidas juntos. Os principais destinos de exportação dos produtos têxteis e confeccionados são para a Argentina, Paraguai e Estados Unidos, respectivamente. Já as principais origens de importação brasileira são China, Índia e Paraguai, também respectivamente.

Quanto à produção industrial interna, a cadeia têxtil faturou aproximadamente R\$161 bilhões em 2020 com impacto de 5% do valor total da produzido da indústria brasileira de transformação. Ademais, gerou mais de 1,36 milhão de empregos diretos e 8 milhões se adicionarmos os indiretos e efeito renda, enfatizando que além da sua grande relevância econômica, é um segmento de intenso impacto social (ABIT, 2022).

As empresas do setor têxtil e de confecção são pulverizadas por todo o território brasileiro. Um dos estados que possui maior concentração destas empresas é o Estado de Santa Catarina, caracterizado como um dos principais polos têxteis do país. De acordo com a Federação das Indústrias do Estado de Santa Catarina - FIESC (2022), estas empresas, responsáveis pelo maior índice de empregabilidade dentro das indústrias do Estado, totalizam 20,1%, sendo a atividade de confecção de artigos do vestuário e acessórios o segmento predominante, com 57% dos trabalhadores.

Em 2019, o Valor Bruto da Produção Industrial (VBPI) do Estado de Santa Catarina foi de R\$ 27,1 bilhões, representando 15,2% das indústrias de Santa Catarina. Entre as importações do setor têxtil e de confecção em 2021, as relações

comerciais de maior destaque são com a China, com 62,6% do total de compras estrangeiras do setor, seguido por Índia (7,7%) e Paraguai (7,2%). Já nas exportações, também em 2021, as relações comerciais de maior destaque são com o Paraguai, com 17,8% do total de vendas do setor, Argentina (11,6%) e Uruguai (10,3%) (FIESC, 2022).

Além disso, dos 8.937 estabelecimentos têxteis presentes em Santa Catarina no ano de 2020, 97,2% são micro ou pequenas indústrias (até 99 empregados). Juntos, esses estabelecimentos empregam 53,2% dos trabalhadores do setor (FIESC, 2022).

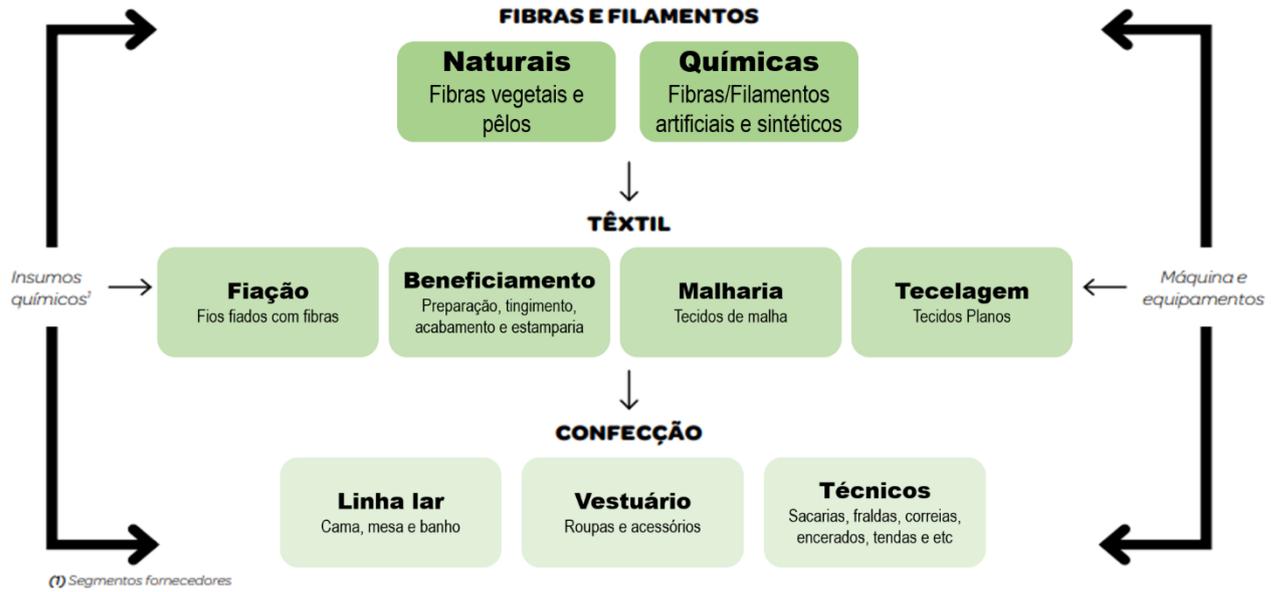
O setor têxtil é um setor distribuído e heterogêneo que combina diferentes atores que lidam com uma ampla gama de matérias-primas e processos distintos (KUMAR *et al.*, 2017). Portanto, possui uma extensa e complexa cadeia produtiva.

2.3.1 Cadeia produtiva têxtil

A cadeia têxtil inicia nos produtores de matérias-primas (algodão, poliéster e demais fibras), insumos (corante, produtos auxiliares, entre outros), e nos fabricantes de máquinas e equipamentos. A mesma encerra-se na venda de produto acabado ao consumidor final, conforme Figura 3. Além disso, é considerado um setor de referência industrial devido à rápida alteração de processos, em retorno ao mercado consumidor e sazonalidade de produtos. Dependendo da matéria-prima utilizada, é possível se deparar com processos produtivos divergentes com máquinas e equipamentos específicos (RANGEL *et al.*, 2010).

O processo têxtil inicia na obtenção das fibras ou filamentos, que são os insumos básicos para confecção de um produto têxtil, será descrito posteriormente neste capítulo. Em seguida, as fibras são fiadas, processo este, que consiste em paralelizar essas fibras e torcê-las de forma tensionada proporcionando coesão e obtendo um material contínuo de título conhecido.

Figura 3– Diagrama da cadeia têxtil



Fonte: Adaptado de Uniethos (2013)

O passo seguinte é a conversão do material unidimensional (fio) em um material bidimensional (tecido) (TOBLER-ROHR, 2011), por meio do processo de tecelagem, que é o processo efetuado para se obter um produto manufaturado, em forma de lâmina flexível, resultante do entrelaçamento, de forma ordenada ou desordenada, de fios ou fibras têxteis. As estruturas também podem variar para produzir tecidos com propriedades diferentes nos sentidos do urdume e da trama (SONDHELM, 2000).

Outro processo posterior à fiação é a malharia. O mecanismo de tecimento de malha, também conhecido como tricotagem, consiste na formação de laçada de fio, com a ajuda de agulhas finas e pontiagudas. Dependendo da movimentação da agulha e da alimentação do fio, existem dois tipos de processos de produção de malhas: por urdume, as agulhas se movem simultaneamente e cada agulha trabalha com fio diferente; por trama, as agulhas trabalham com um único fio, formando laçadas (WULFHORST *et al.*, 2006).

No beneficiamento, uma variedade de processos adaptados à matéria-prima e às propriedades desejadas são realizadas. Os principais processos são pré-tratamento, composto de limpeza e preparação, tingimento ou estamparia e acabamento, onde são tratadas as propriedades da superfície dos fios e/ou tecidos (TOBLER-ROHR, 2011).

Muitas dessas operações podem ser efetuadas em fibras, fios e tecidos bem como após a confecção. Nas fases de acabamento têxtil são utilizadas, além do substrato têxtil, diversas substâncias como água, resinas, corantes, tensoativos, enzimas, ou outras (ABRAHÃO; SILVA, 2002).

A última etapa da cadeia têxtil é a confecção, que consiste no processo de transformação do tecido no produto final (PEZZOLO, 2019), sendo estes, roupas de cama, mesa, banho, roupas de vestuário e acessórios.

Geralmente indústrias têxteis de grande porte, incorporam mais de um elo da cadeia produtiva, esta prática é comumente chamada de verticalização, este tipo de empresa, que será estudada neste trabalho.

2.3.1.1 *Fibras têxteis*

A fibra têxtil é uma unidade de matéria, natural ou fabricada, que forma o elemento básico dos tecidos e outras estruturas têxteis (HOUCK, 2009). As fibras diferem umas das outras na composição química, morfologia, cor, assim como no comprimento e finura. Tecnicamente, as fibras são caracterizadas por suas propriedades físicas, mecânicas, químicas e biológicas.

As propriedades físicas e mecânicas das fibras têxteis incluem sua morfologia, aparência, densidade, resistência, extensibilidade, condutividade térmica e elétrica e muitos outros (BUNSELL, 2018). Além disso, as fibras têm propriedades de absorção de gases, líquidos ou moléculas de corante. As propriedades biológicas das fibras têxteis descrevem sua resposta sob a influência de microrganismos (QIN, 2016).

Conforme Qin (2016), as fibras têxteis são classificadas em naturais e químicas. As fibras naturais, são subclassificadas em três grupos: vegetais, animais e minerais, de acordo com sua origem. Já as fibras químicas, são subclassificadas em regeneradas e sintéticas, como por exemplo, a fibra de poliéster.

2.3.1.1.1 Fibras de algodão

Diferentemente das fibras sintéticas, que são produzidas a partir de polímeros sintéticos ou regenerados, a fibra de algodão é um produto agrícola natural (LEWIN, 2007). São fibras essencialmente constituídas por aproximadamente 95% celulose, e os demais compostos são impurezas tais como proteínas, gomas, resinas, gorduras,

ácidos, ceras e pigmentos (LEWIN, 2007; TWARDOKUS, 2004) conforme exposto na Tabela 1.

Além disso, os pigmentos, as gorduras e as impurezas nitrogenadas, são responsáveis pela coloração natural da fibra, podendo variar de acordo com sua origem e forma de cultivo (TWARDOKUS, 2004).

Tabela 1 - Composição química da fibra de algodão

Componente	Composição (% peso seco)	
	Quantidade típica (%)	Faixa (%)
Celulose	95	88,0 – 96,0
Proteínas (% N.6,25)*	1,3	1,1 – 1,9
Substâncias Pécicas	0,9	0,7-1,2
Cinzas	1,2	0,7 – 1,6
Cera	0,6	0,4 – 1,0
Açúcares Totais	0,3	0,1 – 1,0
Ácidos Orgânicos	0,8	0,5 – 1,0
Pigmentos	Traços	-
Outros	1,4	-

*Método padrão de estimativa da porcentagem de proteína pelo teor de Nitrogênio (% N).

Fonte: Lewin (2007)

Entretanto, a fibra de algodão é uma fibra natural que fornece maciez, respirabilidade, poder de absorção, transpiração e conforto (BUNSELL, 2018; QIN, 2016), além de ter baixo custo, fácil de tingir e de costurar (MURTHY, 2016). Esses são alguns dos atributos que fizeram os consumidores preferirem o algodão, mesmo possuindo muitos problemas como encolhimento, baixa estabilidade dimensional e durabilidade moderada sob repetidas lavagens e secagens (BUNSELL, 2018).

Por outro lado, os fabricantes de têxteis enfrentam obstáculos com fins lucrativos, como alto nível de variabilidade de lotes, levando a níveis inconsistentes de qualidade, elevado desperdício proveniente das fibras curtas inutilizáveis e fragmentos de fibra, *neps*, contaminantes, resíduos e fragmentos de revestimento de sementes (BUNSELL, 2018).

Segundo Associação Brasileira dos Produtores de Algodão – ABRAPA (2022), todos os anos, uma média de 35 milhões de hectares de algodão é plantada em todo

o planeta. A demanda mundial tem aumentado gradativamente desde a década de 1950, a um crescimento anual médio de 2%. O comércio mundial do algodão movimenta anualmente cerca de US\$ 12 bilhões e envolve mais de 350 milhões de pessoas em sua produção, desde as fazendas até a logística, descaroçamento, processamento e embalagem (ABRAPA, 2022).

Atualmente, o algodão é produzido por mais de 60 países, nos cinco continentes. O Brasil ocupa a quinta colocação no ranking dos maiores produtores no mundo com produção mundial em média 1,5 milhões de hectares, ao lado de países como Índia, EUA, China e Paquistão (ABRAPA, 2022).

O Brasil tem figurado entre os maiores exportadores mundiais. O estado do Mato Grosso é responsável por 68% da produção nacional da safra 2019/20, já a Bahia, 22% nesta mesma safra, contudo, a produção da soma de 13 estados produtores de algodão, totalizaram apenas 10% da produção total nacional (ABRAPA, 2022).

O cenário interno é promissor, pois o Brasil está entre os maiores consumidores mundiais de algodão em pluma (ABRAPA, 2022). A pluma é comercializada principalmente para o setor têxtil, que apresenta um alto nível de integração vertical.

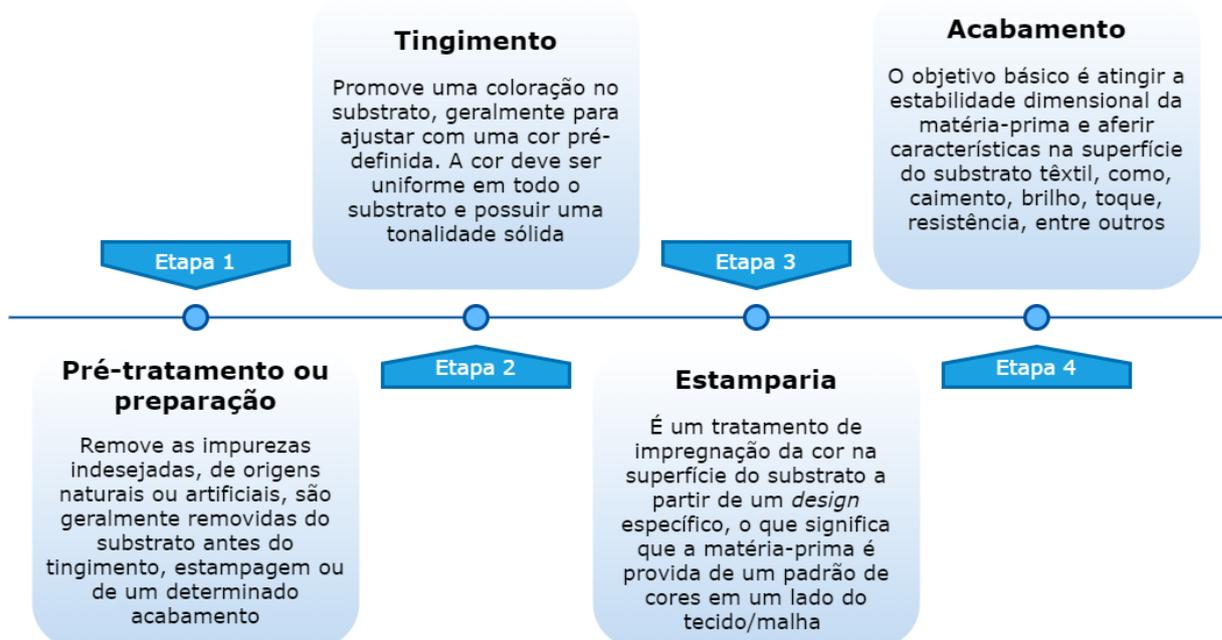
2.4 BENEFICIAMENTO TÊXTIL

No processo de beneficiamento, a matéria-prima é tratada para adquirir características de melhoria ao toque, hidrofiliidade ou hidrofobicidade, estabilidade dimensional, entre outras. Este processo é classificado pelos autores Araújo e Castro (1986) em quatro etapas: pré-tratamento ou preparação, tingimento, estamparia e acabamento, conforme Figura 4.

A preparação, o tingimento e o acabamento, ocorrem através de processos contínuos ou em lotes. No processamento contínuo, calor e vapor são aplicados em toda extensão do corpo receptor (fibras, fios, malhas ou tecidos planos), com auxílio de uma série de soluções químicas concentradas. Nas etapas de tingimento e acabamento, o substrato retém a maioria dos produtos químicos, enquanto a lavagem, remove a maior parte dos produtos químicos aplicados na preparação. No processamento em lote, a unidade ou um conjunto dos substratos, são processados

na presença de produtos químicos diluídos em uma máquina fechada (MOORE; AUSLEY, 2004).

Figura 4 - Classificação do beneficiamento têxtil



Fonte: Elaborado a partir de Clark (2011), Moore e Ausley (2004) e Tobler-Rohr (2011)

Contudo, os processos de beneficiamento variam em função do tipo da matéria-prima a ser beneficiada, características do material e a utilização final (SILVA, 2019). Além disso, a produção desses materiais consome grandes volumes de água e energia, que resulta na descarga de grandes quantidades de poluentes (YUAN *et al.*, 2013).

Quanto aos defeitos ocasionados em processos antecedentes ao beneficiamento, como os processos de fiação, malharia e tecelagem, estes, geralmente são revelados no beneficiamento, onde através da aplicação de cor nos substratos, geralmente é possível visualizar a não uniformidade no comprimento das malhas e/ou tecidos, barramentos, manchas de óleos, entre outras imperfeições indesejáveis aos produtos. Apesar disso, alguns destes defeitos, dependendo da causa raiz, podem ser eliminados ou disfarçados através de um pré-tratamento eficaz do substrato.

O pré-tratamento realizado no beneficiamento têxtil, será enfatizado no item posterior, bem como, o processo de pré-alveamento de algodão, que é alvo desta pesquisa.

2.4.1 Processos de pré-tratamento

Na indústria têxtil, o pré-tratamento refere-se a um grupo de operações responsáveis pela minimização ou eliminação das impurezas naturais presentes no substrato, preparando-o para os processos químicos subsequentes.

A preparação do artigo têxtil tem a finalidade de remover impurezas das fibras, melhorar a aparência e preparar para processamentos posteriores, como tingimentos, estampagens, entre outros (VIGO, 2013), com a ajuda de auxiliares têxteis como surfactantes, dispersantes, complexantes, oxidantes, enzimas e outros.

Para a fibra do algodão, existe uma série de procedimentos que podem ser realizados com o objetivo de extrair os componentes não celulósicos e preparar a fibra, fio ou tecido para receber a coloração. A seguir, serão apresentadas algumas alternativas dos processos mais utilizados dentro das indústrias.

Normalmente, o pré-tratamento físico é a primeira etapa do processo de beneficiamento. Dentre eles, a escovagem remove impurezas com auxílios de escovas rotativas (WULFHORST *et al.*, 2006). Para eliminar, por corte, as fibras que sobressaem da superfície dos tecidos, utiliza-se o processo de navalhagem.

A maioria dos fios de algodão e fibras sintéticas são engomados para evitar rupturas no processo de fiação, conseqüentemente, a irregularidade do fio afeta a tecelagem e processos sequentes. Uma das técnicas de engomagem utilizada recente, é com aplicação de plasma a baixa temperatura (VIGO, 2013).

A escolha das condições do processo de engomagem determina o processo de desengomagem. Para substratos de algodão, a goma comumente utilizada é à base de amido, ela pode ser removida através de processos enzimáticos utilizando α amilases ou processos oxidativos com a aplicação de peróxido de hidrogênio e hidróxido de sódio combinado com a purga oxidativa (PICCOLI, 2014).

A purga é praticada para remover impurezas de todos os tipos de fibras naturais e sintéticas (VIGO, 2013), também tem a finalidade de se obter um substrato têxtil mais hidrofílico.

O pré-alvejamento e o alvejamento são processos que, assim como a purga, são operações que eliminam o corante natural das fibras, bem como demais impurezas. A principal diferença, é que o pré-alvejamento e o alvejamento, utilizam um oxidante para branquear o tecido. O processo de pré-alvejamento, resultará em nível de branqueamento de menor intensidade, adequado para utilizar em materiais

que serão tingidos em cores claras. Já o alvejamento, resulta em um branqueamento maior, com finalidade de produzir um substrato branco, em alguns casos, aplica-se também branco ótico (KARMAKAR, 1999).

Os processos de pré-tratamento bioquímicos, foram desenvolvidos com a finalidade de serem menos agressivos ao meio ambiente. Exemplo disso, a desengomagem enzimática, a biopurga e o pré-alvejamento enzimático, possibilitam uma remoção efetiva das impurezas não celulósicas sem utilizar produtos químicos agressivos e ocorre em condições mais brandas de temperatura e pH, quando comparado ao processo convencional (SILVA, 2013; VIGO, 2013).

As enzimas são proteínas compostas de aminoácidos com determinado padrão sequencial de definição e atuam como biocatalizadores essenciais para as reações de seres vivos. Elas aceleram a taxa de reação química sem sofrer nenhuma alteração química permanente (CAVACO-PAULO; GÜBITZ, 2003).

Os procedimentos enzimáticos são realizados nos processamentos úmidos de produtos têxteis em operações abrangentes, desde preparações dos substratos até o tratamento dos efluentes gerados (ALY *et al.*, 2004). Através da Tabela 2 é possível identificar as enzimas utilizadas em cada etapa do processo.

Tabela 2 - Enzimas usadas em processamentos têxteis

Processos	Enzimas
Desengomagem	Amilase, Lipase
Purga	Celulase, Cutinase, Pectinase, Protease
Branqueamento	Catalase, Glicose oxidase, Lacase, Xilanase
Tingimento	Amilase, Catalase, Diastase, Lipase, Protease
Acabamento	Catalase, Celulase, Lipase
Tratamento de efluentes	Lacase, Celulase, Protease

Fonte: Adaptação Choudhury (2020) e Rahman *et al.* (2020)

Nos processos de pré-tratamentos de algodão, a enzima predominantemente utilizada no processo de desengomagem, é a amilase que atua na remoção do amido inserido no substrato no processo de engomagem; Na purga, a enzima pectinase é a mais utilizada, que atua na eliminação de impurezas não celulósicas, como pectinas, gorduras, ceras, proteínas, corantes naturais, minerais etc. Por fim, o processo de pré-

alveamento e alveamento, onde comumente a lacase e a glicose-oxidase atuam como agentes branqueadores (MADHU; CHAKRABORTY, 2017).

O uso de enzimas resulta em menor tempo de processo, economia de energia e água, aprimora a qualidade do produto e possível integração de processos (CHOUDHURY, 2020). Além disso, as enzimas são biocatalisadores que apresentam alta especificidade, removendo apenas as impurezas das fibras, portanto além de diminuir a carga de produtos químicos nos efluentes, a utilização de enzimas diminui possíveis danos causados às fibras (CAVACO-PAULO; GÜBITZ, 2003).

A utilização de enzimas na indústria têxtil vem crescendo e é um exemplo de biotecnologia, permitindo o desenvolvimento de processos ambientalmente menos agressivos e tecnologias de tratamento para melhorar a qualidade do produto final (REIS, 2016). Os processos sustentáveis estão se tornando essenciais para a indústria têxtil. Os pesquisadores vêm desenvolvendo novos métodos tornando os tratamentos enzimáticos mais eficientes e viáveis (HANNAN *et al.*, 2019; RAJA *et al.*, 2017).

2.4.2 Pré -alveamento de algodão

As fibras de algodão contêm aproximadamente 5% de impurezas naturais cujo conteúdo depende da variedade do algodão e do ambiente de cultivo (KALANTZI *et al.*, 2008). A presença destas nas fibras de algodão cru, desencadeiam baixa hidrofiliabilidade, o que pode ocasionar alguns problemas de qualidade nos processos subsequentes do substrato (WANG *et al.*, 2007a).

Os processos de limpeza do substrato são necessários para garantir a remoção completa de óleo ou cera dos substratos, para que os corantes e acabamentos possam penetrar uniformemente na estrutura da fibra, malha ou tecido (NEEDLES, 1986). Para efetividade deste processo, é necessário utilizar um detergente adequado (PICCOLI, 2014).

Para conduzir os processos associados à preparação, o substrato têxtil deve ser efetivamente umedecido. Surfactantes ou agentes tensoativos são usados para diminuir a tensão superficial da água em relação a fibra, para que a água umedeça o substrato (NEEDLES, 1986).

Segundo Piccoli (2014), o detergente ideal é o que elimina as ceras e óleos e os mantém emulsionados na água. A detergência é mais eficaz em meio alcalino,

portanto, em geral se opera com baixas concentrações de hidróxido de sódio, já que o algodão é bastante resistente ao meio alcalino (NEEDLES, 1986), correspondendo ao processo de purga (limpeza) convencional.

Estes processos de limpeza, eliminam todas as impurezas presentes na fibra, com exceção da coloração do tom amarelado do algodão cru (BURKINSHAW, 2016). Para eliminar esta tonalidade, utiliza-se agentes branqueadores, com degradação mínima da fibra, por meio do processo de oxidação e/ou redução da coloração da matéria-prima. No entanto, a indústria utiliza apenas o branqueamento oxidativo, por ser mais viável economicamente (CARR, 1995).

O pré-alvejamento pode ser realizado através do uso de vários compostos, como clorito de sódio e hipoclorito de sódio, porém, é o peróxido de hidrogênio, o agente de branqueamento mais utilizado atualmente (BURKINSHAW, 2016; CHATHA *et al.*, 2017).

Segundo Clark (2011), o peróxido de hidrogênio é um agente clareador ativo para fibras celulósicas em condições alcalinas. No entanto, a alcalinidade excessiva pode causar instabilidade e decomposição do peróxido de hidrogênio com a liberação de oxigênio.

Assim, durante o processo é importante controlar a velocidade da reação evitando uma decomposição acelerada do peróxido. Pode-se aumentar a estabilidade destas soluções adicionando-se silicatos e fosfatos. Outra forma de evitar a perda do peróxido pela decomposição acelerada é controlar a adição de hidróxido de sódio, realizando dosagem gradativa do álcali à temperatura controlada quando já se inicia a oxidação das impurezas (PICCOLI, 2014).

