

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS BLUMENAU
DEPARTAMENTO ENGENHARIAS
CURSO ENGENHARIA TÊXTIL

Carolina D'Ávila Kramer Cavalcanti

Impactos ambientais dos diferentes tipos de beneficiamentos têxteis: tingimento de fibras de poliéster, poliamida e algodão

BLUMENAU

2022

Carolina D'Ávila Kramer Cavalcanti

Impactos ambientais dos diferentes tipos de beneficiamentos têxteis: tingimento de fibras de poliéster, poliamida e algodão

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Engenharia Têxtil do Campus Blumenau da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel Engenharia Têxtil.

Orientadora: Prof^a Cátia Rosana Lange de Aguiar, Dra.

BLUMENAU

2022

Cavalcanti, Carolina D'Ávila Kramer
Impactos ambientais dos diferentes tipos de
beneficiamentos têxteis: : tingimento de fibras de
poliéster, poliamida e algodão / Carolina D'Ávila Kramer
Cavalcanti ; orientador, Cátia Rosana Lange de Aguiar,
2022.
54 p.

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

Inclui referências.

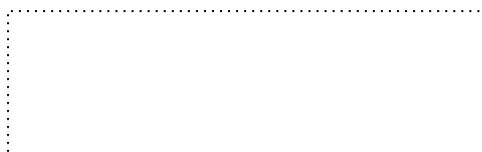
1. Engenharia Têxtil. 2. Beneficiamento têxtil. 3.
Tingimento de fibras de poliamida, poliéster e algodão. 4.
Uso da água no processo de beneficiamento. 5. Corantes e
auxiliares têxteis. I. Aguiar, Cátia Rosana Lange de. II.
Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em
Engenharia Têxtil. III. Título.

Carolina D'Ávila Kramer Cavalcanti

Impactos ambientais dos diferentes tipos de beneficiamentos têxteis: tingimento de fibras de poliéster, poliamida e algodão

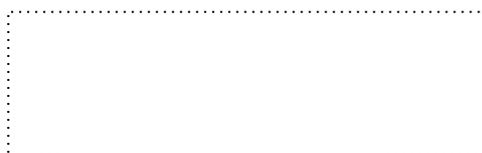
Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de bacharel em Engenharia Têxtil e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Têxtil

Blumenau, 29 de julho de 2022.



Prof.ª Catia Rosana Lange de Aguiar
Coordenação do Curso

Banca examinadora



Prof.ª Catia Rosana Lange de Aguiar, Dra.
Orientadora



Prof.ª Fabiana Raupp, Dra.
Universidade Federal de Santa Catarina



Prof.ª Grazyella Cristina Oliveira de Aguiar, Dra.
Universidade Federal de Santa Catarina

Blumenau, 2022.

RESUMO

Este estudo tem o objetivo de identificar os impactos dos processos de beneficiamento de algodão, poliéster e poliamida, por meio de uma pesquisa com indústrias têxteis do estado de Santa Catarina. A indústria têxtil é um dos setores da cadeia de produção que mais consome água, por meio do setor de beneficiamento, gerando efluentes líquidos que costumam ter alta carga poluidora, produzindo assim impactos ambientais indesejáveis. Nesse contexto, os principais procedimentos metodológicos aplicados foram os referenciais bibliográfico para aprofundar os conhecimentos referentes ao beneficiamento têxtil, e pesquisa de campo que proporcionou uma visão e análise das empresas têxteis que beneficiam malhas das regiões metropolitanas do Vale do Itajaí e Jaraguá do Sul. Como instrumento de pesquisa o presente estudo aplicou-se um questionário, onde as perguntas tratavam sobre os processos de preparação, tingimento e acabamento das fibras de algodão, poliéster e poliamida. Cada fibra e corante tem a sua especificidade durante o processo de beneficiamento têxtil, resultando em diferentes impactos ambientais, assim, o emprego da água durante os processos de tingimento, lavagem e ensaboamento foi discutido de acordo com especificidade das fibras têxteis estudada. A fibra mais consumidora de água foi o algodão, pois realiza mais etapas de beneficiamento em relação as demais fibras, no que diz respeito ao gasto energético, o poliéster necessita de alta pressão e temperatura para o tingimento. Com relação aos corantes empregados, observou-se que cromo ou cobre, caso do corantes complexo metálicos, grupo azo e grupo sulfônico, fazem parte da estrutura molecular dos corantes para tingir poliamida, e o desague dessas substâncias ocasionam uma alta demanda química de oxigênio (DQO). De tal modo, o impacto ambiental está vinculado a fontes hídricas, energéticas, extrativistas, uso de derivados de petróleo, não só por meio do uso das fibras sintéticas, mas também do emprego de auxiliares e corantes nos processos de beneficiamento. Percebeu-se, dessa forma que é importante evidenciar que o descarte e o tratamento incorreto dos efluentes têxteis e o uso excessivo da água, estão relacionados ao processo de beneficiamento, gerando danos ao meio ambiente e a sociedade.