De acordo com Lewin (2007), um bom estabilizador tem que agir como um eliminador de radicais para evitar reações colaterais indesejadas de radicais livres que geralmente podem ocorrer, levando à degradação da celulose, e íons metálicos ferro e cobre são mais eficientes.

Embora o alvejante com hipoclorito tenha sido essencialmente substituído por peróxido e outros alvejantes à base de oxigênio, o uso de álcalis é uma parte essencial do processo tradicional e os fluxos de resíduos são predominantemente alcalinos, exigindo neutralização (CHRISTIE, 2007).

Ao final do pré-alvejamento é indispensável verificar se há resíduo de peróxido a ser destruído. Esta verificação pode ser feita com solução de cloreto de titânio que

adicionada ao banho e/ou ao substrato, resulta em uma cor amarelada quando ainda existe resíduo de peróxido de hidrogênio (KARMAKAR, 1999).

Ainda que o peróxido de hidrogênio é um conhecido agente de branqueamento ambientalmente seguro para tecidos de algodão (ABDEL-HALIM; AL-DEYAB, 2011) e é um agente branqueador versátil que pode ser usado para o processo combinado de purga e branqueamento (CLARK, 2011), o processo de pré-tratamento convencional é arriscado sob o ponto de vista ambiental devido ao elevado pH e toxicidade, além do alto consumo de energia (KALANTZI *et al.*, 2008).

Além disso, o processo de branqueamento convencional piora a resistência do tecido e normalmente é seguido por etapas adicionais, como eliminação e neutralização de peróxido, que por sua vez levam a um consumo adicional de utilidades ou produtos químicos (HANNAN *et al.*, 2019).

Assim, é desejável usar sistemas de branqueamento que operem bem a temperaturas mais baixas, redução de água, tempos de reação mais curtos e/ou usando cargas químicas mais baixas que a atual, sem causar danos intoleráveis às fibras têxteis (ABDEL-HALIM; AL-DEYAB, 2011). Esses benefícios podem ser encontrados, ao desenvolver processos utilizando enzimas, pois operam em pHs quase neutros e temperaturas e tempos de processos mais baixos (CHRISTIE, 2007; KUMAR *et al.*, 2021).

Embora a literatura apresente estudos com diversas enzimas, a pectinase comprova ser a mais eficaz e adequada para a limpeza da fibra de algodão (WANG *et al.*, 2007a). Segundo os autores, o mecanismo de limpeza de pectinase promove a remoção das pectinas e ceras mais facilmente com a ajuda de surfactantes e agitação mecânica, permitindo que a fibra do algodão alcance hidrofiliabilidade superior sem deterioração das fibras.

Sendo a pectina uma substância não celulósica importante no algodão, ao removê-las, torna mais fácil extrair todas as outras substâncias não celulósicas (MADHU; CHAKRABORTY, 2017). Entretanto, o uso de lipases se encontra em evidência na formulação de detergentes, o que resulta na remoção de manchas de lipídeos no algodão. Outra aplicação que vem sendo estudada (KALANTZI *et al.*, 2010; SILVA, 2013), porém pouco explorada, é a atuação da lipase na biopreparação do algodão. Devido a cutícula, que é a parede fina exterior da fibra de algodão, possuir uma complexa mistura de lipídeos, possibilita o uso de lipases no processo de biopurga do algodão cru (RAJA *et al.*, 2017).

Outra enzima aplicada na preparação do substrato de algodão, é a catalase, que são sugeridas para a eliminação do excesso de peróxido no branqueamento que, de outra forma, poderia comprometer o tingimento posteriormente (CHRISTIE, 2007).

A eficácia do pré-tratamento pode ser elevada aplicando processos de combinação de enzimas, pois apresenta potencial significativo para evitar o grande consumo de água, reduzir ou impedir a utilização de produtos químicos agressivos e criar ambiente de reação suave com menos necessidade de energia e oferecem reutilização de banhos residuais (CHATHA *et al.*, 2017).

A lavagem e o branqueamento podem ser realizados em uma única etapa, que utiliza menos energia e água (RAHMAN *et al.*, 2020), através de combinações de enzimas, é possível remover a pectina das fibras celulósicas e melhorar a brancura média do substrato (MADHU; CHAKRABORTY, 2017).

Em tecido plano, a combinação da lipase com pectinase em um processo de uma etapa, com o objetivo de reduzir o tempo necessário para a purga e pré-alveamento oferecendo ao substrato, condições favoráveis para o tingimento, foi realizado pelos autores Kalantzi *et al.* (2010). Onde, as características desejadas foram alcançadas através da aplicação de uma mistura apropriada de agentes de limpeza para tempos de tratamento adequados.

Em malhas compostas por fibra de algodão, uma alternativa estudada por Silva (2013), foi a aplicação de pectinases, celulasas e lipases na purga enzimática do algodão, onde os resultados obtidos foram comparados a purga alcalina, quanto ao efeito de cada enzima e suas interações. Confirmando por meio da caracterização das malhas, que a biopurga com tratamento enzimático pode ser tão eficaz quanto o processo convencional.

Reis (2016) também utilizou as enzimas pectinase, lipase e celulase, em seu trabalho, onde realizou um alveamento com peróxido de hidrogênio produzido enzimaticamente pela glicose oxidase, durante a oxidação da glicose. Resultando no processo com menor consumo de água e maior hidrofiliidade, além de possibilitar uma malha com propriedades de conforto melhores, um melhor aspecto visual e um polimento mais efetivo.

Esta mesma combinação de enzimas foi estudada pela Silva (2019), onde além de comparar o processo convencional com o enzimático, analisou a influência do tempo, temperatura e concentração dos reagentes em ambos processos. A purga

enzimática apresentou maior hidrofiliidade em condições menores de temperatura e tempo.

Rodrigues (2019) utilizou o complexo enzimático contendo as enzimas pectinase, lipase e celulase para analisar a influência da concentração de H₂O₂, tempo e distância da luz UV no pré-alveijamento ou alveijamento de malha de algodão com radiação UV e comparou com o alveijamento convencional, onde o último, resultou em um grau de branco menor quando comparado com o alveijamento realizado com o auxílio da emissão das luzes UV. Concluiu-se que a utilização da radiação ultravioleta no alveijamento têxtil contribuiu para um bom resultado no grau de alvura da malha alvejada.

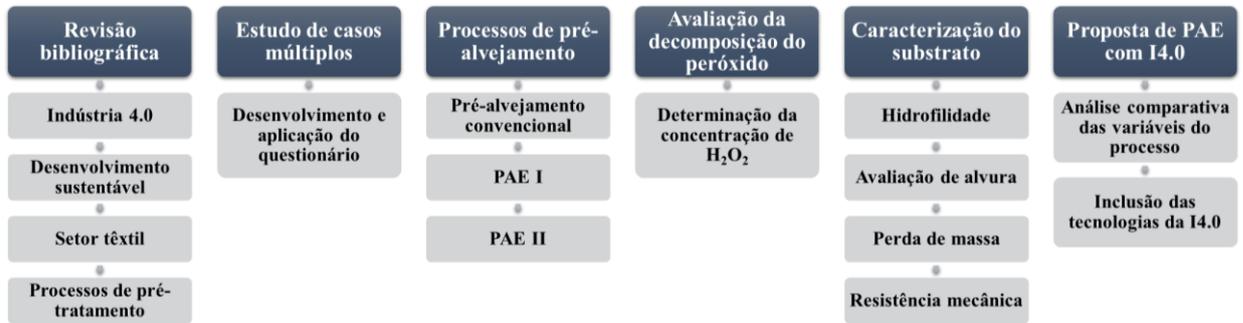
Vale ressaltar que outras tecnologias avançadas plasma (ZHOU *et al.*, 2019), aplicação de ozônio (SANTOS *et al.*, 2017) e ultrassom (BAHTIYARI; BENLI, 2016) foram introduzidos com uso de enzimas para facilitar os processos tradicionais de pré-tratamento com tempo e economia de energia.

Diante dos benefícios identificados pelo uso de enzimas no pré-alveijamento de algodão, o presente trabalho realizou procedimentos experimentais em laboratório para averiguar a eficácia, como uma alternativa de prática de P+L nas empresas, além de propor o uso de algumas tecnologias da I4.0, para o controle deste novo processo.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O procedimento metodológico deste estudo foi desenvolvido em duas etapas: o diagnóstico, por meio de uma revisão da literatura e um estudo de casos múltiplos em quatro empresas têxteis de Santa Catarina, e o procedimento experimental dos processos de pré-alveijamento convencional e proposto com utilização de enzimas, onde o último será denominado com a sigla PAE. A Figura 5, apresenta um fluxograma da metodologia.

Figura 5 - Fluxograma da metodologia



Fonte: Elaborada pela autora (2022)

3.1 ESTUDO DE CASOS MÚLTIPLOS

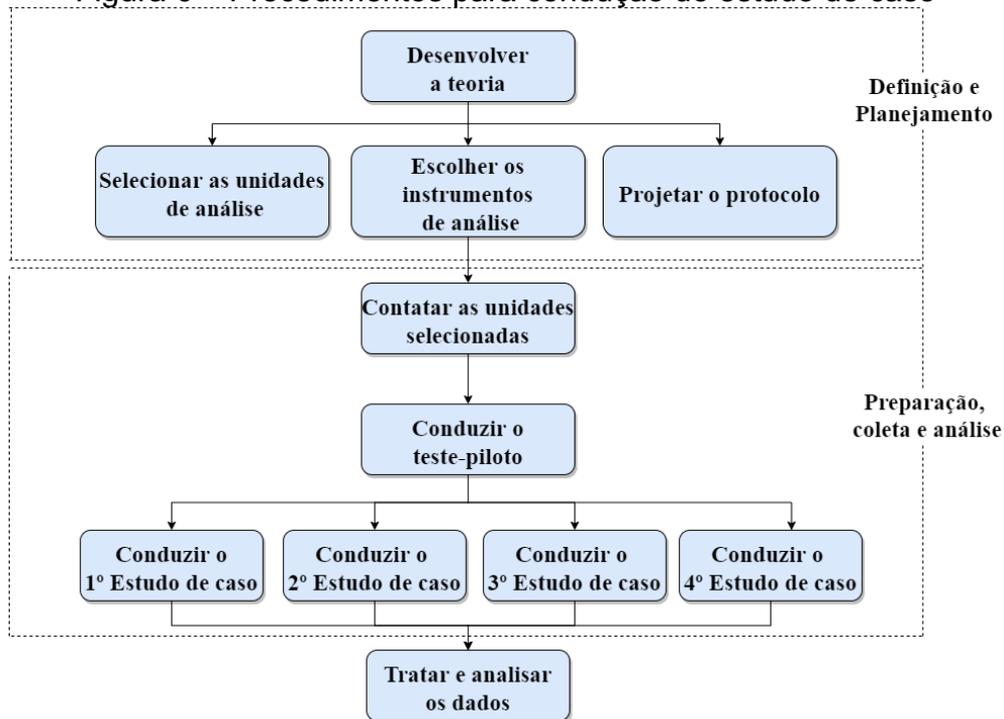
Na abordagem metodológica, foi adotada a pesquisa qualitativa de casos múltiplos devido à necessidade de coletar dados relevantes que pudessem facilitar a geração de categorias teóricas que não poderiam derivar satisfatoriamente dos dados existentes (LOCKE, 2001). O método qualitativo de estudo de caso requer ferramentas para que os cientistas possam estudar a visão abrangente em seus contextos (GUSTAFSSON, 2017).

Para essa pesquisa, tem-se um contexto que necessita de exploração e ao mesmo tempo não pode ser controlado, então têm-se mais de um caso para averiguar a questão. O estudo de casos múltiplos possibilita identificar evidências relevantes e de maior confiabilidade se comparado aos estudos de casos únicos (YIN, 2015).

Segundo Yin (2015), a metodologia permite a tentativa de esclarecer o motivo de decisões tomadas, como foram implantadas e quais os resultados obtidos. Por isso, a escolha da metodologia aplicada nesta pesquisa, onde os procedimentos aplicados, estão detalhados na Figura 6.

A primeira fase do estudo de caso é a definição e o planejamento. Inicialmente, foi realizada uma revisão da literatura acerca da utilização da filosofia produção mais limpa no setor manufatureiro das tecnologias da Indústria 4.0 identificadas no estudo de Rübmann *et al.* (2015) e do processo de beneficiamento de substrato de algodão, objetivando adquirir embasamento para desenvolvimento do questionário.

Figura 6 – Procedimentos para condução do estudo de caso



Fonte: Adaptado de Yin (2015)

Também na fase de definição e planejamento aconteceu a seleção das unidades de análise e a escolha dos instrumentos de coleta de dados. Para esta pesquisa, buscou-se empresas que possuem o setor de beneficiamento têxtil e que pré-alveja malhas de algodão, nas quais foram realizadas as aplicações do questionário.

Segundo Yin (2015), para um melhor planejamento dos estudos de casos, é essencial possuir um protocolo, pois aumenta a confiabilidade da pesquisa e orienta o pesquisador na condução do estudo. Este protocolo contém os procedimentos e as regras gerais que devem ser seguidos ao utilizar o instrumento e refere-se a última etapa da fase de planejamento.

O Protocolo do Estudo de Caso desta pesquisa encontra-se no Apêndice A, no qual constam informações a respeito da visão geral do estudo de caso, com propósito e questões, os procedimentos de coleta de dados, e o principal foco das questões de pesquisa.

A segunda fase do estudo compreendeu na preparação, coleta e análise dos dados. Nessa fase, as unidades selecionadas foram contatadas e os casos conduzidos. Por último, seguiu-se para a fase de tratamento e análise dos dados. Os

detalhes do planejamento, preparação, coleta e análise dos dados, serão vistos nos tópicos seguintes.

3.1.1 Seleção dos casos e dos atores da pesquisa

Nesta pesquisa optou-se por buscar as indústrias têxteis de grande porte do Estado de Santa Catarina, que possui agregado de dois ou mais elos da sua cadeia de valor, ou seja, ser uma empresa verticalmente integrada e beneficiadoras de malhas de algodão.

As tentativas de contato aconteceram em novembro do ano de 2019 por meio de e-mails para cinco diferentes empresas, além de alguns contatos por telefone e por mensagens via redes profissionais de contato. Apenas uma empresa não houve retorno de resposta. As demais, prontamente se disponibilizaram a ajudar, nas quais foram agendadas a aplicação presencial do questionário.

A pesquisa foi realizada em quatro empresas, aqui chamadas genericamente de Empresa A, Empresa B, Empresa C e Empresa D. As características de cada uma, constam no Tabela 3.

Os principais atores consultados para a pesquisa foram pessoas relacionadas à área de beneficiamento. Para isso, foram realizadas pesquisas públicas sobre as referidas empresas, buscando compreender os processos e principais setores envolvidos. Assim, inicialmente foi realizado um contato com os responsáveis (diretores e gerentes) dos seguintes setores: pesquisa e desenvolvimento, engenharia de processos e beneficiamento, dos quais delegaram os respondentes do questionário, cujo o perfil profissional está identificado no Tabela 4.

Tabela 3 – Amostra das empresas pesquisadas

Empresa	Tamanho da empresa*	Atividade econômica primária**	Cidade
A	Grande	Fabricação de artigos do vestuário, produzidos em malharias e tricotagens, exceto meias	Blumenau
B	Grande	Confecção de peças de vestuário, exceto roupas íntimas e as confeccionadas sob medida	Jaraguá do Sul
C	Grande	Confecção de peças de vestuário, exceto roupas íntimas e as confeccionadas sob medida	Pomerode
D	Grande	Confecção de peças do vestuário, exceto roupas íntimas e as confeccionadas sob medida	Corupá

Notas: * Conforme número de pessoas ocupadas (metodologia Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas - SEBRAE) e faturamento anual bruto (metodologia Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE).

** Segundo Classificação Nacional das Atividades Econômicas - CNAE.

Fonte: Elaborada pela autora (2022)

Tabela 4 - Atores da pesquisa

Colaborador	Escolaridade	Cargo	Tempo na empresa
Colaborador 1	Superior completo	Analista de Pesquisa e Desenvolvimento	14 anos
Colaborador 2	Pós-graduação	Supervisor de Beneficiamento	20 anos
Colaborador 3	Superior completo	Gerente Industrial	4 anos
Colaborador 4	Superior completo	Coordenador de Engenharia de Processos	15 anos

Fonte: Elaborada pela autora (2022)

3.1.2 Coleta de dados

Como mencionado anteriormente, esta pesquisa utilizou um questionário, que é um instrumento de coleta de dados constituído por uma série ordenada de perguntas (MARCONI; LAKATOS, 2002). As mesmas autoras enfatizam que junto com o questionário deve-se conter uma nota ou carta explicando a natureza da pesquisa, sua importância e a necessidade de obter respostas.

O questionário (Apêndice B) possui 64 questões subdividas em quatro etapas:

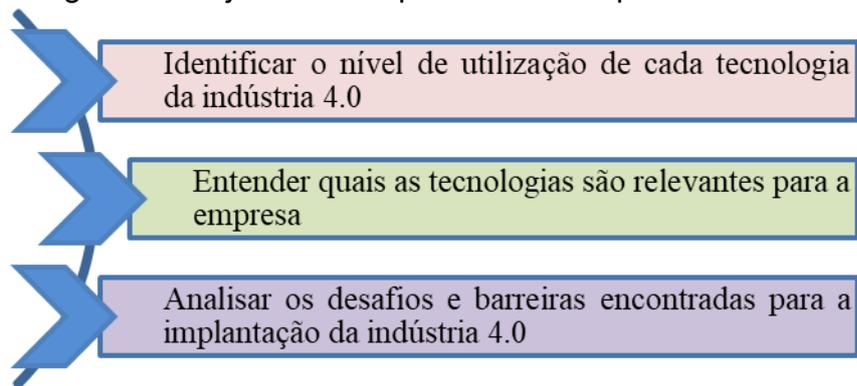
- **Dados da empresa:** Questões gerais sobre a empresa, a caracterização e perfil do colaborador.
- **Produção mais limpa:** Não se fez necessário desenvolver o questionário, apenas adaptar o questionário utilizado no Trabalho de Conclusão de Curso de Guarda (2016), cujo objetivo foi conhecer as práticas de produção mais limpa utilizadas nas indústrias para levantar sugestões de melhorias. O questionário ajustado possui 36 afirmativas graduadas em escala *Likert* de 5 pontos, onde ao responderem o questionário, os entrevistados especificam o seu nível de concordância ou não com a afirmação. Para a pesquisa foram usados cinco níveis de concordância: discordo totalmente, discordo parcialmente, indiferente, concordo parcialmente e concordo totalmente.
- **Indústria 4.0:** Possui definição breve das tecnologias da Indústria 4.0 e três questões referentes ao tema, onde a primeira questão possui alternativas graduadas em escala de verificação *Likert* de 5 pontos, em que o respondente determina o nível de utilização de cada tecnologia listada, sendo: não utilizada (0%); pouco utilizada (25%); utilizada (50%); muito utilizada (75%) e extremamente utilizada (100%), conforme identificado na Tabela 4. A segunda questão é de múltipla escolha, possibilitando aos colaboradores selecionar três alternativas, que na sua opinião, forem as mais relevantes (considera-se 75% ou mais, como relevante). Por fim, a terceira etapa constam os desafios de implantação das tecnologias I4.0. Na Figura 7, estão identificados os objetivos de cada questão.

Tabela 4 - Escala *Likert* 5 utilizada na primeira questão da etapa da indústria 4.0

Escala	Descrição
0%	Não utilizada
25%	Pouco utilizada
50%	Utilizada
75%	Muito utilizada
100%	Extremamente utilizada

Fonte: Elaborada pela autora (2022)

Figura 7 - Objetivos das questões da etapa indústria 4.0



Fonte: Elaborada pela autora (2022)

- **Beneficiamento:** Esta etapa é subdividida em dados da formulação (receita) do processo e processos de pré-alveamento utilizados na empresa e recursos automatizados para auxiliar no controle do processo.

Vale salientar que antes de iniciar um estudo de caso, é significativo conduzir um caso-piloto, conforme descrito anteriormente na fase de preparação, coleta e análise. Segundo Yin (2015), isso auxilia no desenvolvimento de linhas relevantes de questões, fornecendo esclarecimentos conceituais para o projeto. O teste-piloto normalmente acontece com apenas um caso, e este, servirá para verificar os procedimentos de aplicação.

O caso-piloto foi realizado em uma empresa X, localizada no município de Indaial no estado de Santa Catarina, o questionário foi enviado por e-mail em novembro do ano de 2019 por e-mail ao coordenador de tinturaria, que possui 11 anos de tempo de empresa e formação de ensino superior, cuja as respostas enviadas foram satisfatórias.

Entre os meses de novembro e dezembro do ano de 2019, foram aplicados os questionários presencialmente nas empresas A, B, C e D, todas elas permitiram a

gravação da conversa. Em duas das empresas, o questionário foi respondido com mais de um ator da mesma empresa, promovendo debates construtivos entre eles acerca das temáticas abordadas.

Quando possível, também foram realizadas visitas ao parque fabril. Entretanto, esse não foi o enfoque central da coleta de dados, já que não foram todas as empresas que se disponibilizaram a apresentação de seus processos. Apesar de, oportunamente, observar diretamente os processos produtivos, confiou-se nas informações declaradas pelos colaboradores.

Ao fim da coleta de dados, os dados foram tratados e analisados, conforme demonstrado na seção 4.1. Além disso, as respostas obtidas no questionário, subsidiaram o desenvolvimento dos procedimentos experimentais da pesquisa.

3.2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

As etapas experimentais foram realizadas nos seguintes laboratórios: Laboratório Físico Têxtil (Fibras & Controle de Qualidade) – LABCONTROL no Departamento de Engenharia Têxtil da Universidade Federal do Rio Grande do Norte; Laboratório de Beneficiamento Têxtil (LABENE) e Laboratório de Meio Ambiente (LABMAM), situados no Departamento de Engenharia Têxtil da Universidade Federal de Santa Catarina, na cidade de Blumenau.

Esta seção apresenta o substrato, reagentes e equipamentos, bem como a descrição dos procedimentos laboratoriais realizados durante a fase experimental desta pesquisa.

3.2.1 Materiais

Fornecida por uma indústria têxtil e de confecção norte-rio-grandense, a matéria-prima utilizada neste estudo é a malha por trama, aplicada principalmente em peças de vestuário. A sua estrutura é a meia-malha, com gramatura de 140 g/m², composta por 100% algodão cru e produzida com fio penteado de título 30/1 Ne.

As amostras de malha utilizadas nos ensaios deste trabalho são oriundas de um mesmo lote, de modo a garantir a padronização dos corpos de prova quanto a gramatura, cor e hidrofiliabilidade.

Os reagentes utilizados no trabalho constam na Tabela 5 e os principais equipamentos usados, estão identificados na Tabela 6.

O sequestrante de ferro, detergente umectante aniônico e a enzima catalase, foram gentilmente doados pela empresa Werken Química Brasil e o complexo enzimático, foi cedido pela empresa Akmey Biotecnologia Têxtil.

Tabela 5 – Principais reagentes químicos utilizados no presente trabalho

Reagente	Descrição
Hidróxido de Sódio 50%	NaOH – base utilizada no pré-alvejamento de algodão
Permanganato de potássio	KMnO ₄ – Para determinar o residual do H ₂ O ₂
Peróxido de Hidrogênio 50%	H ₂ O ₂ – utilizado para o pré-alvejamento de algodão
WK Complex Fe-5	Sequestrante de Ferro
WK Emuloil DC 93 M	Detergente umectante aniônico
WK ZIME NP 325	Enzima catalase usada para neutralizar o peróxido
Biokey BSPG	Composição enzimática contendo pectinase, celulase e lipase

Fonte: Elaborada pela autora (2022)

Tabela 6 – Equipamentos utilizados

Equipamento	Marca	Modelo
Dinamômetro	Mesdan	TENSOLAB 3000
Espectrofotômetro	Datacolor	Datacolor 500
Máquina de Tingimento em canecas	TexControl	HT-TC2200
Estufa	Lucadema	Luca 82/221

Fonte: Elaborada pela autora (2022)

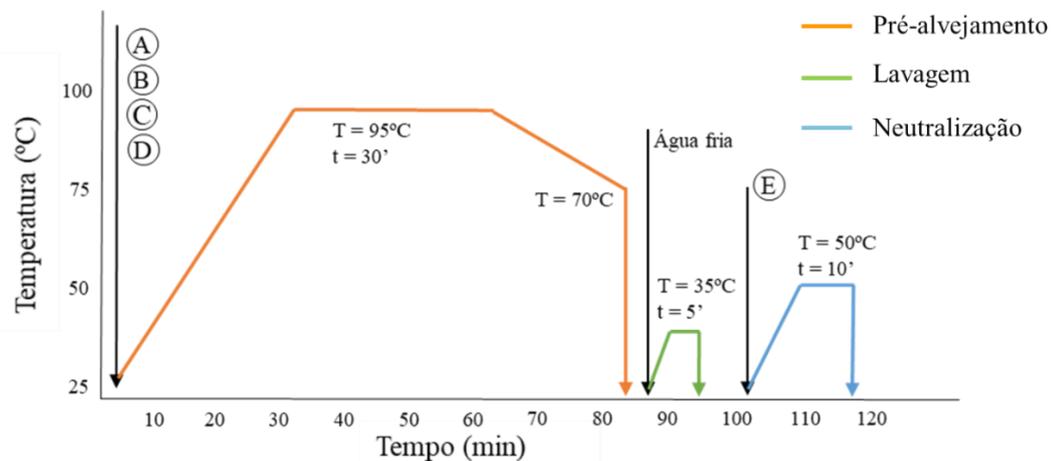
3.2.2 Pré-tratamento convencional

Realizou-se o procedimento convencional de pré-alvejamento, conforme utilizado pelas indústrias têxteis do estudo de casos múltiplos, com base no resultado do questionário identificado no item 4.1.3. Com base nos dados obtidos, foi elaborada uma formulação e desenvolvido o procedimento de pré-alvejamento (Figura 8) para fins de comparação com o processo enzimático.

O processo aplicado foi realizado utilizando o equipamento de tingimento de canecos com aquecimento por infravermelho, da marca Texcontrol, em triplicata, com amostras de malha em tamanho 15 cm x 15 cm, equivalente a massa de aproximadamente 3 g cada. A relação de banho utilizada foi de 1:20.

Após o término de cada etapa: pré-alveamento, lavagem e neutralização, foi retirado 2 g de cada banho para análise do residual de peróxido conforme item 3.2.4. Ao fim do processo a fibra foi lavada em água corrente com o intuito de retirar os resíduos de detergente, peróxido e álcali, até obter-se pH neutro.

Figura 8 – Processo de pré-alveamento convencional



Fonte: Elaborada pela autora (2022)

Onde:

A – 2,0 g/L H₂O₂ 50%

B – 2,0 g/L NaOH 50%

C – 1,0 g/L Sequestrante de ferro

D – 1,0 g/L Detergente umectante aniônico

E – Enzima Catalase 0,5%

Por fim, as amostras foram secas com auxílio de estufa, à 40 °C por 4 horas, obtendo-se assim, as malhas tratadas pelo pré-alveamento convencional.

3.2.3 Pré-tratamentos enzimáticos

Para a realização dos processos enzimáticos foi utilizada a metodologia adaptada de da Silva (2019) e da Silva (2013). Os processos foram realizados em

máquina de tingimento de canecos com aquecimento por infravermelho, da marca Texcontrol, na qual a malha foi pré-alvejada em uma solução contendo detergente umectante aniônico, sequestrante de ferro, peróxido de hidrogênio, hidróxido de sódio e realizado uma biopurga com uma composição enzimática (Biokey BSPG) contendo as enzimas pectinase, celulase e lipase.

Primeiramente, foram definidos os parâmetros da biopurga, onde considerou-se o do banho igual a pH 7,5 e temperatura de 55 °C, conforme o boletim técnico do complexo enzimático, e foram realizados testes preliminares em triplicata para determinar a dosagem do complexo enzimático e o tempo do processo conforme a margem estabelecida pelo fornecedor, conforme Tabela 7.

Tabela 7 - Parâmetros de tempo e concentração para biopurga

Concentração do complexo enzimático	Tempo de processo
2,0%	30 minutos
2,5%	
3,0%	
2,0%	45 minutos
2,5%	
3,0%	

Fonte: Elaborada pela autora (2022)

Após a realização dos testes preliminares, foi determinada a concentração e o tempo ideal mediante a análise da perda de massa, hidrofiliidade e leitura do grau de branco e então foram determinados os parâmetros ideais.

Como informado anteriormente, os processos de pré-alvejamento enzimáticos foram denominados PAE. Após a determinação da biopurga, foi realizado o processo em banhos separados conforme o pré-alvejamento convencional, iniciando com a biopurga – PAE I (Figura 9), variando a temperatura do processo (95°C, 85°C e 75°C), o pré-alvejamento convencional também foi repetido considerando as mesmas temperaturas para fins comparativos. Com base na determinação da temperatura, foi realizado um estudo comparativo entre o processo enzimático em banho separado (PAE I) e banho único (PAE II). Por fim, após a definição do tipo do processo, o mesmo foi repetido reduzindo gradativamente a concentração dos químicos (NaOH e H₂O₂) em 2,0;1,8;1,5;1,3 e 1,0g/L.

Como informado anteriormente, os processos de pré-alveamento enzimáticos foram denominados PAE. Após a determinação da biopurga, foi realizado o processo em banhos separados conforme o pré-alveamento convencional, iniciando com a biopurga – PAE I (Figura 10), em seguida, o processo todo foi realizado com banho único, iniciando também com a biopurga – PAE II (Figura 11), visando reduzir o consumo de água, tempo, energia e quantidade de produtos químicos tóxicos. Ambos processos, PAE I e PAE II, foram realizados em triplicata nas temperaturas de 95°C, 85°C e 75°C. Com base no melhor resultado ocorreu a repetição do processo reduzindo gradativamente a concentração dos químicos (NaOH e H₂O₂) em 2,0;1,8;1,5;1,3 e 1,0g/L.

Figura 9 - PAE I – Pré-alveamento enzimático com banhos separados

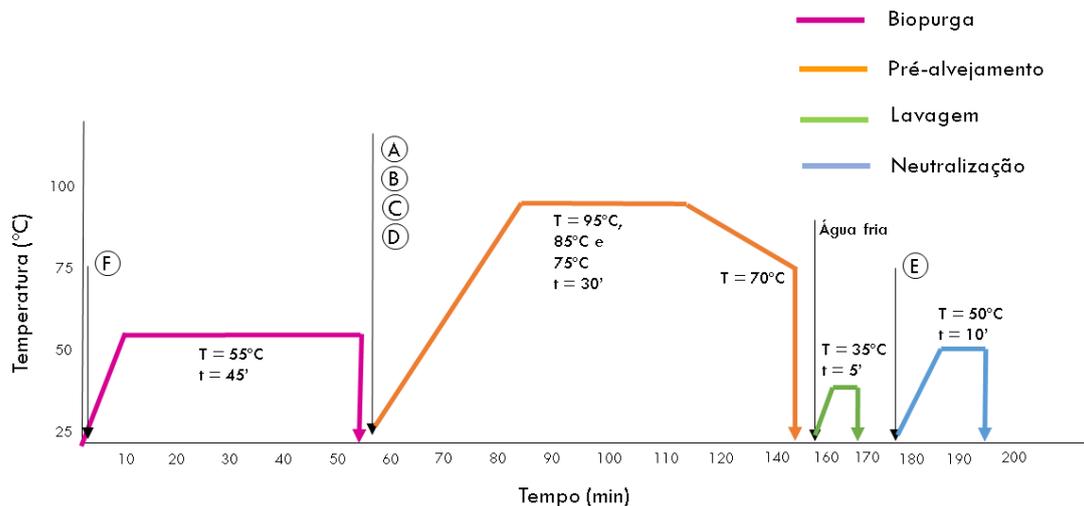
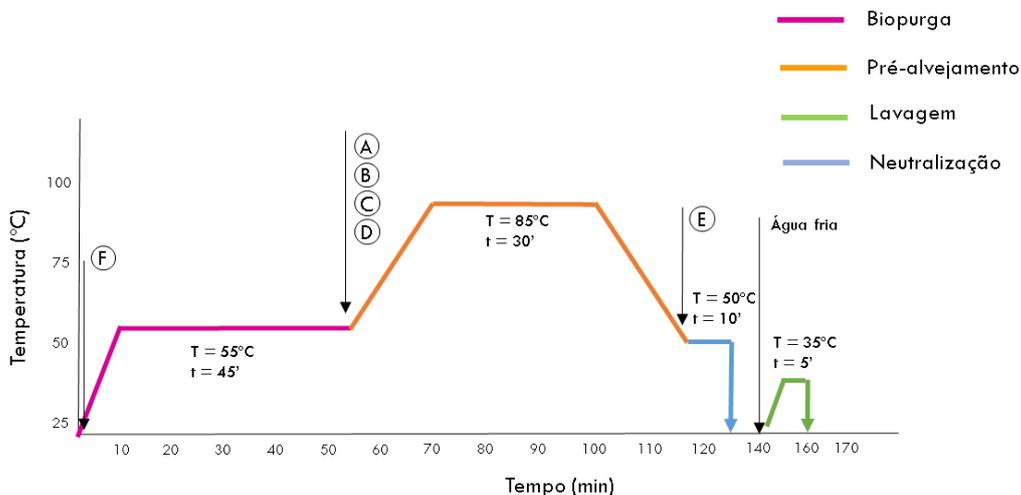


Figura 10 - PAE II – Pré-alveamento enzimático com banho único



Onde:

A – 2,0 g/L H₂O₂ 50%

B – 2,0 g/L NaOH 50%

C – 1,0 g/L Sequestrante de ferro

D – 1,0 g/L Detergente umectante aniônico

E – Enzima Catalase 0,5%

F – Complexo enzimático Biokey BSPG 2,0%

Em todas as etapas anteriores apresentadas. as amostras de malha permaneceram com tamanho 15 cm x 15 cm, equivalente a massa de aproximadamente 3 g e todos os PAEs e produzidos em triplicada, bem como foi mantida a relação de banho de 1:20. Por fim, as amostras foram secas com auxílio de uma estufa a 40 °C por 4 horas, assim como no pré-alveamento convencional.

3.2.4 Avaliação da decomposição do peróxido

A concentração de H₂O₂ foi obtida conforme adaptação de Morita e Assumpção (1983), através da titulação com permanganato de potássio em meio ácido, com objetivo de analisar a decomposição do peróxido de hidrogênio no banho durante o processo.

A reação entre o peróxido de hidrogênio e o permanganato de potássio ocorre em solução acidificada com ácido sulfúrico diluído, conforme a Equação I:



Amostras de 2g do banho foram transferidos para um erlenmeyer com capacidade de 250 ml. Adicionou-se ao erlenmeyer 10 ml de água destilada e 250 ml de solução de H₂SO₄ à 10%.

Titulou-se lentamente esta solução com KMnO₄ 0,1 N até a coloração rósea.

A concentração de peróxido de hidrogênio foi obtida através da Equação II.

$$\% \text{H}_2\text{O}_2 = \frac{0,0017 \times V \times Fc \times 100}{m (g)} \quad \text{Equação (II)}$$

Onde:

V = Volume gasto de KMnO₄ 0,1N

Fc = Fator de Correção do KMnO_4 0,1 N (pode usar 1,0 se não tiver)

M (g) = massa do banho em gramas

Este método foi realizado em todos os processos de pré-alveamento, tanto convencional quanto os mistos (PAE I e II) para fins comparativos da decomposição do peróxido de hidrogênio.

3.2.5 Caracterização da malha

As amostras de malha de algodão, sem tratamento, biopurgadas, tratadas com pré-alveamento convencional e/ou pré-alveamento enzimático, foram caracterizadas quanto à hidrofilidade, ao grau de branco, perda de massa e resistência mecânica, cuja metodologia é apresentada na sequência, com o objetivo de consolidar os benefícios identificados na literatura.

3.2.5.1 Caracterização da malha

A hidrofilidade foi analisada pelo teste de capilaridade. Este é um método de visualização rápida, para avaliar a tendência da água de se deslocar pela malha de algodão. Foi realizado através de uma adaptação da norma JIS L 1907, onde os corpos da prova com dimensão de 10 cm x 2 cm foram fixados nas extremidades superiores e as extremidades inferiores imersas num recipiente contendo água deionizada e corante reativo turquesa com concentração de 1g/L. Após 2 min, foi medida a altura da solução absorvida com régua.

A avaliação foi efetuada em triplicata onde comparou as amostras cruas, biopurgadas, com e sem tratamento enzimático, observando a distância em centímetros que a solução percorreu em cada amostra percorreu. Cabe ressaltar que o papel do corante é simplesmente dar condições de visualização e permissão para medir a altura da coluna alcançada pela água.

3.2.5.2 Avaliação de alvura

As amostras foram avaliadas por meio de espectrofotometria de refletância e colorimétrica no espectrofotômetro Datacolor 500 da marca Datacolor com o iluminante D65, em seguida, determinado o grau de branco por meio de Graus Berger.

Foram realizadas três medições em pontos diferentes, onde o resultado final, correspondeu a média da medição de todos os pontos.

3.2.5.3 *Perda de massa das amostras pré-alvejadas*

A perda de massa dos corpos de prova foi determinada por meio da massa das amostras antes e depois de serem submetidas aos pré-alvejamentos convencionais e enzimáticos. A massa foi medida após secagem em estufa com ventilação de ar, a 40 °C, durante 4 horas. A Equação III foi utilizada para o cálculo de perda de massa percentual (ALY *et al.*, 2004):

$$\text{Perda de massa \%} = \left(\frac{W_1 - W_2}{W_1} \right) \cdot 100 \quad \text{Equação (III)}$$

Onde:

W1 = massa do corpo de prova antes do tratamento

W2 = massa do corpo de prova após o tratamento;

3.2.5.4 *Resistência mecânica*

Para analisar a durabilidade das malhas, este teste determina a força máxima e alongamento a força máxima de tecidos utilizando o método de tira, conforme adaptação da norma ASTM D5034.

Para avaliação mecânica nos substratos (crus, biopurgados e após os pré-alvejamentos) quanto a durabilidade, será realizado ensaio de tração em dinamômetro TENSOLAB 3000 da Mesdan (Figura 11) no Laboratório Físico Têxtil (Fibras & Controle de Qualidade) – LABCTEX da Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

Este equipamento realiza testes de tração em fibras, fios, malhas e tecidos com diferentes células de carga. Para comparação no estudo, foram analisados os valores de resistência e alongamento das amostras no sentido do urdume.

Figura 11 – Dinamômetro utilizado para o ensaio de tração



Fonte: Autora (2022)

3.2.6 Proposta do PAE com a utilização das tecnologias da I4.0 e diretrizes da P+L

Após os estudos realizados em laboratório e definidos os parâmetros ideais para o processo de pré-alvejamento enzimático, foi definida a proposta do processo de pré-alvejamento considerando as dimensões internas e externas da P+L com base no estudo dos autores SILVA *et al.*, (2021), identificadas através do Quadro 1 e as tecnologias da I4.0 conforme mencionadas na revisão da literatura e pesquisa de estudos presentes base de dados bibliográfica Scopus.

Para a escolha assertiva das tecnologias emergentes da I4.0 no processo proposto, foi realizada uma revisão narrativa da literatura acerca da identificação das tecnologias da Indústria 4.0 na cadeia têxtil, com ênfase no setor de beneficiamento têxtil.

Quadro 1 - Dimensões internas e externas da P+L

Tipo de dimensão	Dimensões	Definição dos estudos sobre a P+L
Dimensões internas	Gestão organizacional	Como planejar a produção, liderar o pessoal envolvido e controlar os resultados econômicos, sociais e ambientais.
	Processo	Reciclagem e reuso no ambiente interno, modificações tecnológicas no sistema produtivo e foco na adoção de tecnologias limpas.
	Gestão de Resíduos	Armazenagem e destinação correta dos elementos não reciclados, redução e controle das emissões, efluentes e resíduos sólidos.
	Conhecer a P+L	Conhecer a P+L é ponto fundamental para o sucesso da gestão.
	Saúde do trabalhador	Contribuir para a integridade física e mental dos colaboradores, além de proporcionar equipamentos corretos para sua proteção no ambiente de trabalho.
	Colaborador	Treinamentos em educação ambiental, desenvolvimento de habilidades e capacidade necessária para evitar desperdício de recursos.
Dimensões externas	Cliente	Participação e cooperação na mudança de processo e produto, visando atribuir fatores ambientais que minimizem o impacto negativo ao meio ambiente e à saúde humana.
	Matéria-prima	Uso consciente da água, da energia, de produtos químicos e da madeira, com o objetivo de diminuir, controlar e substituir seu uso na produção.
	Fornecedor	Participação e cooperação na mudança de processo, a partir do fornecimento de matérias primas e componentes ecológicos.
	Ambiente externo	Melhoria na imagem da empresa
	Políticas e Legislação	Atendimento às normas legais, evitando multas e advertências.

Fonte: Silva *et al.* (2021)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados analisados e discutidos conforme a metodologia aplicada: primeiramente, os resultados referentes aos estudos de caso e posteriormente, os resultados obtidos por meio dos procedimentos laboratoriais.

4.1 ESTUDO DE CASOS MÚLTIPLOS

Os estudos de caso foram realizados em quatro empresas localizadas no estado de Santa Catarina. As quatro empresas são indústrias têxteis, categorizadas como empresas verticalizadas, e, pela classificação do IBGE e SEBRAE, enquadram-se em grande porte.

Foi acordado com as empresas a não revelação de seus nomes e dos colaboradores que participaram das entrevistas. Para tornar suas identidades ainda mais ocultas, este trabalho não identificará o gênero (feminino ou masculino) dos entrevistados, sendo todos tratados com o artigo masculino “o”, garantindo a impessoalidade.

4.1.1 Produção Mais Limpa

Esta etapa do questionário consta com 36 afirmativas, onde os dados são apresentados a partir da escala *Likert 5*, sendo apontado o grau de concordância das afirmações pelas empresas, as alternativas são: discordo totalmente, discordo, nem discordo nem concordo, concordo ou concordo totalmente, conforme já apresentado na metodologia.

Para auxiliar na análise dos resultados, foi utilizada a ferramenta on-line para elaboração de questionários, o *Google Forms*, objetivando organizar os dados por meio de planilhas e gráficos. Portanto, todos os dados obtidos através dos questionários aplicados foram avaliados e analisados por intermédio destes arquivos gerados.

As informações do instrumento de coleta de dados foram divididas para melhor explanação, conforme metodologia da Guarda (2016), são eles: empresa e meio ambiente, utilização de energia, utilização da água, utilização da matéria-prima, processo produtivo, e por fim, destinação de resíduos.

4.1.1.1 *Empresa e Meio Ambiente*

Na primeira questão afirmou-se que a empresa entende como importante a prevenção do meio ambiente, sendo que unanimemente, as empresas do estudo de casos concordaram totalmente. A partir do aumento da regulamentação governamental e uma maior conscientização pública sobre a proteção ambiental, atualmente, é imprescindível as empresas não ignorar as questões ambientais se quiserem sobreviver no mercado (SEN *et al.*, 2017).

Segundo Moraes (2015), as empresas têxteis necessitam utilizar diversas estratégias para se manter em um mercado altamente competitivo. As empresas que valorizam a inovação e a competitividade, desenvolvem práticas de gestão sustentável como parte de sua estratégia empresarial (MEHLER, 2013). Das respostas obtidas, todas as empresas concordam totalmente que é importante a prevenção do meio ambiente e da poluição para a imagem das empresas.

Sen *et al.* (2017) destacam que o foco atual na fabricação ecológica é diferente do foco tradicional no controle da poluição. Além de cumprir os regulamentos ambientais, as empresas precisam implementar estratégias para reduzir voluntariamente os impactos ambientais de seus produtos.

É importante ressaltar, que a consciência ecológica também é fruto de comportamentos mais exigentes dos clientes, fornecedores, acionistas, governos e comunidades como um todo, que conseqüentemente, estabelece um novo desempenho para as indústrias: a responsabilidade ambiental (FONSECA, 2017).

As empresas afirmam possuir ambiente limpo, seguro e saudável, segundo normas regulamentadoras e estão de acordo com as leis ambientais. A organização que não efetua a gestão de seu resíduo têxtil perde muitas oportunidades, principalmente de fazer negócio com novas empresas. Além disso, é crime ambiental ocasionar poluição ou danos à saúde humana, à fauna e à flora (FCEM, 2020). Para Galleli *et al.* (2015), a associação de práticas sustentáveis asseguradas por certificações pode representar instrumentos de diferenciação, ao influenciar o posicionamento da empresa junto aos seus clientes.

4.1.1.2 *Energia*

Segundo o relatório de Balanço Energético Nacional (BEN) realizado pela Empresa de Pesquisa Energética (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2022), o setor industrial brasileiro consumiu em 2021, 32,3% do total de energia do país, abaixo apenas do setor de transporte que consumiu 32,5% da energia brasileira.

De acordo com o relatório, o setor têxtil utiliza como meio de geração de energia o gás natural, lenha, biodiesel, óleo diesel, Gás liquefeito de petróleo (GLP) e eletricidade, sendo a última, a energia mais consumida do setor, correspondendo ao total de 3,18% do consumo elétrico da indústria em 2018. Além disso, dentro do setor têxtil, as fontes de energia variam, como no setor de fiação, a eletricidade é a fonte de energia dominante, enquanto no beneficiamento, a principal fonte de energia são os combustíveis (HASANBEIGI; PRICE, 2012).

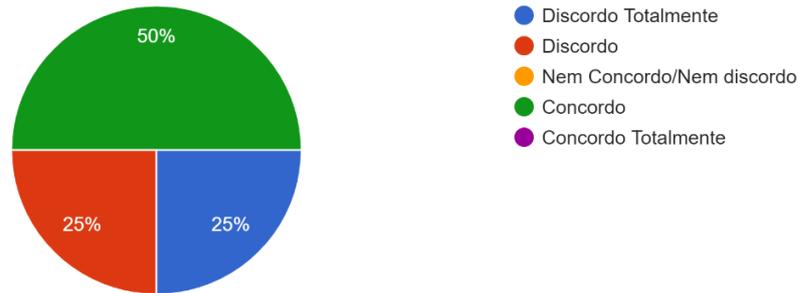
Diante disso, é necessário que as empresas possuam controles de consumo de energia. Com base nisso, as afirmativas de existência de algum tipo de controle do consumo de energia e as empresas possuírem planos de ação para redução do consumo energético, todas as empresas concordaram totalmente.

Existem várias estratégias adotadas pelas empresas que podem auxiliar na redução do consumo de energia, desde investimentos em novos equipamentos que possibilitem melhor eficácia no consumo, a otimização da luz solar (MARQUES *et al.*, 2015), o reajustamento das linhas de produção (HASANBEIGI; PRICE, 2012) e a manutenção preventiva para visualização de consumos excessivos.

A utilização de placas solares, por exemplo, possui inicialmente um elevado investimento financeiro e demanda uma infraestrutura apropriada, sendo muitas vezes considerado economicamente inviável (GUARDA, 2016). Além de que, em regiões que possuem períodos climáticas bem definidas, como é o caso do estado de Santa Catarina, algumas estações do ano possuem insuficiência da luz solar, necessitando assim, de outras energias para satisfazer a necessidade de uso.

Com base nisso, a Figura 12 apresenta o resultado da questão que afirma a existência de sistemas de captação de energia renovável, onde as empresas A e B, possuem fontes de energia renováveis em seus parques fabris, equivalendo a 50% das empresas estudadas. Já as empresas C e D não possuem, discordando então da afirmativa.

Figura 12 - Utilização de energias renováveis



Fonte: Autora (2022)

Como estratégia de eficiência energética, todas as empresas dos estudos de caso, afirmam que desligam as máquinas e equipamentos, em caso de ociosidade, mas não monitoram os resultados obtidos com estas ações.

No questionário, após a afirmativa de que em período ocioso as máquinas são desligadas, foi requerido para quem responder as alternativas “discordo” e “discordo totalmente” o motivo que não é efetuado tal prática, com duas alternativas: “Não existe a rotina” e “o custo entre manter ligada e ligar novamente torna-se similar”, como não houve nenhuma destas respostas, a referida questão não foi preenchida.

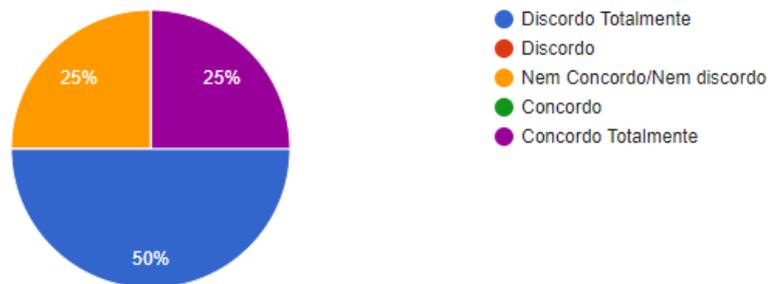
4.1.1.3 Água

A indústria têxtil utiliza grandes volumes de água e produtos químicos em seus processos produtivos, e conseqüentemente, produz um alto volume de efluentes. Nos processos produtivos têxteis, geralmente são consumidos de 200 a 270 m³ na produção de uma tonelada de produto têxtil, contudo, as etapas de tingimento e acabamento, geram em torno de 50 a 100L de efluente por quilo de tecido produzido (PEREIRA, 2018).

Considerando que todas as empresas analisadas possuem o setor de beneficiamento têxtil, é unânime entre elas, a adoção de plano de ação para redução e controle de consumo de água. Uma das práticas utilizadas cada vez mais no setor de beneficiamento, é a reutilização de água no processo. Porém, apenas a empresa C reutiliza água especificamente no processo de pré-alveijamento. As empresas B e D, correspondendo 50% do total, não reutilizam água no pré-alveijamento. Já a empresa A, dependendo do processo posterior, é que reutiliza ou não a água em seu processo de pré-alveijamento, conforme ilustrado na Figura 13.

Devido ao aumento da pressão exercida pela legislação sobre as empresas, cresceu consideravelmente a aplicação de técnicas para atenuar os impactos ambientais ao ecossistema nos últimos anos. Dentre essas práticas, destaca-se o tratamento de efluentes além do nível secundário (QUEIROZ *et al.*, 2016). Portanto, as empresas devem estar atentas ao gerenciamento do descarte e ao monitoramento dos efluentes gerados, visando sempre a redução e a possibilidades de reuso dos efluentes internamente (CNI, 2017). Em face do exposto, todas as empresas realizam tratamento de seus efluentes (resíduos descartados) antes de liberá-los na rede de esgoto/corpo receptor.

Figura 13 - Percentual de reutilização de água no processo de pré-alveamento



Fonte: Autora (2022)

Após a última afirmativa mencionada, foi requerido para quem responder as alternativas “discordo” e “discordo totalmente” o motivo que não é efetuado tal prática, com as seguintes alternativas: “não há necessidade de tratamento”, “as opções de tratamento são onerosas” e “não foi identificado nenhuma empresa especializada”, como não houve nenhuma destas respostas, a referida questão não foi preenchida.

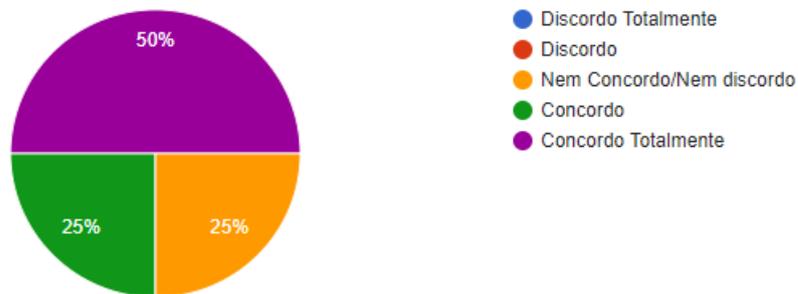
4.1.1.4 *Matéria-prima*

A gestão de resíduos e escolha de insumos com potencial de reciclagem são medidas que podem representar lucratividade para toda a cadeia de produção (FCEM, 2019). Unanimemente, as empresas realizam estudos sobre a melhor utilização da matéria-prima antes do início do processo produtivo, busca substituir matérias-primas potencialmente poluentes ou tóxicas e preocupam-se em efetuar a compra de matéria-prima em empresas que possuem princípios de responsabilidade ambiental.

É necessário que a indústria possua uma visão holística dos seus produtos e processos, para que ao desenvolver o produto, seja analisado os possíveis resíduos

desde a compra da matéria-prima, até a disposição do produto e seu descarte final (GUARDA, 2016). Mesmo assim, de acordo com a Figura 14, a geração de resíduos é totalmente levada em conta no momento da compra da matéria-prima por apenas 50% das empresas estudadas, a empresa D não concorda e nem discorda da afirmativa, pois, segundo o colaborador 4, o custo ainda é um fator decisivo para a escolha da matéria-prima.

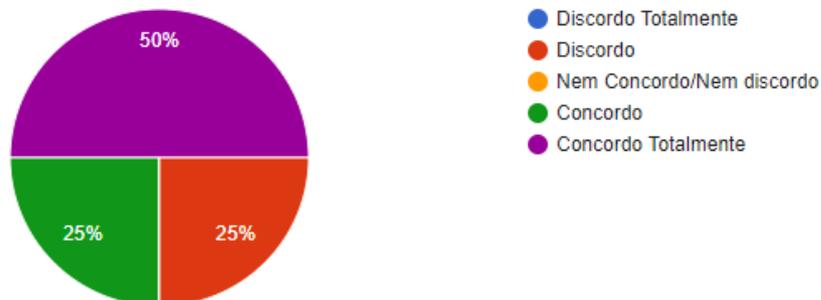
Figura 14 - Análise da geração de resíduos na compra da matéria-prima



Fonte: Autora (2022)

Reinventar atividades cotidianas torna possível a adoção de processos mais eficientes e sustentáveis, que causam menor impacto social e ambiental (UNIETHOS, 2013). Como mostra a Figura 15, a maioria das empresas realizam modificação no produto ou no processo para evitar a geração de resíduos, com exceção da empresa D que discorda da afirmativa.

Figura 15 - Ótica das empresas em relação as modificações no produto ou processo



Fonte: Autora (2022)

4.1.1.5 Destinação dos resíduos

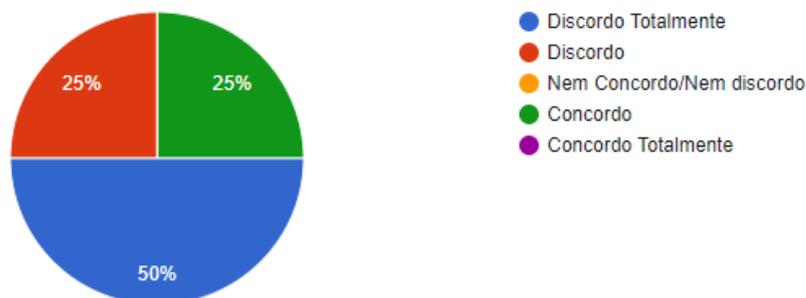
Ainda diante dos resultados, todas as empresas afirmam conhecer em qual momento os resíduos são gerados, porém, sabe-se que é inevitável gerar sobra de

material em determinados processos têxteis. Uma alternativa encontrada pelas empresas estudadas, é realizar prática de separação dos resíduos. Segundo FCEM (2020), a eliminação correta de resíduo têxtil é uma lei que, se não realizada, pode ser passiva de atitudes penais.

Considerando a baixa taxa de reciclagem atual das indústrias têxteis, existe um grande potencial para aumentar também a reciclagem de polímeros, oligômeros e monômeros (SANDIN; PETERS, 2018). Para a FCEM (2019), se uma empresa possuir um sistema que recupere materiais, que normalmente são descartados, pode reduzir consideravelmente a quantidade de resíduo produzido.

Nos casos estudados, as sobras de material em sua maioria são vendidas e recicladas fora da empresa, entretanto, diante da afirmativa “a sobra de material é reciclada dentro da empresa, de modo parcial ou total”, apenas a Empresa A concorda com a afirmativa, já 50% das empresas discordam totalmente e 25%, apenas discordam, conforme Figura 16.

Figura 16 - Análise de reciclagem da sobra de material dentro da empresa



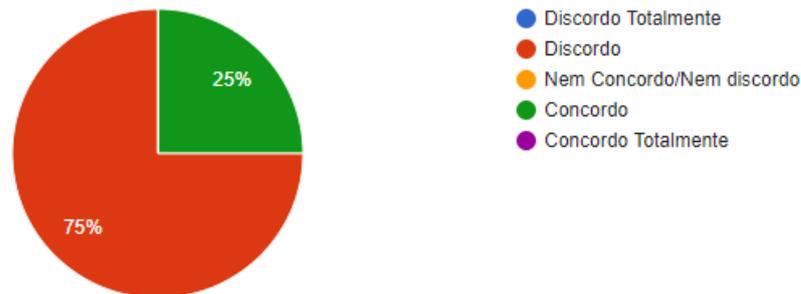
Fonte: Autora (2022)

Para a questão que aborda a reinserção da sobra de material em algum outro processo produtivo da empresa, somente a Empresa A, reinsere o resíduo em alguma etapa do seu processo produtivo, porém, durante a resposta do questionário, não foi informado qual o processo e nem o tipo de resíduo. Já as demais empresas, discordam da afirmativa, por não realizar esta prática, como ilustra a Figura 17. De acordo com a CNI (2017), definir metas para melhor aproveitamento ou reuso do insumo é de extrema importância para este segmento.

Por fim, a destinação dos resíduos deve ser encarada pelos empresários como fator de risco, podendo contribuir de forma positiva para a natureza e a empresa, ou não, dependendo das decisões tomadas.

A P+L trata-se de uma ferramenta de gestão ambiental direcionada para os ganhos diretos do processo produtivo, evitando desperdícios relacionados aos insumos e energia. Nessa perspectiva oportuniza a otimização, ocorrendo ganhos indiretos relacionados com redução dos custos com o tratamento e a disposição final dos resíduos gerados.

Figura 17 - Análise sobre reinserção do resíduo no processo produtivo



Fonte: Autora (2022)

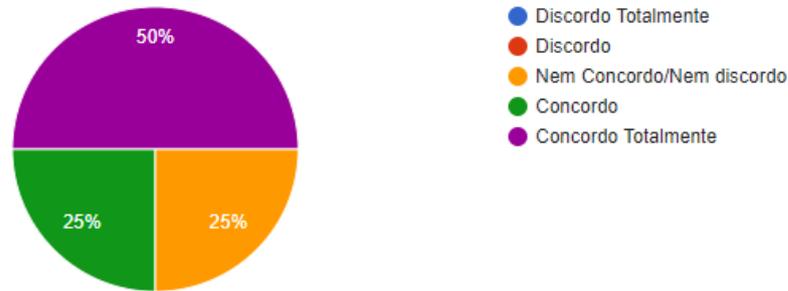
4.1.1.6 *Processo Produtivo*

As práticas da P+L, implicam em uma análise do processo de fabricação e elaboração, eliminando anomalias eminentes e causadores de impactos ambientais, buscando soluções e melhorias nos processos, a fim de contribuir para a otimização dos resultados (GUARDA, 2016).

Um exemplo de fator de competitividade no mercado, é o investimento em maquinários modernos e cada vez mais inteligentes. A qualidade do equipamento utilizado é sempre um fator-chave no melhor desenvolvimento de qualquer indústria, inclusive no quesito de sustentabilidade. Para que se promova inovação no setor, as máquinas da indústria têxtil devem ser adequadas para elevar a produção, poluindo cada vez menos (FCEM, 2019).

Assim sendo, todas as empresas estudadas efetuam troca de equipamentos devido alto consumo de insumos. Porém, conforme Figura 18, a maioria das empresas realizam manutenção preventiva nos equipamentos a fim de identificar problemas, já a empresa B, não concorda e nem discorda da afirmativa, alegando que dependendo do maquinário e processo, não é viável interromper previamente o processo produtivo, optando algumas vezes, pela manutenção corretiva.

Figura 18 - Percentual de empresas que realizam manutenção preventiva nos equipamentos

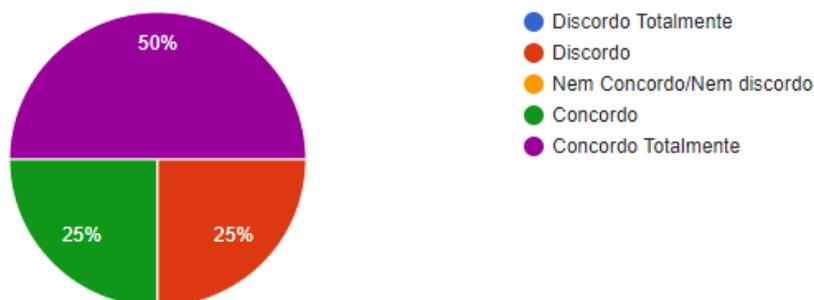


Fonte: Autora (2022)

O controle dos custos no processo produtivo, auxilia na redução de desperdícios de insumos, desempenho e tomada de decisão e implantação de processos. Sendo assim, todos os casos estudados possuem controle de custo do processo produtivo e executa constantemente, planos de ações para otimizar custos. Um fator contribuinte para o controle de custos, é o planejamento, que pode ser realizado por meio de plano de ação, objetivando reduzir os custos do processo produtivo.

Com a afirmativa “A empresa efetua modificações no produto final (embalagem, rótulo ou outro) devido a observação de melhorias para o meio ambiente”, apenas a empresa C discorda, assegurando que não é comum realizar esta prática, já as demais empresas, compactuam da afirmativa, conforme Figura 19. Entretanto, todos os produtos das empresas estudadas, inclusive embalagens, são adequadas as normas ambientais, sem causar prejuízo às pessoas e ao meio ambiente.

Figura 19 - Análise de modificações no produto final das empresas



Fonte: Autora (2022)

Este resultado, reafirma que toda empresa visa o lucro como forma de se sobressair frente aos concorrentes, muitas vezes a estratégia utilizada, é entregar ao consumidor um produto de preço mais baixo no mercado. Esta estratégia, nem sempre considera os custos ecológicos, tratando o meio ambiente isoladamente dos negócios (CRAVOL; FERREIRA, 2012).

Outra estratégia de lucratividade para as indústrias é padronizar seus processos para garantir maior eficiência, a mesma, pode ser adquirida através de análises de indicadores de desempenho produtivo. Desta forma, pode-se afirmar que os casos estudados, usufruem dessa estratégia ao afirmar unanimemente que analisa a eficiência dos processos produtivos e padroniza-os.

Para Uniethos (2013), a inovação é a principal estratégia para aprimorar processos e torná-los mais eficientes e sustentáveis. Seja aplicada a uma etapa específica, ou de maneira transversal em toda uma cadeia, permite que atividades que sempre foram executadas da mesma maneira possam ser reinventadas e causem menos impactos sociais e ambientais. À vista disso, as empresas realizam mudanças tecnológicas (modificações no processo e nos equipamentos) a fim de reduzir seus resíduos e evitar poluição.

Nas indústrias manufatureiras, as tecnologias emergentes da indústria 4.0, habilitam as empresas a adotarem estratégias para coletar dados ao longo do ciclo de vida do produto, variando entre propriedades do material e parâmetros do processo (TAO *et al.*, 2018).

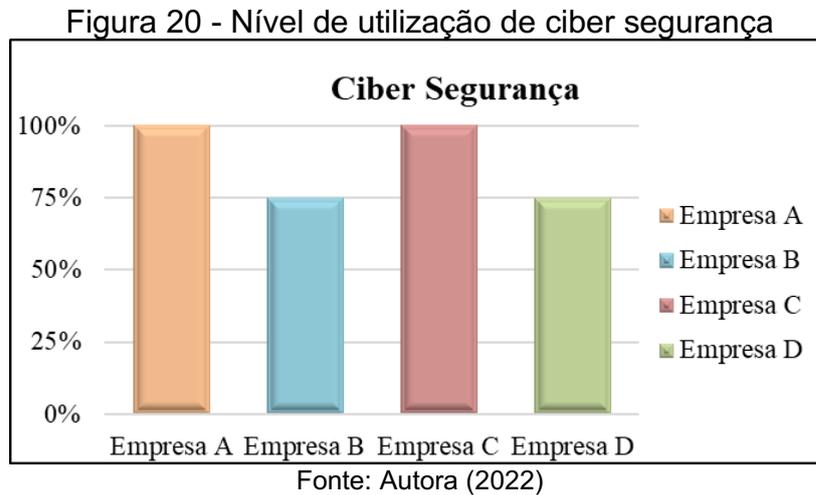
4.1.2 Indústria 4.0

Para analisar as empresas quanto ao tema da Indústria 4.0, os resultados dos dados obtidos, foram analisados respectivamente, quanto ao nível de utilização das tecnologias, a sua relevância e desafios identificados para implantação nos processos produtivos.

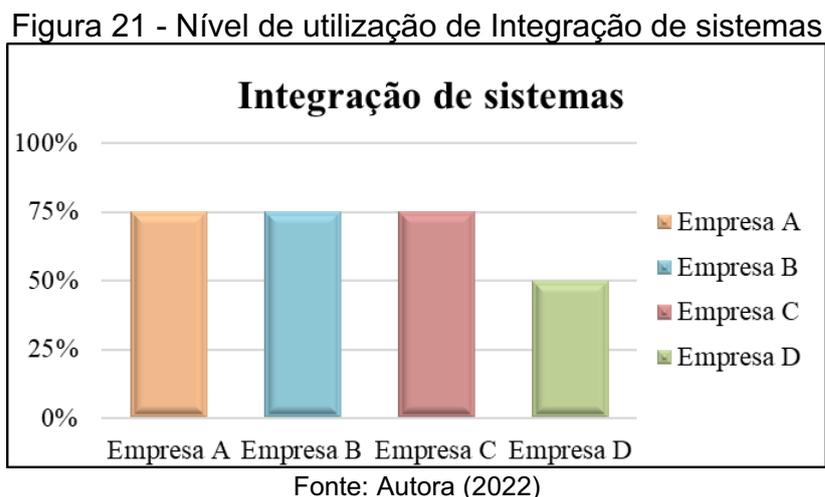
4.1.2.1 Nível de utilização das tecnologias

Como uma indústria em expansão, a indústria de manufatura permanece vulnerável a ataques cibernéticos. É importante que os fabricantes incluam a ciber

segurança como parte de seus orçamentos (REN *et al.*, 2017). Dentre os resultados obtidos, nota-se através da Figura 20 que as empresas A e C, utilizam totalmente a tecnologia ciber segurança, já as empresas B e C, correspondem à utilização de 75% de utilização em seus processos produtivos.

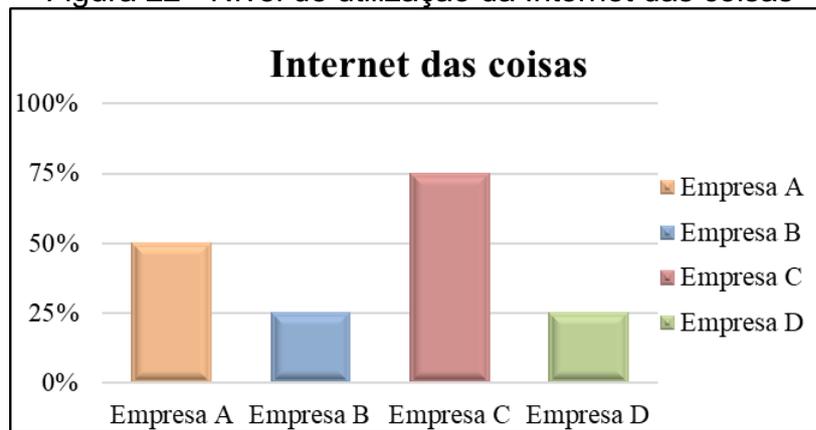


Outra tecnologia com elevada utilização pelas empresas pesquisadas é integração dos sistemas, com exceção da empresa D, todas possuem 75% de utilização da tecnologia em sua cadeia produtiva, conforme Figura 21.



A Internet das coisas é a tecnologia em que mais varia seu nível de utilização quando comparadas entre as empresas. De acordo com a Figura 22, nota-se que a empresa C é a que mais utiliza a tecnologia, mensurada com 75% de utilização, a empresa A também utiliza a tecnologia com menor intensidade (50%), já as empresas B e D, pouco utilizam a tecnologias.

Figura 22 - Nível de utilização da Internet das coisas



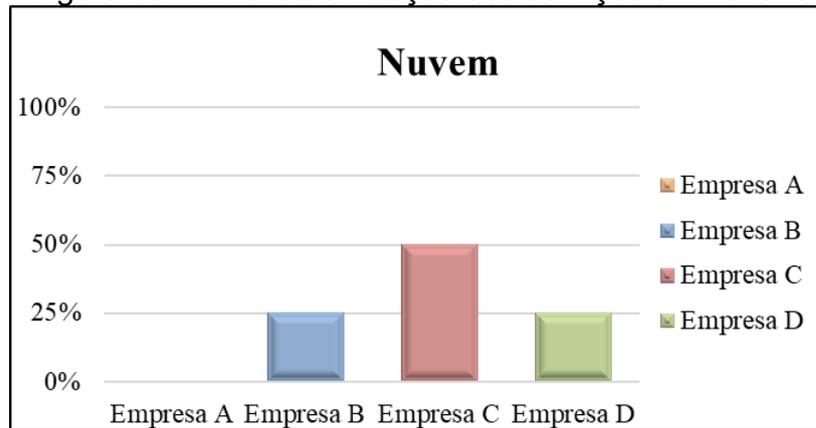
Fonte: Autora (2022)

Mesmo os serviços em nuvem considerado por Frank *et al.* (2019) como sendo a tecnologia básica com solução mais acessível usada pelas empresas e que para Shafiq *et al.* (2015) seja provável que o mundo da produção se torne cada vez mais em rede até que tudo esteja interligado, nem todas as empresas estudadas utilizam os serviços em nuvens, como é o caso da empresa A (Figura 23).

Observa-se também na Figura 23 que a empresa C é a que mais armazena seus dados em nuvem, e as empresas B e D pouco utilizam esta tecnologia. Além disso, apenas as empresas A e B fazem uso de robôs autônomos, mesmo assim, ainda com pouca utilização; em contrapartida, as empresas C e D não fazem uso desta tecnologia.

A tecnologia de realidade aumentada, é usada apenas na empresa A, porém, com pouca utilização, apenas 25%. Outra tecnologia utilizada apenas por uma empresa, é a simulação, também no total de 25%, representando um baixo uso. Por fim, a tecnologia manufatura aditiva não é utilizada em nenhuma das empresas conforme resultado da pesquisa.

Figura 23 - Nível de utilização dos serviços em nuvens



Fonte: Autora (2022)

4.1.2.2 *Nível de relevância das tecnologias*

Considerando ainda as mesmas tecnologias abordadas na subseção anterior, no segundo questionamento, os entrevistados selecionaram três das nove tecnologias que eles consideram mais relevantes para suas empresas, resultando no Quadro 2, sendo as tecnologias big data e integração de sistemas, as mais relevantes de acordo com os respondentes.

Através dos mesmos dados, 3 das 4 empresas consideram integração dos sistemas e big data como as tecnologias mais relevantes para suas empresas e 2 empresas, representando 50% do total das empresas consideram internet das coisas e simulação também relevantes. Além disso, apenas a Empresa D consideram a tecnologia realidade aumentada como sendo uma tecnologia relevante.

Para Frank *et al.* (2019), as tecnologias IoT, big data e serviços em nuvem, são consideradas tecnologias bases para propiciar a interconectividade, além de fornecer a inteligência dos novos sistemas de fabricação. Entretanto, o serviço em nuvem não foi mencionado por nenhuma empresa como uma tecnologia fundamental para I4.0, bem como as tecnologias manufatura aditiva e ciber segurança.

Quadro 2– Tecnologias mais relevantes de acordo com as empresas estudadas

Tecnologias	<i>Empresa A</i>	<i>Empresa B</i>	<i>Empresa C</i>	<i>Empresa D</i>
Ciber Segurança				
Big Data		X	X	X
Integração de sistemas	X	X	X	
Internet das coisas			X	X
Robôs Autônomos	X			
Realidade Aumentada				X
Simulação	X	X		
Nuvem				
Manufatura Aditiva				

Fonte: Autora (2022)

4.1.2.3 *Desafios encontrados*

Sabe-se que o desenvolvimento da Indústria 4.0 no Brasil envolve desafios que vão desde investimentos em equipamentos que integre as tecnologias, à adaptação de processos e *layouts*, além das formas de relacionamento entre empresas ao longo da cadeia produtiva, no fator humano e técnico, a criação de novas especialidades e desenvolvimento de competências, entre outras (CNI, 2016).

Com base nisso, a terceira questão sugere aos seus respondentes selecionar três desafios que os consideram mais relevantes para implantação da I4.0 em suas empresas, o resultado pode ser identificado no Quadro 3.

Observa-se ainda no Quadro 3 que sete dos oito desafios foram mencionados pelos entrevistados, com exceção do framework regulatório, entretanto, o investimento em novas tecnologias é o maior desafio identificado, representando 75% do total das empresas estudadas. Além disso, a falta de mão de obra qualificada, mudança de modelo de negócio e padronização no modelo de indústria 4.0, são considerados desafios relevantes por 50% das empresas.

A disponibilidade dos produtos, ausência de infraestrutura e realização de pesquisas, foram desafios evidenciados apenas uma vez pelas empresas B, C e D respectivamente.

Quadro 3 – Desafios selecionados pelas empresas

Desafios	Empresa A	Empresa B	Empresa C	Empresa D
Framework regulatório				
Ausência de infraestrutura			X	
Disponibilidade dos produtos		X		
Pesquisa (Financiamento de pesquisas)				X
Falta de mão de obra qualificada			X	X
Mudança do Modelo Tradicional para um Novo Modelo de Negócio	X	X		
Padronização (Padronizar a empresa no modelo de Indústria 4.0)	X		X	
Investimento em novas tecnologias	X	X		X

Fonte: Autora (2022)

4.1.3 Beneficiamento

Esta etapa do questionário tem como objetivo analisar a receita e processo do pré-alvejamento de algodão das empresas estudadas. Foi identificado que todas elas utilizam peróxido de hidrogênio (H₂O₂), Soda Caustica (NaOH), detergente e sequestrante em seu pré-tratamento.

Os dados informados pelas empresas quanto à concentração dos reagentes e parâmetros do processo, estão identificados na Tabela 8, além disso, foi calculada a média dos valores de cada empresa, para determinar a receita do processo convencional utilizado neste trabalho.

Tabela 8 - Dados da formulação e processos de pré-alvejamento das empresas

	Receita (g/L)				Processo			
	H₂O₂	NaOH	Detergente	Sequestrante	Temperatura (°C)	Tempo (min)	Nº Lavagens	Neutralização
Empresa A	2,0	2,0	1,0	1,5	95	90	1	Enzima
Empresa B	1,5	2,5	1,2	0,5	98	20	1	Enzima
Empresa C	2,5	2,0	1,0	1,0	95	45	2	Enzima
Empresa D	2,5	3,0	0,6	0,4	95	87	1	Enzima
Média	2,1	2,4	1,0	0,9	96	61	1	

Fonte: Autora (2022)

Basicamente a concentração de cada reagente foi a mesma, assim como a temperatura e número de lavagens. O tempo do processo foi o que mais divergiu, isso se dá, devido à ausência de especificação no questionário e pela subjetividade da pergunta, mesmo assim, para o processo de pré-alvejamento convencional, utilizou-se o tempo de 30 minutos à 95°C de temperatura.

Como o branqueamento é realizado em altas temperaturas de trabalho, o processo consome muita energia. Além disso, vários produtos químicos auxiliares são adicionados ao banho, o que aumenta os valores de Carbono Orgânico Total (TOC) e Demanda Química de Oxigênio (DQO) dos efluentes (MOJSOV, 2016).

Ademais, eliminar o residual de peróxido de hidrogênio no substrato após o branqueamento demanda um grande volume de água, pois, se não eliminar, pode impactar nas operações de tingimento e podem comprometer a fibra (RAHMAN *et al.*, 2020).

Entretanto, o método de eliminação do peróxido através de enzimas é unânime em todas as empresas, não foi especificada qual, portanto, neste trabalho foi utilizado a catalase. Isso corrobora com as respostas referentes à etapa do questionário no item Produção Mais Limpa em que a maioria das empresas buscam modificar produtos e processos para evitar geração de resíduos.

Diante do aumento da informatização, globalização e inovação tecnológica nas últimas décadas, as empresas têm buscado alternativas para redução de custos nas operações e maior flexibilidade em seus processos (FALANI *et al.*, 2019). Com isso, a automação industrial tornou-se essencial para as indústrias que planejam otimizar os processos e obter assim, uma maior qualidade.

O controle de qualidade na indústria, objetiva analisar a eficiência e eficácia dos processos, buscando evitar desperdícios, falhas e gargalos, a fim de reduzir custos e tempo do processo produtivo, para enfim, alcançar a satisfação do cliente (REITER, 2019).

Uma alternativa encontrada em todos os casos estudados para garantir a qualidade do substrato no processo de beneficiamento, é a utilização da cozinha automatizada, que consiste em um maquinário com inteligência para preparar automaticamente a receita do processo. Todas as empresas dosam automaticamente os reagentes químicos, com exceção do sal e da barrilha que são inseridos manualmente.

A cozinha automatizada garante redução de reprocesso, já que a receita é preparada com base no peso líquido do substrato e é ajustado automaticamente a relação de banho. Além disso, contribui para a saúde do funcionário, eliminando ou reduzindo a periculosidade (o perigo que o colaborador corre ao executar sua função no ambiente de trabalho) e a insalubridade (o colaborador sofre danos progressivos, conforme o tempo na função) devido à ausência de contato direto com os agentes tóxicos utilizados comumente no beneficiamento têxtil.

Porém, ao inserir e retirar manualmente o substrato dos maquinários, a periculosidade e insalubridade poderá permanecer, pois, no processo de beneficiamento os resíduos e excesso de produtos químicos tóxicos, poderão permanecer na superfície do material. Isso ocorre em todas as empresas do estudo.

Com o avanço das tecnologias e inovação, o uso da indústria 4.0 está cada vez mais em ascensão. Como já falando anteriormente, a I4.0 tem como um dos seus objetivos ampliar paradigmas de interação homem-máquina e facilitar a comunicação entre peças, produtos e máquinas (RÜBMANN *et al.*, 2015). Com base nisso, maquinários estão sendo desenvolvidos e aperfeiçoados com uso de controladores de processo, inclusive, todas os casos estudados, possuem este recurso nos seus maquinários.

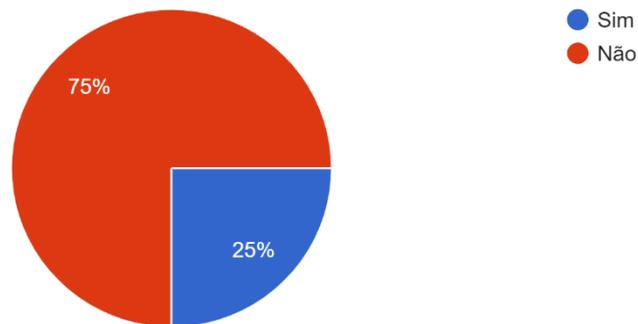
O controlador de processos, possibilita o comando automático de alguns parâmetros variáveis no beneficiamento, como temperatura do processo, tempo e pH, onde o último não é utilizado em nenhuma das empresas. Além disso, possibilita o acompanhamento em tempo real do processo e a receita utilizada.

Entretanto, todas as empresas estudadas afirmam que trabalham com receitas e ordens de produção impressas, pressupõe que é utilizado assim, devido à ausência da integração de dados dos painéis de controle das máquinas com o ERP da empresa. Contrapondo a isso, a Indústria 4.0 é caracterizada pela integração e controle da produção, com base em sensores e equipamentos conectados em rede e na fusão do mundo real com o virtual (CNI, 2018a).

Através da conectividade dos equipamentos e sensores, é possível realizar a leitura de cor do banho para analisar a recuperação ou não da água, através de parâmetros já pré-estabelecidos para o equipamento tomar a decisão de recuperação ou descarte sem interferência humana. Porém, nenhum dos casos estudados possuem este recurso.

Além disso, apenas uma empresa, a Empresa D, possui controle automático de recuperação de água no seu processo (Figura 24), porém, não foi especificado em qual etapa do processo ocorre a recuperação do banho. As demais empresas, não utilizam este recurso.

Figura 24 - Empresas que possuem recursos automáticos para a recuperação de água



Fonte: Autora (2022)

Os resultados apresentados do estudo de casos múltiplos subsidiaram a proposta de pré-alveamento de algodão com sugestões de melhorias do processo a partir das lacunas identificadas na pesquisa.

4.2 CONSOLIDAÇÃO DO PRÉ-TRATAMENTO ENZIMÁTICO

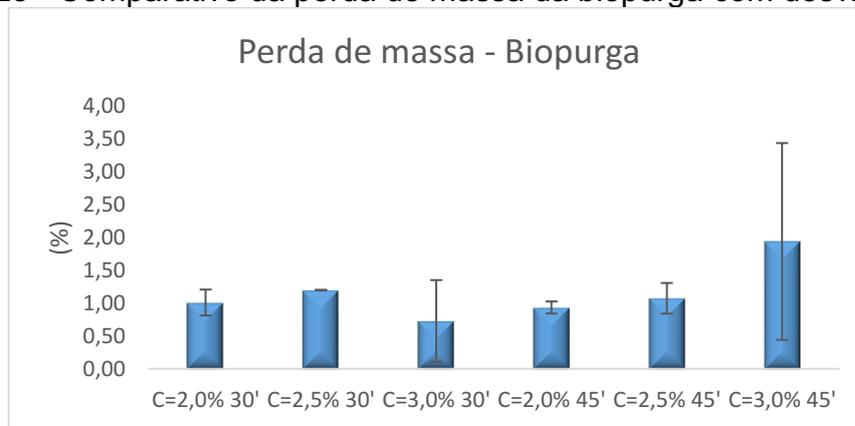
A consolidação do pré-tratamento enzimático deste trabalho ocorreu em três etapas: a determinação da biopurga, definição do tipo de processo (separado ou simultâneo), temperatura do processo e, por fim, a definição da concentração ideal dos produtos químicos empregados no processo.

4.2.1 Biopurga

A biopurga foi consolidada após a realização de testes preliminares conforme os parâmetros identificados na Tabela 7, considerando o banho nas condições de pH igual a 7,5 e temperatura de 55 °C. O processo foi realizado em triplicata e em seguida foram analisadas a perda de massa, hidrofiliidade e a leitura do grau de branco das amostras e comparadas mediante a variação de concentração do complexo enzimático e tempo do processo.

Ao analisar a perda de massa das amostras, a condição do processo que menor apresentou perda de massa foi com a concentração do complexo enzimático a 3,0% no tempo de 30 minutos, seguido da concentração de 2,0% do complexo enzimático à 45 minutos, obtendo uma média de 0,94% de perda de massa. Considerando este resultado, mediante o desvio padrão identificado através de uma barra na Figura 25, as amostras que mais obtiveram perda de massa foram com a concentração de 3,0% de complexo enzimático durante 45 minutos.

Figura 25 - Comparativo da perda de massa da biopurga com desvio padrão



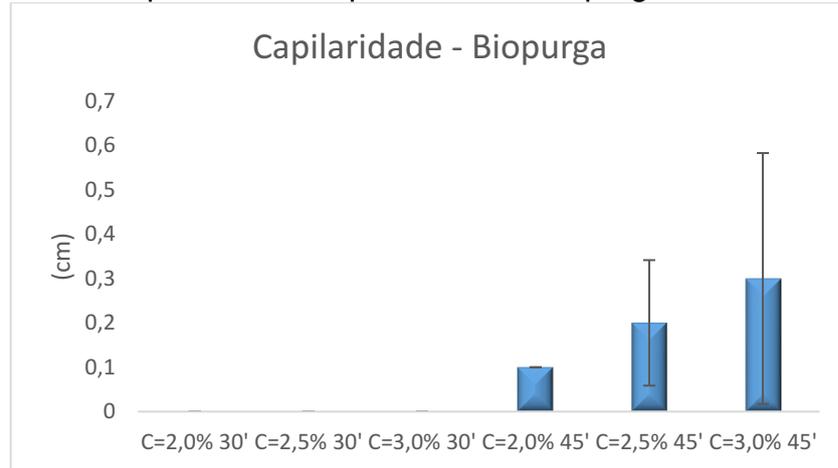
Fonte: Autora (2022)

Considerando a biopurga do estudo de SILVA (2013) onde a autora utiliza a combinação das enzimas lipase, pectinase e celulase em seu processo, em uma temperatura de 50°C, 5°C a menos que a utilizada na presente pesquisa, considerando também 5 minutos a menos do processo, a perda de massa correspondeu a 7,19%, sendo superior em todos os processos testados na realização da biopurga, este resultado pode ter ocorrido devido a diferença da atividade enzimática das enzimas ao serem utilizadas isoladamente comparada a utilizada em um complexo enzimático.

Conforme Figura 26, todos os testes de biopurga realizados durante o tempo de 30 minutos não apresentaram absorção da solução de corante no teste de capilaridade. No tempo de 45 minutos de processo, observou-se que a concentração de 3,0% apresentou maior absorção da solução, entretanto, o seu desvio padrão é maior, correspondendo a 0,28, em sequência decrescente, o processo com 2,5% de concentração do complexo enzimático apresentou uma média de 0,2 cm na absorção do corante ao completar 2 minutos após contato com a solução. Por fim, a concentração de 2,0% a 45 minutos apresentou uma média de 0,1 cm de absorção

da solução com corante. Onde os resultados obtidos diferem do processo de biopurga da Silva (2019), onde a mesma utilizou o mesmo complexo enzimático para analisar a influência da temperatura e tempo do processo na biopurga. Considerando uma média de 2% de concentração do complexo enzimático, a temperatura de 55°C em 45 minutos apresentou maior capilaridade que o presente estudo.

Figura 26 - Comparativo da capilaridade da biopurga com desvio padrão

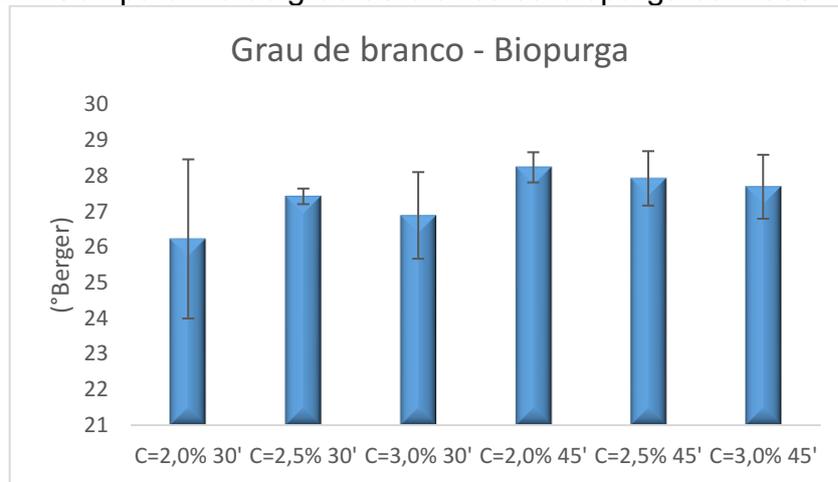


Fonte: Autora (2022)

Entretanto, ao avaliar o grau de branco o processo com 2,0% do complexo enzimático apresentou maior grau de branco comparado aos demais processos, resultando em 28,24 graus Berger, obtendo maior grau de alvura ao comparar com a biopurga realizada com as enzimas pectinase, celulase e lipase (24,99 °Berger) e a purga convencional (27,48 °Berger) da pesquisa de Silva (2013). Mesmo variando as concentrações do complexo enzimático, os processos com tempo de 30 minutos apresentaram menor grau de branco, conforme Figura 27. No entanto, observa-se que não houve variações expressivas do grau de branco ao variar os parâmetros do processo.

Diante dos resultados apresentados na Figura 27, conclui-se que a concentração de 2,0% de complexo enzimático no tempo total de processo de 45 minutos à temperatura de 55°C, proporcionou melhores condições para grau de branco, portanto, foram adotados esses parâmetros nos processos subsequentes.

Figura 27- Comparativo do grau de branco da biopurga com desvio padrão



Fonte: Autora (2022)

A escolha da concentração a 2,0% a 45 minutos é baseada principalmente nos resultados do grau de branco e menor perda de massa, pois, a menor capilaridade pode ser suprida com o uso de umectante no processo de tingimento que é comumente realizado por esgotamento nos substratos de malha. Da mesma forma, novos estudos com outras combinações enzimáticas associadas a outros umectantes são sugeridos para a obtenção de melhor umectação.

4.2.2 Determinação da temperatura e tipo do processo

Com a biopurga definida, foi testada a redução de temperatura no pré-alvejamento considerando três variáveis, 95°C, 85°C e 75°C respectivamente. Tanto no processo convencional quanto em banhos separados (PAE I), onde ambos foram realizados em triplicata. Este processo teve como objetivo determinar a temperatura ideal do processo e o tipo de processo a ser utilizado.

O processo convencional foi realizado considerando a redução de temperatura para usar como fins comparativos no processo de pré-alvejamento em malhas biopurgadas, conforme processo detalhado na Figura 8. Em seguida, os substratos foram caracterizados por meio de ensaios de perda de massa, capilaridade, grau de branco, resistência e alongamento, onde os resultados estão resumidos na Tabela 9.

Tabela 9 - Resumo das caracterizações dos processos com diferentes temperaturas e desvio padrão

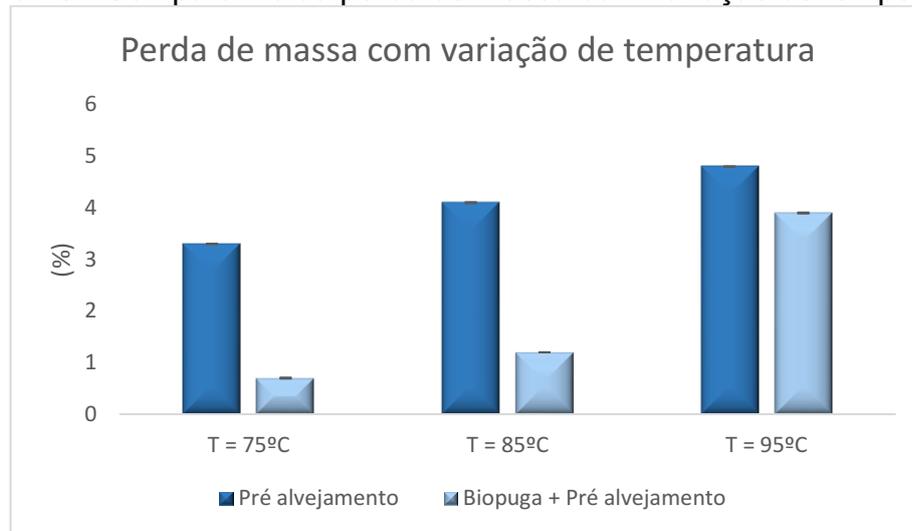
Processo	Perda de massa (%)	Capilaridade (cm)	Grau de branco (°Berger)	Resistência (N)	Alongamento (%)
Pré alveamento 75°C	3,3 ± 0,00	0,2 ± 0,21	44,95 ± 0,49	199 ± 38,18	149,1 ± 8,06
Pré alveamento 85°C	4,1 ± 0,01	0,6 ± 0,42	49,48 ± 1,53	211 ± 12,02	144,9 ± 0,42
Pré alveamento 95°C	4,8 ± 0,00	2,3 ± 1,77	56,78 ± 0,07	205 ± 38,18	128,7 ± 15,70
Bio + Pré alveamento 75°C	0,7 ± 0,01	0,6 ± 0,35	49,07 ± 1,02	213 ± 5,66	142,5 ± 2,12
Bio + Pré alveamento 85°C	1,2 ± 0,00	1,3 ± 1,06	56,34 ± 1,44	221 ± 5,66	150,0 ± 4,24
Bio + Pré alveamento 95°C	3,9 ± 0,01	5,5 ± 0,00	63,21 ± 0,15	255 ± 17,68	145,5 ± 7,21

Fonte: Autora (2022)

Na Figura 32, observa-se que mesmo variando a temperatura, o processo convencional, identificado em azul escuro, apresentou maior perda de massa comparado aos processos enzimáticos (em azul claro no gráfico) nas mesmas temperaturas. Observa-se que em ambas condições dos processos quanto maior a temperatura mais a perda de massa.

Os resultados obtidos na biopurga enzimática da Silva (2013), onde a mesma realizou a biopruga enzimática com as mesmas enzimas desta pesquisa, com a mesma temperatura de 55°C e tempo de 40 minutos, sendo 5 minutos à menos do que o realizado nos processos apresentados na presente pesquisa, cuja a inativação da enzima ocorreu à temperatura de 95°C, resultando na perda de massa de 7,19%, superior a todas as perdas de massa dos processos presentes na Figura 28. Uma das hipóteses para esta diferença pode estar relacionada ao processo ser realizado com um produto comercial, cuja a concentração da celulase ser predominante maior que as demais enzimas contribuindo para o aumento da perda de massa.

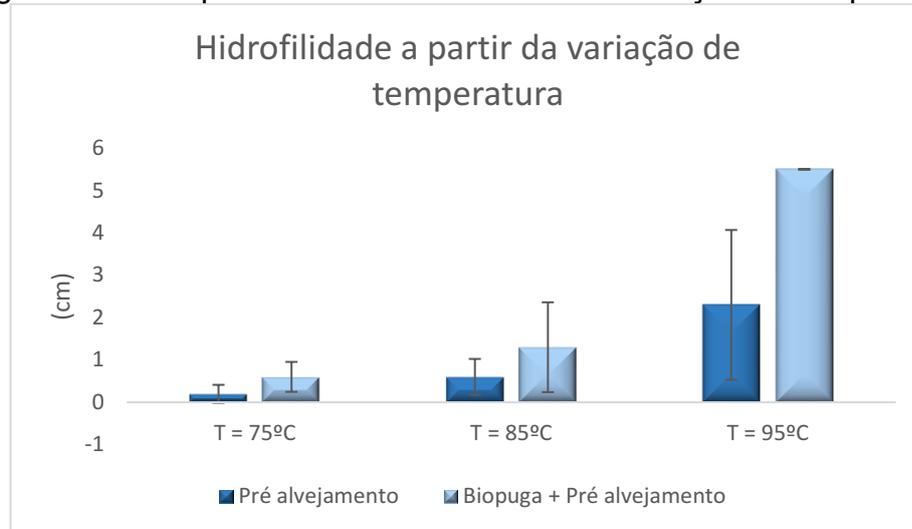
Figura 28 - Comparativo da perda de massa com variação de temperatura



O processo de pré-alvejamento enzimático combinado apresentou maior hidrofiliidade ao comparar com o processo puramente convencional, onde a temperatura de 95°C apresentou maior hidrofiliidade em ambos processos, conforme Figura 29. Assim como na pesquisa de Silva (2019), no processo enzimático com acréscimo de peróxido de hidrogênio, as maiores médias de hidrofiliidade foram obtidas em condições de maior temperatura.

Frizoni e Souza (2011) ao realizar o pré-alvejamento à 95°C no tempo de 30 minutos, da mesma forma que o pré-alvejamento convencional nesta pesquisa, identificou que a hidrofiliidade analisada após 5 minutos foi de 2,2 cm, apesar das concentrações dos reagentes serem diferentes, o resultado foi semelhante ao apresentado nas mesmas condições do processo onde a hidrofiliidade a 2 minutos foi de 2,3%.

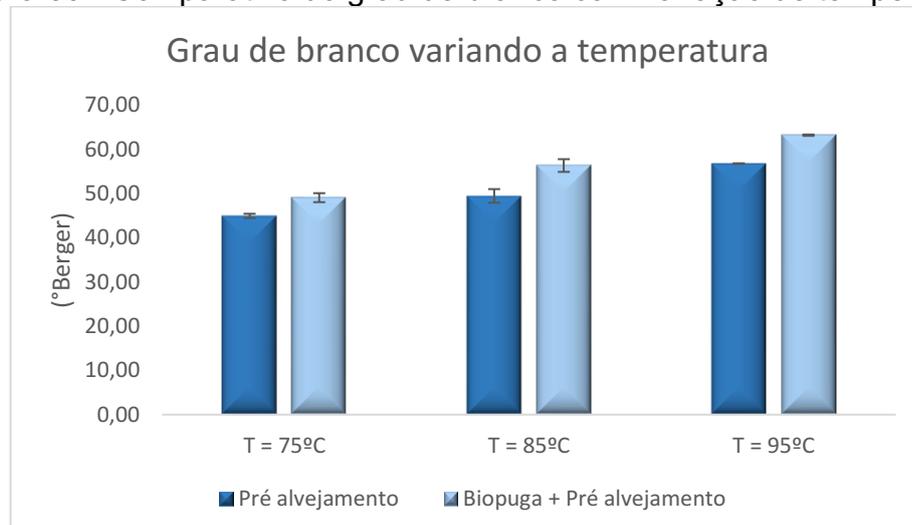
Figura 29 - Comparativo de hidrofildade com variação de temperatura



Fonte: Autora (2022)

Por meio da Figura 30, observa-se que o grau de branco do processo enzimático é de 56,34 °Berger, semelhante ao processo convencional (95 °C) cujo o grau de branco é de 56,78 °Berger. Neste caso, mesmo com uma pequena diferença, é possível observar que os processos enzimáticos apresentaram maior grau de branco ao comparar com o processo convencional nas mesmas condições de temperatura. Além disso, assim como no trabalho do Custodio (2019) que analisou a influência do grau de branco em diferentes temperaturas e concentrações dos reagentes no processo de alvejamento convencional, a temperatura foi o parâmetro que apresentou maior contribuição para o grau de branco, aumentando progressivamente o grau de branco mediante o aumento da temperatura.

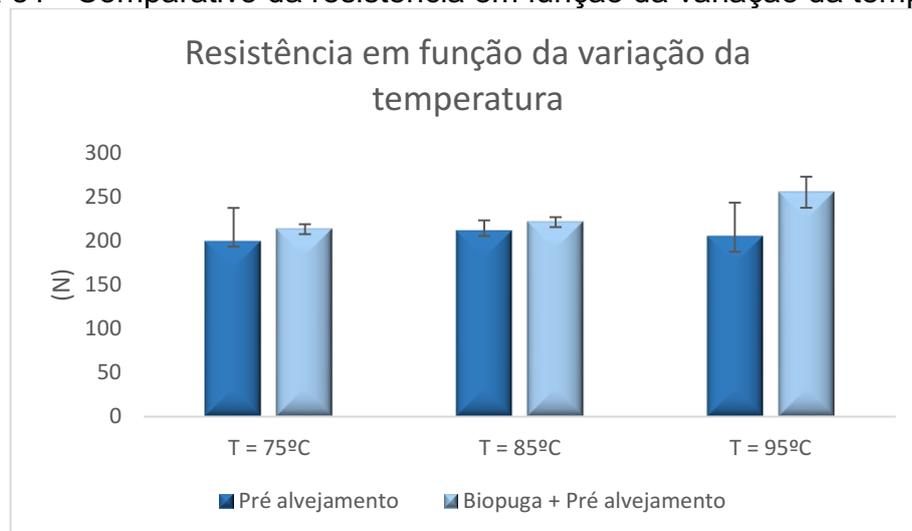
Figura 30 - Comparativo do grau de branco com variação de temperatura



Fonte: Autora (2022)

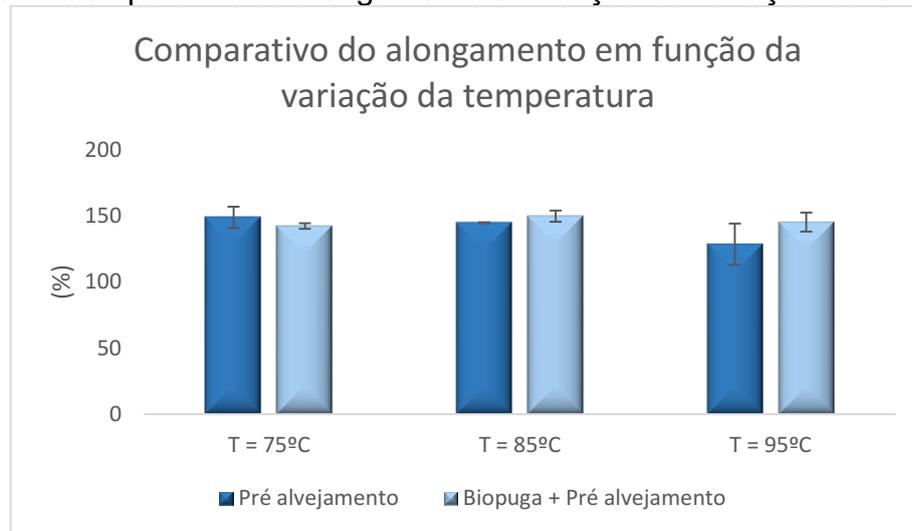
Ao comparar os processos convencionais e enzimáticos na temperatura de 85 °C, é possível perceber que não houve variação expressiva da resistência das amostras, principalmente ao considerar o desvio padrão, entretanto, na temperatura de 95°C, a resistência no processo combinado de biopurga e pré-alvejamento convencional foi maior que todos os processos, correspondendo a 255 N, conforme Figura 31.

Figura 31 - Comparativo da resistência em função da variação da temperatura



Diferentemente do comportamento do alongamento por urdume dos substratos analisados, onde o comportamento foi semelhante em todos os processos nas condições distintas de temperatura e tipo de processo, como pode ser identificado através da Figura 32. O alongamento do pré-alvejamento convencional à 75°C corresponde a aproximadamente ao resultado obtido do alongamento dos substratos à temperatura 85°C no processo de pré-alvejamento enzimático, que correspondeu a 150%.

Figura 32 - Comparativo do alongamento em função da variação da temperatura



Fonte: Autora (2022)

Diante dos resultados obtidos, optou-se por considerar como ideal a temperatura de 85°C, principalmente no que se refere ao grau de branco, onde o resultado obtido foi equivalente ao convencional à temperatura de 95°C. Em seguida, foi realizado um estudo para determinar o tipo de processo, conforme mencionado anteriormente, pré-alvejamento enzimático com banho separado (PAE I) e processo de pré-alvejamento simultâneo mantendo o mesmo banho no processo (PAE II). O resumo dos resultados obtidos está na Tabela 10.

Tabela 10 – Comparativo da caracterização nos processos PAE I e PAE II e os desvios padrão

Processo	Perda de massa (%)	Hidrofilidade (cm)	Grau de branco (°Berger)	Resistência (N)	Alongamento (%)
PAE I	1,2 ± 0,00	1,3 ± 1,06	56,34 ± 1,44	221 ± 5,66	150,0 ± 4,24
PAE II	0,5 ± 0,00	3,8 ± 0,35	54,39 ± 0,23	239 ± 14,14	146,6 ± 4,45

Fonte: Autora (2022)

Ao unificar o banho do processo, a perda de massa do substrato reduziu aproximadamente 58% ao comparar com o processo em que a água do banho foi repostada a cada etapa do processo. No PAE I, a perda de massa é de 1,2% e no PAE II é de 0,5%, conforme Figura 33.

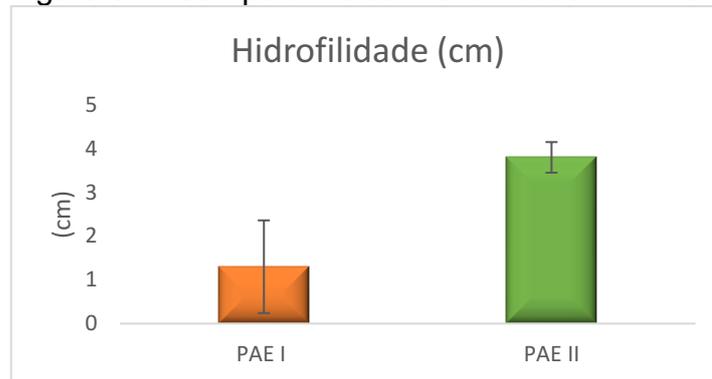
Figura 33 - Comparativo da perda de massa PAE I e II



Fonte: Autora (2022)

De acordo com a Figura 34, no que se refere a hidrofiliidade, o PAE II apresentou 3,8 cm de absorção da solução com corante turquesa e no PAE I 1,3 cm considerando o mesmo tempo de 2 minutos. Onde o PAE II obteve um aumento de aproximadamente 292% da hidrofiliidade ao comparar com o PAE I.

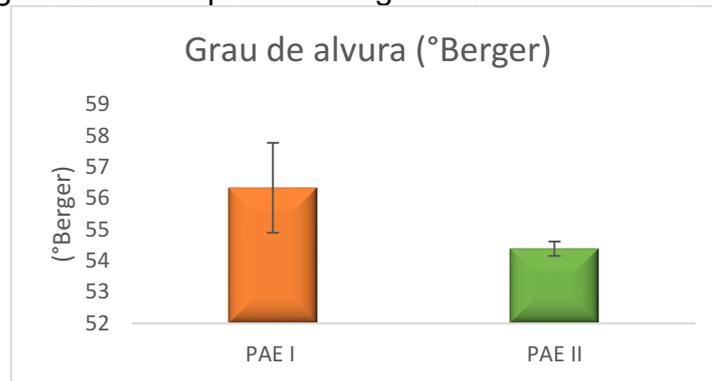
Figura 34 - Comparativo da hidrofiliidade PAE I e II



Fonte: Autora (2022)

Avaliando os resultados de alvura, por meio do grau de branco, o PAE I apresentou maior grau de branco ao comparar com o PAE II, conforme pode ser observado na Figura 35. Reis (2016) no bioalveamento com peróxido de hidrogênio em um único banho obteve grau de branco de 52 °Berger no procedimento realizado em laboratório, entretanto o grau de branco obtido no mesmo tipo de processo (banho único) desta pesquisa foi de 54,39 °Berger.

Figura 35 – Comparativo do grau de alvura de PAE I e II



Fonte: Autora (2022)

De acordo com a Figura 36, identificou-se que os substratos obtidos no processo de banho único, apresentaram maior resistência, comparados ao processo em que houve troca do banho, sendo de 239 N no PAE II e no PAE I, 221 N. Até mesmo considerando o desvio padrão para menos no PAE II a resistência deste processo ainda é superior ao PAE I. Entretanto, conforme Figura 37, o alongamento por urdume das malhas no PAE I foi maior que o PAE II, sendo a diferença de apenas 3,4% entre os resultados obtidos nos dois processos.

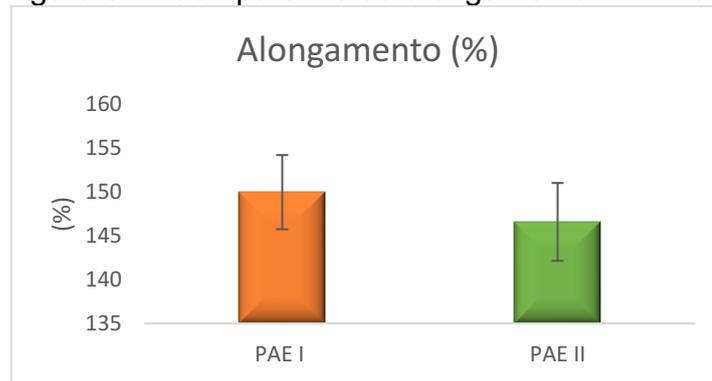
Figura 36 - Comparativo da resistência PAE I e II



Fonte: Autora (2022)

Ressalta-se que apesar de Reis (2016) propor um bioalvejamento com banho único, Silva (2013) e Silva (2019) biopurga também com o banho único, em ambos os processos não foram analisados a resistência e alongamento dos substratos em suas pesquisas.

Figura 37 - Comparativo do alongamento PAE I e II



Fonte: Autora (2022)

No entanto, após as caracterizações das malhas, concluiu-se que o processo com único banho (PAE II) à temperatura de 85°C apresentou melhores condições, além de uma economia expressiva do uso de água no processo. Após definição do tipo de processo, foi realizado um novo estudo para viabilizar a redução da concentração do H₂O₂ e de NaOH.

4.2.3 Definição da concentração dos químicos

A partir da definição do tipo de banho e temperatura do processo, foram realizados testes variando a concentração dos produtos químicos (NaOH e H₂O₂) empregados no pré-alvejamento. Desta forma, os processos novamente foram realizados em triplicata partindo da concentração dos produtos químicos usados no processo convencional e nos preliminares do processo enzimático (biopurga e pré-alvejamento enzimático) e então o processo foi executado em banho único reduzindo a quantidade de NaOH e H₂O₂ gradativamente, seguindo as concentrações de 2,0;1,8;1,5;1,3 e 1,0 g/L soda cáustica e peróxido de hidrogênio (identificados na Tabela 11 como processos A, B, C, D e E, respectivamente), as concentrações do sequestrante e umectante permanecem 1,0 g/L cada em todos os processos, além da concentração de 0,5% da catalase para a neutralização do peróxido. Ressalta-se que o processo A corresponde ao PAE II do item anterior, os resultados obtidos foram repetidos para fins comparativos.

Tabela 11 - Comparativo dos processos com variação da concentração dos químicos e desvio padrão

Processo	Perda de massa (%)	Hidrofilidade (cm)	Grau de alvura (°Berger)	Resistência (N)	Alongamento (%)
A	0,5 ± 0,00	3,8 ± 0,35	54,39 ± 0,23	239 ± 14,14	146,6 ± 4,45
B	1,7 ± 0,01	3,7 ± 0,21	52,93 ± 0,80	237 ± 11,31	144,6 ± 5,94
C	3,9 ± 0,00	4,6 ± 0,57	51,60 ± 3,69	228 ± 9,19	159,3 ± 11,46
D	4,0 ± 0,00	4,7 ± 0,71	49,64 ± 1,11	201 ± 8,89	146,4 ± 9,33
E	4,5 ± 0,01	5,5 ± 0,71	49,60 ± 0,85	197 ± 12,73	146,9 ± 4,88

Fonte: Autora (2022)

De acordo com a Figura 38, observa-se que quanto menor a concentração dos químicos, maior a perda de massa, sendo que os processos B (1,8 g/L) e C (1,5 g/L) apresentou perda de massa semelhante, 3,9% e 4,0% respectivamente. Ambos resultados representaram menor perda de massa ao comparar ao processo convencional que foi de 4,8%. Além disso, observou-se que ao reduzir para 1,0 g/L dos produtos químicos no processo a perda de massa aumentou 4,0%.

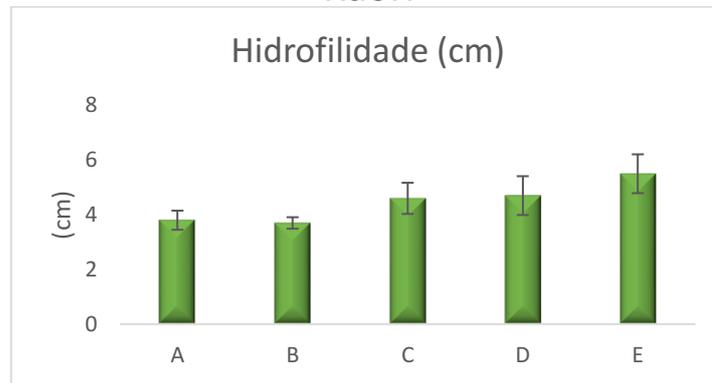
Figura 38 - Comparativo da perda de massa em diferentes concentrações do H₂O₂ e de NaOH



Fonte: Autora (2022)

Com exceção do processo B, a hidrofilidade também obteve uma crescente ao diminuir a concentração dos químicos, sendo o processo E com maior hidrofilidade, 5,5 cm, onde ao considerar o desvio padrão de 0,71, a hidrofilidade pode ser considerada a mesma nos processos C e D, conforme identificado na Figura 39.

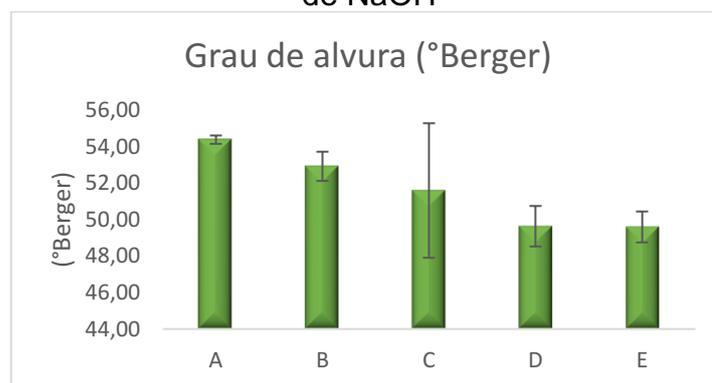
Figura 39 - Comparativo da hidrofiliidade em diferentes concentrações do H_2O_2 e de NaOH



Fonte: Autora (2022)

Analisando a Figura 40 é possível ver que quanto maior a concentração de peróxido de hidrogênio e de soda caustica, maior é o grau de branco obtido nas amostras, assim como na pesquisa de Rodrigues (2019), onde a autora utilizou o complexo enzimático para analisar a influência de alguns parâmetros do processo (concentração de H_2O_2 , tempo e distância da luz UV com a amostra) no alvejamento de malha de algodão com radiação UV. A ação exclusiva do peróxido de hidrogênio, da temperatura e do tempo age em favor de um branqueamento maior, sendo que a concentração de peróxido de hidrogênio é o que apresenta o maior efeito no processo, seguido pelo tempo e a temperatura (REIS, 2016).

Figura 40 - Comparativo do grau de alvura em diferentes concentrações do H_2O_2 e de NaOH

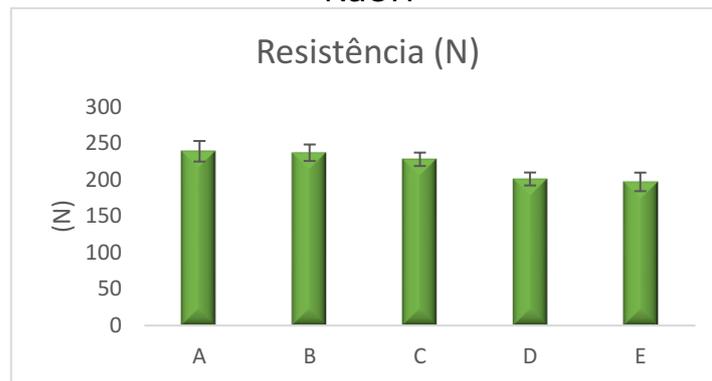


Fonte: Autora (2022)

Assim como o grau de branco, a resistência também diminui conforme redução da concentração dos químicos, como é possível identificar na Figura 41. Considerando o desvio padrão para menos, a resistência do processo A equivale a 225 N, com isso, apresenta resultado menor que ao comparar com os processos B e

C que possuem 237 e 228 N respectivamente de resistência, sem considerar o desvio padrão. Este resultado corrobora com os estudos do Custodio (2019) em que a variação da combinação do NaOH e H₂O₂ tem influência significativa na variação da resistência, onde quanto maior a concentração dos reagentes químicos, menor é a resistência dos substratos.

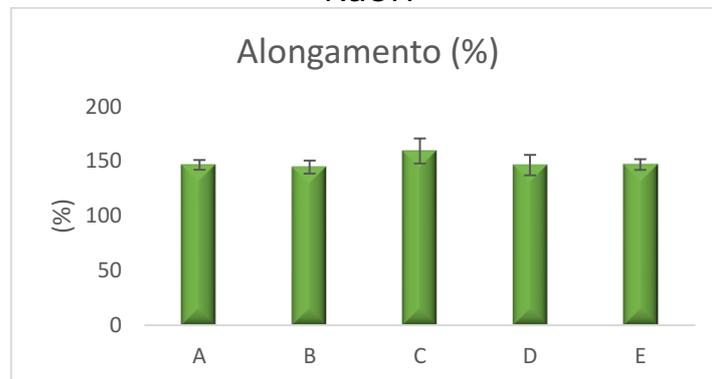
Figura 41 - Comparativo da resistência em diferentes concentrações do H₂O₂ e de NaOH



Fonte: Autora (2022)

Conforme Figura 42, o processo que apresentou maior percentual de alongamento do sentido do urdume foi o processo C com 159,3% de alongamento, entretanto, é o que apresenta maior desvio padrão, 11,46. Sendo os demais processos semelhantes ao considerar também as variações do desvio padrão.

Figura 42 - Comparativo do alongamento em diferentes concentrações do H₂O₂ e de NaOH



Fonte: Autora (2022)

Através dos resultados obtidos nas caracterizações realizadas até então conforme apresentados nos subitens 4.2.1 a 4.2.3, sugere-se o processo C como ideal, considerando a concentração de 1,5g/L de soda cáustica e peróxido de

hidrogênio no processo de banho único (PAE II). Apesar do grau de branco de $51,60 \pm 3,69$ °Berger ser considerado baixo, de acordo com comparado com o obtido com o convencional ($56,78 \pm 0,07$ °Berger), esse procedimento aplica-se apenas para os tecidos de malha destinados ao tingimento com cores médias a escuras. Essa diferença se deve principalmente a altas concentrações de H_2O_2 e de NaOH utilizado no processo convencional (REIS, 2016).

Ressalta-se que nenhum dos trabalhos que foram utilizados como parâmetros comparativos desta pesquisa realizaram ensaios de resistência e alongamento em seus substratos, apesar da autora Silva (2019) mencionar como sugestão de trabalho futuro. Além disso, em todas as etapas apresentadas nos subitens anteriores foram avaliadas a decomposição do peróxido de hidrogênio, resultando em zero o residual deste elemento, em todos os processos apresentados.

4.2.4 Comparação entre os bioprocessos e o processo convencional

Comparando-se o proposto processo enzimático com o processo de alveijamento convencional, nota-se que:

- Há uma economia de água, já que todo o processo pode ser realizado em uma única etapa, resultando na redução de três volumes de água convencional para um volume no processo de pré-alveijamento enzimático em relação ao pré-alveijamento convencional.
- Decorrente da economia de água, pode-se concluir que há uma economia também no tratamento de efluente, já que o volume gerado se torna menor, reduzindo os custos do processo de tratamento de efluentes, bem como o uso da água, recurso natural cada vez mais raro;
- Redução de 10,5% de temperatura, ao reduzir a temperatura do processo de 95 °C para 85 °C, com conseqüente redução de tempo de processo e energia;
- Redução de 25% dos químicos no processo, ao mudar a concentração de 2,0 g/L para 1,5g/L de peróxido de hidrogênio e soda cáustica e mesmo assim, foi possível obter resultados melhores que o processo convencional utilizado nas indústrias têxteis do presente estudo, sendo

uma redução de aproximadamente 19% na merda de massa, aumento de 50% na hidrofiliidade, aproximadamente 10% a mais de resistência comparado ao convencional e maior alongamento do substrato no sentido do urdume em 19% ao comparar também ao convencional.

4.3 PROPOSTA DE PRÉ-TRATAMENTO ENZIMÁTICO COM USO DE TECNOLOGIAS DA I4.0 E FERRAMENTAS DA P+L

Do ponto de vista ecológico, as tecnologias da Indústria 4.0 podem reduzir o consumo de energia e recursos por meio de detecção e dados analisados em todos os processos de produção e cadeia de suprimentos (Shrouf *et al.*, 2014), para isso, propõe-se a integração dos sistemas em todas as etapas do processo produtivo da empresa, pois esta tecnologia é capaz de prever a possibilidade de ocorrer defeitos nos produtos, informar o tipo de falha, seu local e dimensão, dependendo do banco de dados inseridos no sistema (MAESTRI *et al.*, 2021).

Antes de iniciar o processo de pré-alveamento, a indústria necessita comprar os insumos cujo responsável é o setor de suprimentos, para isso, é importante a tecnologia Big Data para compilar a necessidade da quantidade e tipo de produto que será demandado no processo, além da IoT para coletar especificações dos fornecedores. Para a conscientização do uso da matéria-prima para uma melhor otimização dos recursos, é fundamental prezar por fornecedores que tenham como política a comercialização de produtos ou componentes ecológicos, como enzimas, por exemplo. A IoT desempenha um papel essencial ao transferir informações e dados para todos os atores e melhorar sua conscientização sobre novas oportunidades para uma produção mais limpa (GHOREISHI; HAPPONEN, 2022).

Com a matéria-prima disponível na indústria, inicia-se o processo de produção através do setor de planejamento e controle de produção (PCP) onde a gestão organizacional planeja a produção afim de melhor aproveitar os recursos. Para isso, sugere-se a integração de sistemas para uma automatização da comunicação em tempo real entre o chão de fábrica e o setor de planejamento através da computação em nuvem, o uso da Big Data e sistema cibernético para auxiliar na captura, análise e gerenciamento de dados de vários dispositivos, máquinas e equipamentos do processo produtivo. Monitorar dados em tempo real, rastrear o *status* e os estágios do produto, bem como manter as instruções para controlar os processos de produção,

são as principais necessidades de uma empresa para se inserir na I4.0 (VAIDYA *et al.*, 2018).

A preparação de malha corresponde ao primeiro setor operacional do processo de pré-alveamento, com isso, sugere-se que sejam promovidos treinamentos e criação de procedimentos operacionais padrão para preparar os colaboradores quanto às práticas da P+L. Silva *et al.*, (2021) corroboram que o conhecimento da ferramenta P+L é o ponto chave para a obtenção de ganhos econômicos, sociais e ambientais de uma empresa. Além do uso de equipamentos de proteção individual ao colaborador, propõe-se a adoção de robôs colaborativos nas operações ergonomicamente difíceis ou extremas, afim de preservar a saúde do trabalhador. Neste caso, sugere-se o uso de robôs para manuseio dos rolos de malhas para serem enfreadados, onde muitas vezes o peso do um rolo excede 40 kg, conforme comumente produzidos em malharias. Além dos robôs, recomenda-se o uso das tecnologias CPS e computação em nuvem para sinalizar em tempo real a equipe de preparação de malhas qual a próxima máquina que estará disponível para que preparem mediante a capacidade do maquinário, evitando retrabalhos e garantindo assertividade na qualidade da matéria-prima.

Na etapa de preparação da solução, antes de inserir uma nova demanda na máquina para a realização do processo de pré-alveamento, sugere-se o uso de sensores para leitura da cor da água utilizada nos processos de pré-alveamento e lavação, para ver a possibilidade de reaproveitamento, ou seja, se há contaminantes bem como a verificação de pH para simular e verificar a viabilidade de reaproveitamento da água para um novo processo de pré-alveamento. Esta ação faz parte da dimensão do processo e gestão dos resíduos (neste caso, de efluentes) na P+L. Além disso, através das tecnologias CPS e robôs colaborativos, propõe-se realizar a dosagem dos produtos e criação da formulação de maneira automática, além do envio dos produtos químicos diretamente para as máquinas de beneficiamento sem intervenção humana. Ressalta-se que essa prática já é utilizada em 100% das indústrias estudadas no estudo de caso, chamado de automatização da cozinha de cores.

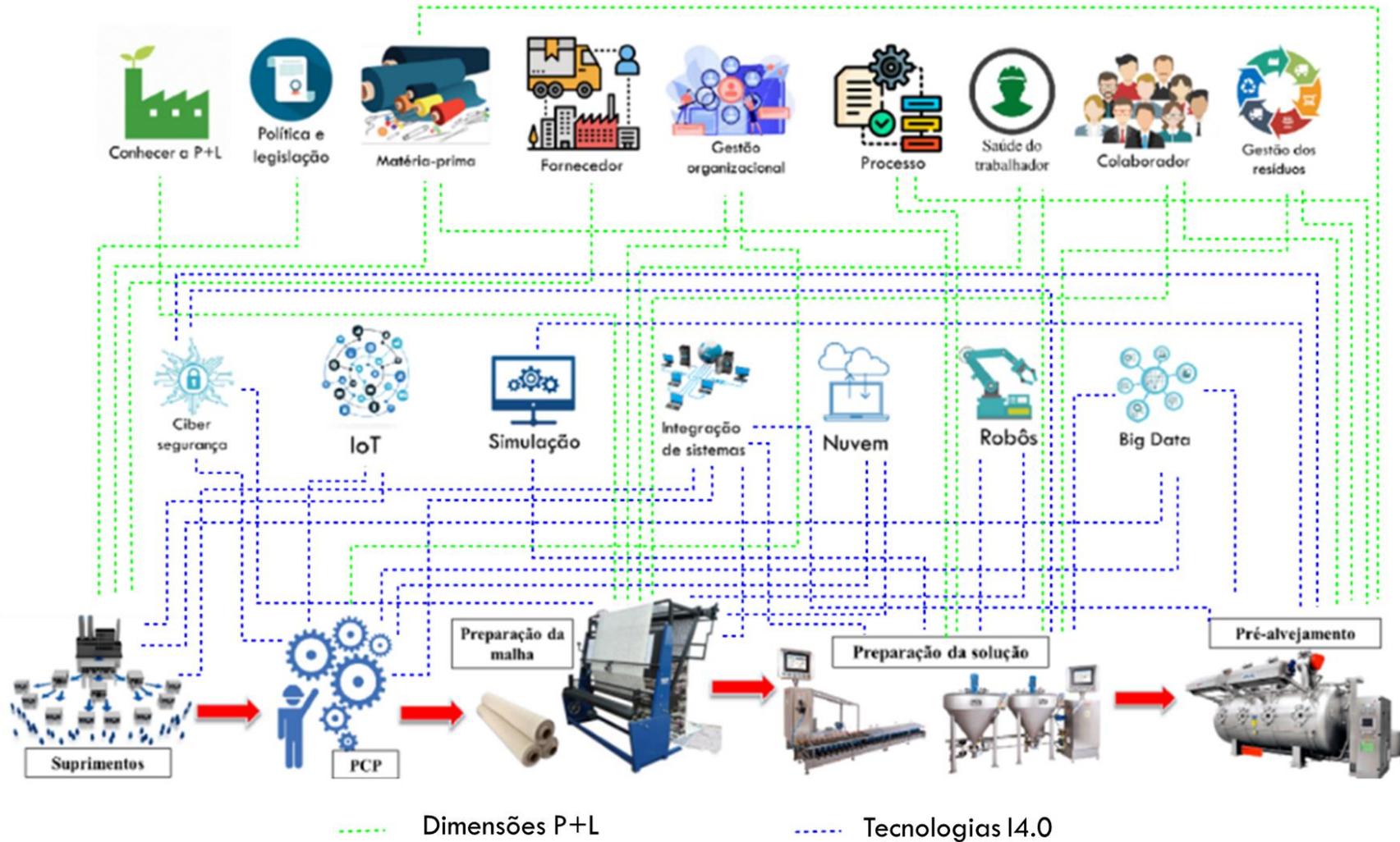
Conforme mencionado anteriormente, através da utilização das Big Data e CPS no processo de pré-alveamento, indica-se controlar e analisar os parâmetros variáveis do processo, como pH, relação de banho e controle de qualidade da água para que possa ser reaproveitada para processos seguintes. Esta sugestão de

processo contribui para a redução de custos e maior qualidade da matéria-prima, através de possíveis contenções de perdas e reprocesso. No Figura 43 apresenta o resumo das propostas das dimensões da P+L e tecnologias da I4.0 em cada etapa do processo de pré-alveamento.

Sabe-se que uma das maiores barreiras para uma empresa adotar tecnologias da I4.0 é o alto custo na fase inicial da implantação podendo variar em função da condição financeira da empresa e de sua estratégia (FELIX, 2022; TAKAYAMA; PANHAN, 2022), mas, a longo prazo os ganhos econômicos quantificáveis e os benefícios ambientais qualitativos compensam significativamente esses custos (RAHMAN *et al.*, 2020). Os mesmos autores enfatizam que se os processos enzimáticos fossem aplicados nas indústrias em escala global, prevê-se uma economia de aproximadamente 10 trilhões de litros de água doce e redução das emissões de gases de efeito estufa para 30 milhões de toneladas por ano.

Existem muitas possibilidades de combinações das tecnologias da I4.0 para a resolução de problemas concretos colocados pela produção industrial. Entretanto, esse processo de mudança tem sido viabilizado pela redução de custos de algumas tecnologias. Portanto, melhorar a eficiência da coleta de dados e aprimorar o gerenciamento dos recursos de dados tornou-se a principal tarefa das empresas têxteis (QICHEN, 2020).

Figura 43 - Propostas das dimensões da P+L e tecnologias da I4.0 em cada etapa do processo de pré-alveamento



Fonte: Autora (2022)

5 CONCLUSÃO

Percebe-se que a sustentabilidade já conquistou seu espaço e vem sendo cada vez mais indispensável nas indústrias têxteis, conforme resultados explanados no trabalho. Dentre eles, destaca-se divergência de opiniões a respeito da reutilização de água no processo de pré-alveamento, o destino dos resíduos gerados e se há modificação no produto ou no processo para evitar a geração destes. Entretanto, unanimemente, as empresas preocupam-se com a preservação do meio ambiente e entendem que esta prática está diretamente relacionada a sua imagem, além disso, estão respaldadas por normas regulamentadoras e as leis ambientais.

Com base nos resultados explicados, as empresas A e B são as que mais utilizam as tecnologias da indústria 4.0, ambas possuem seis das nove tecnologias. As tecnologias presentes em todas as empresas são segurança cibernética, integração de sistemas, big data e IoT, sendo a segurança cibernética a mais usada. No entanto, a tecnologia manufatura aditiva não é usada em nenhuma das empresas como resultado da pesquisa.

O investimento em novas tecnologias foi considerado o maior desafio para a implementação da indústria 4.0. Estudos da CNI sugerem que fatores técnicos, isto é, tecnologia, mão-de-obra e matérias-primas, também afetaram positivamente a decisão de investir.

Em três, das quatro empresas, além da aplicação do questionário, foi possível visitar os parques fabris e acompanhar presencialmente o uso da gestão sustentável, as tecnologias da indústria 4.0 abordadas na pesquisa e acompanhar o processo de beneficiamento. No entanto, pode-se concluir que as empresas têxteis do polo têxtil catarinense estão integrando aos poucos em seus processos as tecnologias da indústria 4.0 e utilizam algumas práticas de P+L para permanecerem competitivas no mercado e conseqüentemente, aumentar sua produtividade.

Entretanto, estas empresas ainda possuem processos de beneficiamento com alta concentração de produtos químicos tóxicos, elevado consumo de água, tempo e temperatura, além de não utilizarem recursos automatizados para controle de pH, reutilização de água e leitura da cor do banho, para análise de possível reaproveitamento em processos posteriores.

De acordo com os resultados obtidos em laboratório e baseado na identificação de oportunidades de melhorias a partir dos resultados do questionário

aplicado, foi possível desenvolver um novo processo de pré-alveamento reduzindo 10,5% de temperatura, reduzir 25% dos químicos no processo, no caso, o peróxido de hidrogênio e a soda cáustica e mesmo assim, obter resultados melhores que o processo convencional utilizado nas indústrias têxteis do presente estudo.

Com a combinação do processo enzimático proposto que satisfaz algumas das dimensões da P+L (matéria-prima, processo, colaborador, gestão de resíduos e governamental), e o uso das tecnologias da I4.0 (Big data, CPS, simulação, robôs colaborativos e nuvem) conforme o processo proposto, é possível otimizar e garantir a qualidade no processo, entretanto, é necessário quantificar para replicar em escala industrial e analisar a viabilidade econômica, sendo uma possibilidade de estudo futuro.

REFERÊNCIAS

- ABDEL-HALIM, E. S.; AL-DEYAB, S. S. Low temperature bleaching of cotton cellulose using peracetic acid. **Carbohydrate Polymers**, v. 86, n. 2, p. 988–994, 2011.
- ABIT. **Perfil do Setor**. Disponível em: <<https://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor>>. Acesso em: 1 jun. 2022.
- ABRAHÃO, A. J.; SILVA, G. A. Influência de alguns contaminantes na toxicidade aguda de efluentes da indústria têxtil. **Revista Química Têxtil**, v. 67, p. 08–34, 2002.
- ABRAPA. **Números de produção e comercialização do algodão no Brasil e no mundo**. Disponível em: <<https://www.abrapa.com.br/Paginas/Atualização.aspx>>. Acesso em: 18 jun. 2022.
- AL-YOUSFI, A. B. Cleaner Production for Sustainable Industrial Development: Concept and Applications. **Practice periodical of hazardous, toxic, and radioactive waste management**, v. 8, n. 4, p. 265–273, 2004.
- ALY, A. S.; MOUSTAFA, A. B.; HEBEISH, A. Bio-technological treatment of cellulosic textiles. **Journal of Cleaner Production**, v. 12, n. 7, p. 697–705, 2004.
- ARAÚJO, M.; CASTRO, E. M. M. **Manual de engenharia têxtil**. 2. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1986.
- BAHTIYARI, M. İ.; BENLI, H. Ozone bleaching of cotton fabrics with the aid of ultrasonic humidifier. **Cellulose**, v. 23, n. 4, p. 2715–2725, 2016.
- BAI, C. et al. Industry 4.0 technologies assessment: A sustainability perspective. **International Journal of Production Economics**, v. 229, p. 107776, 2020.
- BALAN, D. DE S. L.; PIRES, L. DA S. GESTÃO AMBIENTAL : A SOLUÇÃO PARA RESÍDUOS EM CONFECÇÃO DO. **Justiça Climática no Antropoceno**, v. 13, p. 1–5, 2021.
- BAUMERS, M. **Economic aspects of additive manufacturing: benefits, costs and energy consumption**. [s.l.] Loughborough University, 2012.
- BESEGATTO, S. V. et al. Enzyme Treatment at Different Stages of Textile Processing: A Review. **Industrial Biotechnology**, v. 14, n. 6, p. 298–307, 2018.
- BRASIL, N. U. **A ONU e o meio ambiente**. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/acao/meio-ambiente/>>. Acesso em: 1 jul. 2020.
- BRISTI, U.; PIAS, A. K.; LAVLU, F. H. A Sustainable process by bio- scouring for cotton knitted fabric suitable for next generation. **Journal of Textile Engineering & Fashion Technology**, v. 5, n. 1, 2019.
- BRUNO, F. DA S. **A Quarta Revolução Industrial do Setor Têxtil e de Confecção: A Visão de Futuro para 2030**. 1. ed. São Paulo: Estação das Letras e Cores, 2016.

- BUNSELL, A. R. **Handbook of Properties of Textile and Technical Fibres**. 2. ed. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2018.
- BURKINSHAW, S. M. **Physico-chemical Aspects of Textile Coloration**. 1. ed. West Yorkshire: John Wiley & Sons, 2016.
- CARR, C. M. **Chemistry of the Textile Industry**. 1. ed. Glasgow: Blackie Academic & Professional, 1995.
- CAVACO-PAULO, A.; GÜBITZ, G. M. **Textile processing with enzymes**. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2003.
- CHATHA, S. A. S.; ASGHER, M.; IQBAL, H. M. N. Enzyme-based solutions for textile processing and dye contaminant biodegradation — a review. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 16, p. 14005–14018, 2017.
- CHEN, L. et al. A process-level water conservation and pollution control performance evaluation tool of cleaner production technology in textile industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 143, p. 1137–1143, 2017.
- CHIEN, C.-F.; WANG, H.-K.; FU, W.-H. Industry 3.5 Framework of an Advanced Intelligent Manufacturing System: Case Studies from Semiconductor Intelligent Manufacturing. **Management Review**, v. 37, p. 105–121, 2018.
- CHOUDHURY, A. K. R. Enzyme applications in textile chemical processing. In: **Sustainable Technologies for Fashion and Textiles**. [s.l.] Woodhead Publishing Series in Textiles, 2020. p. 91–115.
- CHRISTIE, R. M. **Environmental aspects of textile dyeing**. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2007.
- CLARK, M. **Handbook of textile and industrial dyeing: principles, processes and types of dyes**. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2011.
- CNI, C. N. DA I. **Desafios para indústria 4.0 no brasil**. Brasília: Portal da Indústria, 2016. Disponível em: <<https://www.portaldaindustria.com.br/publicacoes/2016/8/desafios-para-industria-40-no-brasil/>>. Acesso em: 10 set. 2019.
- CNI, C. N. DA I. **O setor têxtil e de confecção e os desafios da sustentabilidade**. Brasília: [s.n.]. Disponível em: <<https://www.abit.org.br/adm/Arquivo/Servico/114256.pdf>>. Acesso em: 8 set. 2019.
- CNI, C. N. DA I. **Indústria 4.0 e digitalização da economia**. 32. ed. Brasília: Confederação Nacional da Indústria, 2018a.
- CNI, C. N. DA I. **Investimentos em indústria 4.0**. Brasília: [s.n.]. Disponível em: <<https://www.portaldaindustria.com.br/estatisticas/pqt-investimentos-em-industria-40/>>. Acesso em: 24 jan. 2020b.

COSTA, N. P. DA. **Gerenciamento de resíduos sólidos nas pequenas e médias empresas de Itabirito-MG. Estudo de caso: Produção mais Limpa em empresa do setor têxtil.** [s.l.] Universidade Federal de Ouro Preto, 2010.

CRAVOL, L. B.; FERREIRA, F. S. Sustentabilidade - Uma reflexão a respeito do compromisso das empresas com o meio ambiente: Um estudo de caso da Manfrim Industrial e Comercial Ltda. **Revista Hórus**, v. 7, n. 3, p. 37–55, 2012.

DALENOGARE, L. S. et al. The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. **Intern. Journal of Production Economics**, v. 204, p. 383–394, 2018.

DUARTE, A. **Proposta de integração entre ferramentas de avaliação de ciclo de vida do produto e Indústria 4.0 (Indústria 4.0): estudo de caso da indústria têxtil e de confecção.** [s.l.] Universidade Estadual de Campinas, 2017.

ELKINGTON, J. Partnerships from cannibals with forks: The triple bottom line of 21st-century business. **Environmental quality management**, v. 8, n. 1, p. 37–51, 1998.
EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, E. **Balço Energético Nacional 2022**Rio de Janeiro, 2022.

FALANI, L. A. et al. Análise dos resultados obtidos com a implantação do projeto full kit na área de confecção de uma indústria têxtil. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 11, p. 27403–27415, 2019.

FALANI, L. A.; AGUIAR, C. R. L. DE; FORNO, A. J. D. A Indústria 4.0 e sua aplicação no setor têxtil: Uma revisão da literatura brasileira. **Blucher Engineering Proceedings**, v. 2, p. 515–529, 2019.

FALANI, L. A.; AGUIAR, C. R. L. DE; FORNO, A. J. D. Mapeamento da literatura sobre as tecnologias da indústria 4.0 no segmento têxtil brasileiro. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 42437–42452, 2020.

FARIA, F. P.; PACHECO, E. B. A. V. Experiências com Produção Mais Limpa no Setor Têxtil. **Redige**, v. 2, n. 1, p. 63–82, 2011.

FCEM. **Como desenvolver sustentabilidade na indústria têxtil? Descubra!** Disponível em: <<https://fcm.com.br/noticias/como-desenvolver-sustentabilidade-na-industria-textil/>>. Acesso em: 29 fev. 2020.

FCEM. **Resíduo têxtil: como combater ou reduzir essa produção na indústria.** Disponível em: <<https://fcm.com.br/noticias/residuo-textil-como-combater-ou-reduzir-essa-producao-na-industria/>>. Acesso em: 29 fev. 2020.

FELIX, A. F. S. R. **Indústria 4.0: desafios e oportunidade para a indústria têxtil no Brasil.** [s.l.] Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2022.

FETTERMANN, D. C. et al. How does Industry 4 . 0 contribute to operations management ? **Journal of Industrial and Production Engineering**, v. 1015, p. 1–14, 2018.

FIEG. **Dados econômicos - Indústria da moda**. Disponível em: <https://fiieg.com.br/repositoriosites/repositorio/portalfiieg/download/Pesquisas/Dados_economicos__Industria_da_Moda.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2020.

FIESC. **Observatório FIESC**. Disponível em: <<https://observatorio.fiesc.com.br/sc-competitiva/setores/textil-e-confeccao>>. Acesso em: 1 jun. 2022.

FONSECA, R. A. et al. Produção Mais Limpa: Uma nova estratégia de produção. **Anais do X Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia**, p. 1–11, 2013.

FONSECA, T. Desenvolvimento e Validação de Métodos de Sensoreamento Visual Aplicados a Instrumentação da Processos no Contexto da Indústria 4.0.

(Dissertação de Mestrado em Engenharia de Computação), Universidade Federal do Rio Grande (FURG)., 2017.

FRANK, A. G.; DALENOGARE, L. S.; AYALA, N. F. Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. **International Journal of Production Economics**, v. 210, n. September 2018, p. 15–26, 2019.

FRIZONI, P. R.; SOUZA, S. A. DE. **Processo ecológico para o tingimento do algodão: purga enzimática**. [s.l.] Faculdade de Tecnologia de Americana, 2011.
FUJITA, R. M. L.; JORENTE, M. J. A Indústria Têxtil no Brasil: uma perspectiva histórica e cultural. **ModaPalavra e-periódico**, v. 8, n. 15, p. 91–105, 2015.

GALLELI, B.; SUTTER, M. B.; LENNAN, M. L. F. MAC. Perspectivas para a sustentabilidade na oferta de moda brasileira no mercado internacional. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, v. 9, n. 3, p. 45–62, 2015.

GHOREISHI, M.; HAPPONEN, A. The Case of Fabric and Textile Industry: The Emerging Role of Digitalization, Internet-of-Things and Industry 4.0 for Circularity. In: SPRINGER (Ed.). **Proceedings of Sixth International Congress on Information and Communication Technology**. Singapura: [s.n.]. p. 189–200.

GLAVIČ, P.; LUKMAN, R. Review of sustainability terms and their definitions. **Journal of Cleaner Production**, v. 15, n. 18, p. 1875–1885, 2007.

GUARDA, A. **Produção mais limpa: Estudo sobre as práticas adotadas nas empresas do município de Ijuí/RS**. [s.l.] Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, 2016.

GUSTAFSSON, J. Single case studies vs. multiple case studies: A comparative study. 2017.

HAIPING, Z. et al. Cloud Service Platform For Big Data Of Manufacturing. **Applied Mechanics and Materials**, v. 456, p. 178–183, 2014.

HANNAN, M. A. et al. Chemical-Free Scouring and Bleaching of Cotton Knit Fabric for Optimum Dyeing Performance. **Clothing and Textiles Research Journal**, v. 37,

n. 4, p. 265–280, 2019.

HASANBEIGI, A.; PRICE, L. A review of energy use and energy efficiency technologies for the textile industry. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 6, p. 3648–3665, 2012.

HE, Z. et al. A deep reinforcement learning based multi-criteria decision support system for optimizing textile chemical process. **Computers in Industry**, v. 125, p. 103373, fev. 2021.

HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. **Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review** Technische Universität Dortmund. Dortmund: [s.n.].

HORVÁTH, D.; SZABÓ, R. Z. Technological Forecasting & Social Change Driving forces and barriers of Industry 4.0: Do multinational and small and medium-sized companies have equal opportunities? **Technological Forecasting & Social Change**, v. 146, n. June, p. 119–132, 2019.

JABBOUR, A. B. L. DE S. et al. When titans meet – Can industry 4.0 revolutionise the environmentally- sustainable manufacturing wave? The role of critical success factors. **Technological Forecasting & Social Change**, v. 132, n. January, p. 18–25, 2018.

KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0: Final report of the Industrie 4.0 Working Group. **National Academy of Science and Engineering**, 2013.

KALANTZI, S. et al. Effect of pectate lyase bioscouring on physical, chemical and low-stress mechanical properties of cotton fabrics. **Bioresource Technology**, v. 99, n. 17, p. 8185–8192, 2008.

KALANTZI, S. et al. Improved Properties of Cotton Fabrics Treated with Lipase and Its Combination with Pectinase. **Fibres and Textiles in Eastern Europe**, v. 82, n. 5, p. 86–92, 2010.

KARMAKAR, S. R. **Chemical Technology in the Pre-treatment Processes of Textiles**. Amsterdam: Elsevier, 1999.

KU, C.; CHIEN, C.; MA, K. Digital Transformation to Empower Smart Production for Industry 3.5 and An Empirical Study for Textile Dyeing. **Computers & Industrial Engineering**, p. 106297, 2020.

KUMAR, D. et al. Application of enzymes for an eco-friendly approach to textile processing. **Environmental Science and Pollution Research**, 14 out. 2021.

KUMAR, V. et al. Contribution of traceability towards attaining sustainability in the textile sector. **Textiles and Clothing Sustainability**, v. 3, n. 5, p. 1–10, 2017.

KÜSTERS, D.; PRASS, N.; GLOY, Y. Textile Learning Factory 4.0 – Preparing Germany's Textile Industry for the Digital Future. **Procedia Manufacturing**, v. 9, p.

214–221, 2017.

LEWIN, M. **Handbook of Chemistry Fiber**. 3. ed. New York: Editorial Advisory Board, 2007.

LOCKE, K. D. **Grounded Theory in Management Research**. 1. ed. London: Sage Publications Ltda, 2001.

LUKEN, A. Cleaner production and UNIDO. v. 2, n. 3, p. 163–166, 1995.

MADHU, A.; CHAKRABORTY, J. N. Developments in application of enzymes for textile processing. **Journal of Cleaner Production**, v. 145, p. 114–133, 2017.

MARCONI, M. DE A.; LAKATOS, E. M. **Técnicas de pesquisa: planejamento e execução de pesquisas, amostragens e técnicas de pesquisas, elaboração, análise e interpretação de dados**. 5. ed. São Paulo: ATLAS S.A., 2002.

MARQUES, E. et al. Avaliação do uso potencial e disseminação do aquecimento solar no setor têxtil: Estudo de Caso para as Lavanderias Industriais da Região Nordeste. **Revista Brasileira de Energia Solar**, v. VI, n. 2, p. 89–94, 2015.

MCNEIL, I. **An encyclopaedia of the history of technology**. New York: Routledge, 2002.

MEHLER, J. R. Desafios da Indústria Têxtil e as Demandas de Sustentabilidade. **Revista Diálogos Interdisciplinares**, v. 2, n. 2, 2013.

MOJSOV, K. Bioscouring and bleaching process of cotton fabrics – an opportunity of saving water and energy. **Journal of the Textile Institute**, v. 107, n. 7, p. 905–911, 2016.

MOJSOV, K. Enzymatic desizing, bioscouring and enzymatic bleaching of cotton fabric with glucose oxidase. **The Journal of The Textile Intitute**, v. 110, n. 7, p. 1032–1041, 2019.

MOKTADIR, A. et al. Assessing challenges for implementing Industry 4.0: Implications for process safety and environmental protection. **Process Safety and Environmental Protection**, 2018.

MOORE, S. B.; AUSLEY, L. W. Systems thinking and green chemistry in the textile industry: concepts, technologies and benefits. **Journal of Cleaner Production**, v. 12, p. 585–601, 2004.

MORAES, A. C. **Opções da indústria têxtil frente à concorrência chinesa**. [s.l.] Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2015.

MORITA, T.; ASSUMPÇÃO, R. M. V. **Manual de soluções, reagentes e solventes: padronização, preparação, purificação**. São Paulo: Editora Edgar Blucher Ltda, 1983.

MURTHY, H. V. S. **Introduction to Textile Fibres**. New Delhi: Woodhead Publishing India Pvt. Ltd, 2016.

NAYAK, R. et al. Identification of natural textile fibres. In: 2. ed. [s.l.] Woodhead Publishing Series in Textiles, 2020. p. 503–534.

NEEDLES, H. L. **Textile fibers, dyes, finishes, and processes**. New Jersey: Noyes Publications, 1986.

NETO;, G. C. DE O. et al. Cleaner Production in the textile industry and its relationship to sustainable development goals. v. 228, 2019.

OLIVEIRA, I. R. DE. **Indústria 4.0: um novo paradigma técnico- económico?** [s.l.] Universidade do Porto, 2017.

ORTOLANO, L. et al. Cleaner production in Pakistan's leather and textile sectors. **Journal of Cleaner Production**, v. 68, p. 121–129, 2014.

OZTURK, E. et al. Sustainable textile production: cleaner production assessment/eco- efficiency analysis study in a textile mill Emrah. **Journal of Cleaner Production**, v. 138, p. 248–263, 2016.

PAELKE, V. Augmented reality in the smart factory: Supporting workers in an industry 4.0. environment. **19th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, ETFA 2014**, 2014.

PEREIRA, P. A. **Químicos restritos na indústria têxtil brasileira: Proposta de ferramenta para projeto de químicos restritos na indústria têxtil brasileira**. [s.l.] Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2018.

PEZZOLO, D. B. **Tecidos: história, tramas, tipos e usos**. São Paulo: Editora Senac, 2019.

PICCOLI, H. H. **Processo de alvejamento de tecido de malha de algodão utilizando ozônio com baixo consumo de água**. [s.l.] Universidade Federal de Santa Catarina, 2014.

PIMENTA, H. C. D.; GOUVINHAS, R. P. **Implementação da Produção mais Limpa em uma Indústria Têxtil : Vantagens Econômicas e Ambientais**. 3rd International Workshop | Advances in Cleaner Production. **Anais...**São Paulo: 2011.

PISCHING, M. A. et al. Service Composition in the Cloud-Based Manufacturing Focused on the Industry 4.0. **IFIP Advances in Information and Communication Technology**, v. 450, p. 65–72, 2015.

QICHEN, Z. Cotton textile equipment data management system based on big data technology. **Proceedings - 2020 International Conference on Robots and Intelligent Systems, ICRIS 2020**, p. 257–260, 2020.

QIN, Y. **Medical Textile Materials**. Cambridge: Elsevier Ltd., 2016.

QUEIROZ, M. T. A. et al. Gestão De Resíduos Na Indústria Têxtil E Sua Relação Com a Qualidade Da Água : Estudo De Caso. **Revista Iberoamericana de Engenharia Industrial**, v. 8, n. 15, p. 114–135, 2016.

RAHMAN, M. et al. Technological Forecasting & Social Change The use of biotechnologies in textile processing and environmental sustainability : An emerging market context. **Technological Forecasting & Social Change**, v. 159, n. July, p. 120204, 2020.

RAJA, A. S. M. et al. Single bath enzymatic scouring and bleaching process for preparation of absorbent cotton. **Indian Journal of Fibre and Textile Research**, v. 42, n. 2, p. 202–208, 2017.

RANGEL, A. S.; DA SILVA, M. M.; COSTA, B. K. Competitividade da Indústria Têxtil Brasileira. **Revista de Administração e Inovação - RAI**, v. 7, n. 1, p. 151–174, 2010.
RAPOSO, D. R. **Indústria 4.0: Realidade, mudanças e oportunidades**. [s.l.] Universidade Federal de Ouro Preto, 2018.

REIS, C. Z. DOS. **Bioalveamento enzimático de tecidos de malha de algodão**. [s.l.] Universidade Federal de Santa Catarina, 2016.

REITER, H. C. **Estudo de eficiência, qualidade e custo em tingimento de poliéster preto com banho redutivo**. [s.l.] Universidade Federal de Santa Catarina, 2019.

REN, A. et al. **Cyber Security in Smart Manufacturing: Survey and Challenges**. Proceedings of the 2017 Industrial and Systems Engineering Conference. **Anais**.2017.

RIBEIRO, J. M. O conceito da indústria 4.0 na confecção: análise e implementação. p. 99, 2017.

ROBERT, K. W.; PARRIS, T. M.; LEISEROWITZ, A. A. What is Sustainable Development? Goals, Indicators, Values, and Practice. **Environment: science and policy for sustainable development**, v. 47, n. 3, p. 8–21, 2005.

RODRIGUES, B. G. **Estudo da influência da luz ultravioleta no alveamento de malha de algodão**. [s.l.] Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2019.
RÜBMANN, M. et al. Industry 4.0: World Economic Forum. **The Boston Consulting Group**, p. 1–20, 2015.

SAE-BE, P.; SANGWATANAROJ, U.; PUNNAPAYAK, H. Analysis of the products from enzymatic scouring of cotton. **Biotechnology Journal**, v. 2, n. 3, p. 316–325, 2007.

SAKURAI, R.; ZUCHI, J. D. a Revoluções Industriais Até a Industria 4.0. **Revista Interface Tecnológica**, v. 15, n. 2, p. 480–491, 2018.

SAN, V.; SPOANN, V.; SCHMIDT, J. Industrial pollution load assessment in Phnom Penh, Cambodia using an industrial pollution projection system. **Science of the**

Total Environment, v. 615, p. 990–999, 2018.

SANDIN, G.; PETERS, G. M. Environmental impact of textile reuse and recycling – A review. **Journal of Cleaner Production**, v. 184, p. 353–365, 2018.

SANTOS, C. M.; BELÉM, J. D. F. Indústria 4.0 e Manufatura Aditiva: Um Estudo de Caso com os Consumidores de Calçados Produzidos nas Indústrias de Calçados de Juazeiro do Norte. **Id on Line Revista Multidisciplinar e de Psicologia**, v. 12, n. 42, p. 1059–1072, 2018.

SANTOS, V. L. V. F. DOS; BARCELLOS, I. O.; PICCOLI, H. H. Pre-alveijamento de materiais têxteis com ozônio e avaliação de suas propriedades de superfície, físicas e tintoriais. **Revista Matéria**, v. 22, n. 1, 2017.

SAVITZ, A. W.; WEBER, K. A empresa sustentável: o verdadeiro sucesso é lucro com responsabilidade social e ambiental. 2007.

SCHWAB, K. **The Fourth Industrial Revolution: what it means and how to respond**. Disponível em: <<https://www.weforum.org/agenda/2016/01/the-fourth-industrial-revolution-what-it-means-and-how-to-respond>>. Acesso em: 30 jan. 2020.
SCHWAB, K.; DAVIS, N. **Aplicando a quarta revolução industrial**. São Paulo: Edipro, 2019.

SCHWARZ, I.; KOVAČEVIĆ, S. Textile Application : From Need to Imagination. p. 3–28, 2017.

SEN, P.; ROY, M.; PAL, P. Evaluation of environmentally conscious manufacturing programs using a three-hybrid multi-criteria decision analysis method. **Ecological Indicators**, v. 73, p. 264–273, 2017.

SENAI-RS. **Questões Ambientais e Produção mais Limpa** Porto Alegre Série Manuais de Produção mais Limpa, 2003.

SHAFIQ, S. I. et al. Virtual engineering object (VEO): Toward experience-based design and manufacturing for industry 4.0. **Cybernetics and Systems**, v. 46, p. 35–50, 2015.

SHAFIQ, S. I. et al. Virtual Engineering Factory: Creating Experience Base for Industry 4.0. **Cybernetics and Systems**, v. 47, n. 1–2, p. 32–47, 2016.

SILVA, C. A. DA. **Estudo comparativo entre a purga convencional e a purga enzimática**. [s.l.] Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2019.

SILVA, L. G. DE M. DA. **Biopurga de malha de algodão utilizando processo enzimático com associação de enzimas**. [s.l.] Universidade Federal de Santa Catarina, 2013.

SILVA, M. DE F. DA; RIBEIRO, A. R. B.; MENELAU, A. S. **Beneficiamento de jeans no Agreste pernambucano e os gaps entre a situação real e ideal, fundamentada pelo método da Produção Mais Limpa** *Journal of Environmental*

Analysis and Progress, 2021.

SILVA, M. G. DA et al. Cleaner production of antimicrobial and anti-UV cotton materials through dyeing with eucalyptus leaves extract. **Journal of Cleaner Production**, v. 199, p. 807–816, 2018.

SONDHELM, W. S. Technical fabric structures – 1.Woven fabrics. In: **Handbook of Technical Textiles**. Cambridge: Woodhead Publishing Limited and The Textile Institute Abington Hall, 2000. p. 62–94.

SZALAVETZ, A. Industry 4.0 and capability development in manufacturing subsidiaries. **Technological Forecasting & Social Change**, v. 145, p. 384–395, 2019.

TAKAYAMA, A.; PANHAN, A. M. INDÚSTRIA 4.0: DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA A INDÚSTRIA BRASILEIRA. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 8, n. 5, p. 1797–1822, 31 maio 2022.

TANG, Z. W. The industrial robot is in conjunction with homework and system integration. n. *Icimm*, p. 1679–1683, 2015.

TAO, F. et al. Data-driven smart manufacturing. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 48, p. 157–169, 2018.

TOBLER-ROHR, M. I. **Handbook of sustainable textile production**. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2011.

TWARDOKUS, R. G. **Reuso de água no processo de tingimento da indústria têxtil**. [s.l.] Universidade Federal de Santa Catarina, 2004.

UNIETHOS. **Sustentabilidade e Competitividade na Cadeia da Moda**. 2013.

VAIDYA, S.; AMBAD, P.; BHOSLE, S. Industry 4.0 - A Glimpse. **Procedia Manufacturing**, v. 20, p. 233–238, 2018.

VELLO, A. C. P.; VOLANTE, C. R. O Conceito De Indústria 4.0 E Os Principais Desafios De Sua Implantação No Brasil. **Revista Interface Tecnológica**, v. 16, n. 2, p. 325–336, 2019.

VIGO, T. L. **Textile processing and properties: Preparation, dyeing, finishing and performance**. 11. ed. Amsterdam: Elsevier Ltd, 2013.

WANG, Q. et al. Degradation kinetics of pectins by an alkaline pectinase in bioscouring of cotton fabrics. **Carbohydrate Polymers**, v. 67, p. 572–575, 2007a.

WANG, Q. et al. Influence of combined enzymatic treatment on one-bath scouring of cotton knitted fabrics. **Biocatalysis and Biotransformation**, v. 25, n. 1, p. 9–15, 2007b.

WULFHORST, B.; GRIES, T.; VEIT, D. **Textile Technology**. Munich: [s.n.].

YIN, R. K. **Estudo de Caso: Planejamento e métodos**. 5^a ed. [s.l.] Bookman Editora, 2015.

YUAN, Z.-W. et al. Life-cycle assessment of continuous pad-dyeing technology for cotton fabrics. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 18, n. 3, p. 659–672, 2013.

ZHOU, L. et al. Environmentally friendly textile production : continuous pretreatment of knitted cotton fabric with normal temperature plasma and padding. **Cellulose**, v. 26, n. 11, p. 6943–6958, 2019.

APÊNDICE A – PROTOCOLO DO ESTUDO DE CASO

PROTOCOLO DO ESTUDO DE CASO

I. Visão geral do estudo de caso

A. Propósito da pesquisa

Identificar e caracterizar o processo de beneficiamento das indústrias têxteis quanto a utilização de práticas da P+L e tecnologias da indústria 4.0.

B. Questões de pesquisa

Quais e quais os níveis das tecnologias da indústria 4.0 são implantadas na indústria têxtil?

Quais práticas limpas são utilizadas na cadeia produtiva da empresa?

Como é realizado o processo de pré-alveamento de algodão convencional em escala industrial?

II. Procedimentos de coleta de dados

A. Seleção dos casos

Segmento: Têxtil

Perfil:

- Possuir agregação de dois ou mais elos da sua cadeia de valor, ou seja, ser uma empresa verticalmente integrada;
- Ser caracterizada empresa de grande porte, conforme número de funcionários (metodologia Sebrae) e faturamento anual bruto (metodologia IBGE);

Localização: No estado de Santa Catarina.

B. Fontes de informação

Empresas: Que contêm o setor de beneficiamento têxtil e pré-alveja malhas de algodão

Profissionais entrevistados: Responsáveis envolvidos no setor de produção

Aplicação presencial do questionário com possibilidade de gravação

C. Análise dos dados

Análise cruzada dos casos

III. Questões de estudo de caso

A. Questões gerais sobre o perfil da empresa

B. Questões específicas sobre as tecnologias da indústria 4.0

C. Questões específicas sobre práticas de P+L

D. Questões específicas sobre processo de beneficiamento têxtil

APÊNDICE B – Questionário instrumento do estudo de casos múltiplos

INDÚSTRIA 4.0 E PRODUÇÃO MAIS LIMPA NO BENEFICIAMENTO TÊXTIL

Essa pesquisa é parte da dissertação a ser desenvolvida por Leila Araújo Falani do Programa de Pós Graduação em Engenharia Têxtil da Universidade Federal de Santa Catarina campus Blumenau.

O objetivo é verificar, especialmente no setor de Beneficiamento das grandes empresas têxteis do Vale do Itajaí, quais as tecnologias da indústria 4.0 que estão sendo implementadas e também da Produção Mais Limpa (P+L). Esse diagnóstico servirá como subsídio para a proposição de melhorias.

Destacamos que o nome dos respondentes e da empresa serão preservados, respeitando o código de ética de pesquisa. Os dados serão usados apenas como fins acadêmicos.

Agradecemos desde já as contribuições recebidas.

Atenciosamente as orientadoras.

Profa. Dra. Catia Rosana Lange de Aguiar

Profa. Dra. Ana Julia Dal Forno

DADOS DA EMPRESA	
1) Nome da empresa:	
2) Nome colaborador:	
3) Email:	
4) Cargo:	
5) Tempo de empresa:	
6) Idade:	
	() Até 30 anos
	() De 31 até 50 anos
	() Acima de 51 anos

7) Formação:

- Ensino médio
 Superior completo
 Pós-graduação

PRODUÇÃO MAIS LIMPA

Produção mais Limpa é uma filosofia pró ativa de antecipação da prevenção, pois permite que a empresa aumente a eficiência do uso de recursos naturais através da minimização ou reciclagem dos resíduos gerados, propiciando redução de custos, de desperdícios de matéria-prima, energia e na diminuição de riscos ambientais.

Leia as afirmativas a seguir de acordo com o grau de discordância ou concordância, marcando um X na coluna correspondente.

8) A empresa entende como importante a prevenção do meio ambiente

- Discordo Totalmente
 Discordo
 Nem Concordo/Nem discordo
 Concordo
 Concordo Totalmente

9) A empresa entende como importante para sua imagem a prevenção da poluição

- Discordo Totalmente
 Discordo
 Nem Concordo/Nem discordo
 Concordo
 Concordo Totalmente

10) A empresa possui algum tipo de controle do consumo de energia

- Discordo Totalmente
 Discordo
 Nem Concordo/Nem discordo
 Concordo
 Concordo Totalmente

11) A empresa possui plano de ação para redução do consumo de energia (Ex: investir em novos equipamentos que possui melhor eficiência, otimização da luz solar, etc...)

- Discordo Totalmente
 Discordo
 Nem Concordo/Nem discordo
 Concordo
 Concordo Totalmente

12) A empresa possui algum sistema de captação de energia renovável (Ex: placa solar)

- Discordo Totalmente
 Discordo
 Nem Concordo/Nem discordo
 Concordo
 Concordo Totalmente

13) Em período ocioso, as máquinas e equipamentos são desligados

- Discordo Totalmente
 Discordo

<p><input type="checkbox"/> Nem Concordo/Nem discordo <input type="checkbox"/> Concordo <input type="checkbox"/> Concordo Totalmente</p>
<p>Caso a resposta assinalada, na questão anterior, seja Discordo Totalmente ou Discordo: A empresa não efetua tal prática pois: <input type="checkbox"/> Não existe a rotina <input type="checkbox"/> O custo entre manter ligada e ligar novamente torna-se similar</p>
<p>14) A empresa efetua troca de equipamentos devido alto consumo de insumos <input type="checkbox"/> Discordo Totalmente <input type="checkbox"/> Discordo <input type="checkbox"/> Nem Concordo/Nem discordo <input type="checkbox"/> Concordo <input type="checkbox"/> Concordo Totalmente</p>
<p>15) A empresa realiza manutenção preventiva nos equipamentos a fim de identificar problemas <input type="checkbox"/> Discordo Totalmente <input type="checkbox"/> Discordo <input type="checkbox"/> Nem Concordo/Nem discordo <input type="checkbox"/> Concordo <input type="checkbox"/> Concordo Totalmente</p>
<p>16) A empresa possui um controle do consumo de água <input type="checkbox"/> Discordo Totalmente <input type="checkbox"/> Discordo <input type="checkbox"/> Nem Concordo/Nem discordo <input type="checkbox"/> Concordo <input type="checkbox"/> Concordo Totalmente</p>
<p>17) Existe na empresa um plano de ação para redução do consumo de água <input type="checkbox"/> Discordo Totalmente <input type="checkbox"/> Discordo <input type="checkbox"/> Nem Concordo/Nem discordo <input type="checkbox"/> Concordo <input type="checkbox"/> Concordo Totalmente</p>
<p>18) A empresa reutiliza água no processo produtivo, mais especificamente no processo de pré-alvejamento: <input type="checkbox"/> Discordo Totalmente <input type="checkbox"/> Discordo <input type="checkbox"/> Nem Concordo/Nem discordo <input type="checkbox"/> Concordo <input type="checkbox"/> Concordo Totalmente</p>
<p>19) A empresa realiza tratamento de seus efluentes (resíduos descartados) antes de liberá-los na rede de esgoto/corpo receptor <input type="checkbox"/> Discordo Totalmente <input type="checkbox"/> Discordo <input type="checkbox"/> Nem Concordo/Nem discordo <input type="checkbox"/> Concordo <input type="checkbox"/> Concordo Totalmente</p>

Caso a resposta assinalada, na questão anterior, seja Discordo Totalmente ou Discordo:

A empresa não realiza tratamento dos resíduos pois:

- Não há necessidade de tratamento
- As opções de tratamento são onerosas
- Não foi identificado nenhuma empresa especializada

20) A geração de resíduos é levada em conta no momento da compra da matéria-prima pela empresa

- Discordo Totalmente
- Discordo
- Nem Concordo/Nem discordo
- Concordo
- Concordo Totalmente

21) A empresa realiza estudo sobre a melhor utilização da matéria-prima antes do início do processo produtivo

- Discordo Totalmente
- Discordo
- Nem Concordo/Nem discordo
- Concordo
- Concordo Totalmente

22) A empresa busca substituir matérias-primas potencialmente poluentes ou tóxicas (tintas, vernizes, solventes, produtos de limpeza, colas, etc...)

- Discordo Totalmente
- Discordo
- Nem Concordo/Nem discordo
- Concordo
- Concordo Totalmente

23) No desenvolvimento de seus produtos, a empresa leva em consideração matérias-primas e processos que causam o menor impacto possível ao meio ambiente

- Discordo Totalmente
- Discordo
- Nem Concordo/Nem discordo
- Concordo
- Concordo Totalmente

24) A empresa preocupa-se em efetuar as compras de matéria-primas em empresas que possuem princípios de responsabilidade ambiental

- Discordo Totalmente
- Discordo
- Nem Concordo/Nem discordo
- Concordo
- Concordo Totalmente

25) A empresa realiza modificação no produto ou no processo para evitar a geração de resíduos

- Discordo Totalmente
- Discordo
- Nem Concordo/Nem discordo
- Concordo

<input type="checkbox"/> Concordo Totalmente
26) A empresa conhece em qual momento os resíduos são gerados <input type="checkbox"/> Discordo Totalmente <input type="checkbox"/> Discordo <input type="checkbox"/> Nem Concordo/Nem discordo <input type="checkbox"/> Concordo <input type="checkbox"/> Concordo Totalmente
27) A empresa possui alguma prática de separação dos resíduos <input type="checkbox"/> Discordo Totalmente <input type="checkbox"/> Discordo <input type="checkbox"/> Nem Concordo/Nem discordo <input type="checkbox"/> Concordo <input type="checkbox"/> Concordo Totalmente
28) Após o processo produtivo há sobra de material <input type="checkbox"/> Discordo Totalmente <input type="checkbox"/> Discordo <input type="checkbox"/> Nem Concordo/Nem discordo <input type="checkbox"/> Concordo <input type="checkbox"/> Concordo Totalmente
29) A sobra de material é reciclada dentro da empresa, de modo parcial ou total <input type="checkbox"/> Discordo Totalmente <input type="checkbox"/> Discordo <input type="checkbox"/> Nem Concordo/Nem discordo <input type="checkbox"/> Concordo <input type="checkbox"/> Concordo Totalmente
30) A sobra de material é reciclada fora da empresa, de modo parcial ou total <input type="checkbox"/> Discordo Totalmente <input type="checkbox"/> Discordo <input type="checkbox"/> Nem Concordo/Nem discordo <input type="checkbox"/> Concordo <input type="checkbox"/> Concordo Totalmente
31) A sobra de material é vendida, de modo parcial ou total <input type="checkbox"/> Discordo Totalmente <input type="checkbox"/> Discordo <input type="checkbox"/> Nem Concordo/Nem discordo <input type="checkbox"/> Concordo <input type="checkbox"/> Concordo Totalmente
32) A sobra de material é reinserida em algum outro processo produtivo da empresa, de modo parcial ou total <input type="checkbox"/> Discordo Totalmente <input type="checkbox"/> Discordo <input type="checkbox"/> Nem Concordo/Nem discordo <input type="checkbox"/> Concordo <input type="checkbox"/> Concordo Totalmente
33) A empresa tem controle dos custos do processo produtivo <input type="checkbox"/> Discordo Totalmente <input type="checkbox"/> Discordo

- () Nem Concordo/Nem discordo
- () Concordo
- () Concordo Totalmente

34) A empresa possui plano de ação para redução dos custos do processo produtivo (Ex: investir em novos equipamentos, manutenção preventiva, equipamentos com consumo eficiente, otimização da luz solar, capacitação de colaboradores, entre outros)

- () Discordo Totalmente
- () Discordo
- () Nem Concordo/Nem discordo
- () Concordo
- () Concordo Totalmente

35) A empresa efetua modificações no produto final (embalagem, rótulo ou outro) devido observação de melhorias para o meio ambiente

- () Discordo Totalmente
- () Discordo
- () Nem Concordo/Nem discordo
- () Concordo
- () Concordo Totalmente

36) A empresa analisa a eficiência do processo produtivo (ex: todas as etapas são necessárias, perdas de energia, organização, iluminação adequada, manutenção realizada, existência de gargalos, de operado por pessoas capacitadas)

- () Discordo Totalmente
- () Discordo
- () Nem Concordo/Nem discordo
- () Concordo
- () Concordo Totalmente

37) Os processos produtivos da empresa são padronizados

- () Discordo Totalmente
- () Discordo
- () Nem Concordo/Nem discordo
- () Concordo
- () Concordo Totalmente

38) Os produtos da empresa, inclusive embalagens, são ambientalmente adequados (sem causar prejuízo às pessoas e ao meio ambiente)

- () Discordo Totalmente
- () Discordo
- () Nem Concordo/Nem discordo
- () Concordo
- () Concordo Totalmente

39) A empresa busca informações sobre processos e equipamentos com tecnologias menos poluentes

- () Discordo Totalmente
- () Discordo
- () Nem Concordo/Nem discordo
- () Concordo

<input type="checkbox"/> Concordo Totalmente						
40) A empresa realiza mudanças tecnológicas (modificações no processo e nos equipamentos) a fim de reduzir resíduos						
<input type="checkbox"/> Discordo Totalmente						
<input type="checkbox"/> Discordo						
<input type="checkbox"/> Nem Concordo/Nem discordo						
<input type="checkbox"/> Concordo						
<input type="checkbox"/> Concordo Totalmente						
41) A empresa busca reduzir ou evitar a poluição						
<input type="checkbox"/> Discordo Totalmente						
<input type="checkbox"/> Discordo						
<input type="checkbox"/> Nem Concordo/Nem discordo						
<input type="checkbox"/> Concordo						
<input type="checkbox"/> Concordo Totalmente						
42) A empresa possui ambiente limpo, seguro e saudável, segundo normas regulamentadoras e leis						
<input type="checkbox"/> Discordo Totalmente						
<input type="checkbox"/> Discordo						
<input type="checkbox"/> Nem Concordo/Nem discordo						
<input type="checkbox"/> Concordo						
<input type="checkbox"/> Concordo Totalmente						
43) A empresa está de acordo com as leis ambientais						
<input type="checkbox"/> Discordo Totalmente						
<input type="checkbox"/> Discordo						
<input type="checkbox"/> Nem Concordo/Nem discordo						
<input type="checkbox"/> Concordo						
<input type="checkbox"/> Concordo Totalmente						
INDÚSTRIA 4.0						
A Indústria 4.0 ou Quarta Revolução Industrial é uma expressão que engloba algumas tecnologias para automação e troca de dados e utiliza conceitos de Sistemas ciberfísicos, Internet das Coisas e Computação em Nuvem. Ela tem o objetivo de garantir a conectividade e integração entre itens utilizados diariamente nas empresas como máquinas, softwares e banco de dados.						
44) Classifique as práticas da indústria 4.0 quanto ao grau de utilização na empresa:						
0% = Não utilizada						
25% = Pouco utilizada						
50% = Utilizada						
75% = Muito utilizada						
100% = Extremamente utilizada						
<i>Tecnologia</i>	<i>Definição</i>	<i>0%</i>	<i>25%</i>	<i>50%</i>	<i>75%</i>	<i>100%</i>
Big Data (Sensores)	Coleta e processamento de um volume abrangente de dados, extraindo informações relevantes para a tomada de decisão.	<input type="checkbox"/>				

Robótica	Robôs mais autônomos, flexíveis e cooperativos, capazes de interagir entre si e trabalhar com humanos.	<input type="checkbox"/>				
Simulação	Projeções virtuais, permitindo testes e otimizações sem gastar necessariamente com protótipos físicos.	<input type="checkbox"/>				
Integração de Sistemas (Tecnologia da Informação)	Integração de dados e sistemas, resultando em cadeias de valor automatizadas e completamente interligadas.	<input type="checkbox"/>				
Internet das Coisas (IoT)	Dispositivos enriquecidos com computação embutida e conectados a tecnologias padrão, potencializando a comunicação entre si.	<input type="checkbox"/>				
Ciber segurança	Proteção dos sistemas e dados da empresa em função do aumento da conectividade e comunicação.	<input type="checkbox"/>				
Nuvem	Informações compartilhadas pela internet e armazenadas em nuvem, disponíveis para acesso segundo a demanda.	<input type="checkbox"/>				
Manufatura aditiva	Prototipagem e produção de componentes individuais através da tecnologia de impressão 3D.	<input type="checkbox"/>				
Realidade aumentada	Amplia o acesso à informação, fornecendo instruções para manutenção e treinamentos virtuais.	<input type="checkbox"/>				

45) Em sua opinião, dentre as tecnologias abaixo, selecione 3 tecnologias as quais você considera as mais relevantes para a Indústria 4.0.

- Big data (sensores)
 Robótica
 Simulação
 Integração de Sistemas (Tecnologia da Informação)
 Internet das coisas (IoT)
 Ciber segurança
 Nuvem
 Manufatura aditiva
 Realidade aumentada.

46) Em sua opinião, selecione 3 desafios relacionados com a implementação da Indústria 4.0 de acordo com sua importância e complexidade.

- Padronização (Padronizar a empresa no modelo de Indústria 4.0)
 Mudança do Modelo Tradicional para um Novo Modelo de Negócio
 Disponibilidade dos produtos
 Falta de mão de obra qualificada
 Pesquisa (Financiamento de pesquisas)
 Framework regulatório
 Investimento em novas tecnologias
 Ausência de infraestrutura

BENEFICIAMENTO	
RECEITA/PROCESSO	
No processo de pré-alvejamento de algodão da sua empresa:	
47) Usa peróxido de hidrogênio?	<input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO
Quanto (g/l)?	
48) Usa soda caustica?	<input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO
Quanto (g/l)?	
49) Usa detergente?	<input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO
Quanto (g/l)?	
50) Usa sequestrante?	<input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO
Quanto (g/l)?	
51) Qual a temperatura (°C) do processo?	
52) Qual o tempo do processo?	
53) Submete à quantas lavagens?	
54) Neutraliza o peróxido de hidrogênio?	<input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO
Se sim, como?	
TECNOLOGIAS	
55) Há controladores de processo por máquina?	<input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO
56) Como é realizada a emissão da receita?	<input type="checkbox"/> Impressa <input type="checkbox"/> Automaticamente para a máquina
57) Como é gerada a ordem de produção?	<input type="checkbox"/> Impressa <input type="checkbox"/> Automaticamente para a máquina
58) Possui cozinha automatizada?	<input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO
59) Como ocorre o carregamento e descarregamento da máquina?	<input type="checkbox"/> Manualmente <input type="checkbox"/> Automaticamente
60) Há controle automático da relação de banho?	<input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO
61) Há controle automático de pH?	<input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO
62) Há recursos automáticos para a recuperação de água?	<input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO
63) Realiza leitura de cor para analisar a recuperação da água?	<input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO

64) Aceitaria testar uma nova receita/processo de pré-alvejamento adequada à filosofia produção mais limpa juntamente com tecnologias da indústria 4.0?

SIM NÃO