Palavras-chave: Beneficiamento têxtil. Tingimento de fibras de poliamida, poliéster e algodão. Corantes. Auxiliares têxteis. Impacto ambiental.

ABSTRACT

This study aims to identify the impacts of cotton, polyester and polyamide beneficiation processes, through a survey with textile industries in the state of Santa Catarina. The textile industry is one of the sectors of the production chain that consumes the most water, through the processing sector, generating liquid effluents that usually have a high pollutant load, thus producing undesirable environmental impacts. In this context, the main methodological procedures applied were the bibliographic references to deepen the knowledge regarding textile processing, and field research that provided a vision and analysis of textile companies that wet processing knits in the metropolitan regions of Vale do Itajaí and Jaraguá do Sul. As a research instrument, the present study applied a questionnaire, where the questions dealt with the processes of preparation, dyeing and finishing of cotton, polyester and polyamide fibers. Each fiber and dye have its specificity during the textile wet processing, resulting in different environmental impacts, thus, the use of water during the dyeing, washing and soaping processes was discussed according to the specificity of the textile fiber studied. The most water-consuming fiber was cotton, as it performs more processing steps compared to the other fibers. Regarding the dyes used, it was observed that chromium or copper, in case of the metallic complex dyes, azo group and sulfonic group, are a part of the molecular structure of dyes used to dye polyamide, and the dewatering process of these substances causes a high chemical demand for oxygen (COD). In this way, the environmental impact is linked to water, energy and extractive sources, use of petroleum derivatives, not only through the use of synthetic fibers, but also through the use of auxiliaries and dyes in the wet processes. It was noticed, therefore, that it is important to show that the disposal and incorrect treatment of textile effluents and the excessive use of water are related to the wet process, causing damage to the environment and society.

Key words: Textile processing. Dyeing of polyamide, polyester and cotton fibers. Textile dyes. Textile auxiliaries. Environmental impact.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	10
2.1	FIBRAS TÊXTEIS	10
2.2	PROCESSO DE BENEFICIAMENTO.....	11
2.2.1	Pré tratamento (Purga) e Pré-alveamento	11
2.2.2	Processo de Tingimento	12
2.2.2.1	<i>Tingimento de fibras celulósicas com corante reativo</i>	13
2.2.2.2	<i>Tingimento de fibras de poliéster com corante disperso</i>	14
2.2.2.3	<i>Tingimento de fibras de poliamida</i>	15
2.2.3	Processo de Acabamento	15
2.3	EMPREGO DE ÁGUA E GERAÇÃO DE EFLUENTES.....	16
3	METODOLOGIA DE PESQUISA	17
3.1	CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	1
3.2	DELIMITAÇÕES DA PESQUISA.....	19
3.3	PESQUISA E DOCUMENTAÇÃO: O QUESTIONÁRIO	21
4	RESULTADOS	22
4.1	BENEFICIAMENTO DE FIBRAS DE ALGODÃO.....	22
4.1.1	Processo de preparação de algodão	22
4.1.2	Processo de tingimento	23
4.1.3	Uso de água no processo	26
4.2	BENEFICIAMENTO DE FIBRAS DE POLIAMIDA	28
4.2.1	Processo de preparação de poliamida	28
4.2.2	Processo de tingimento da poliamida	29
4.2.3	Uso de água no processo	31
4.3	BENEFICIAMENTO DE FIBRAS DE POLIÉSTER	32
4.3.1	Processo de preparação do poliéster	32
4.3.2	Processo de tingimento de poliéster	33
4.3.3	Uso de água no processo	35
4.4	IMPACTOS AMBIENTAIS.....	37
4.4.1	Novas tecnologias de processo	38
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	40

REFERÊNCIAS	43
APÊNDICE A – TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DIVULGAÇÃO DE INFORMAÇÕES DE EMPRESAS	50
APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO	51

1 INTRODUÇÃO

A indústria têxtil alimenta diversos segmentos como vestuário, decoração, pet e outros. No ano de 2019 o poliéster foi a fibra mais utilizada em todo o mundo, com cerca de 52% da produção global total de fibras, com 58 milhões de toneladas produzidas. O segundo mais utilizado é o algodão com 26 milhões de toneladas, totalizando 23% da produção global e a poliamida, em terceiro lugar, a fibra sintética mais usada, sendo responsável por 5,6 milhões de toneladas, representando 5% do mercado global (TEXTILE-EXCHANGE, 2020).

No Brasil, a indústria têxtil brasileira desempenha um papel importante na economia, tanto na geração de empregos, quanto no valor da produção industrial (LUCATO; COSTA; OLIVEIRA, 2017). O país produz cerca 9,4 bilhões de peças de vestuário de algodão e é um dos poucos do ocidente que mantém toda a cadeia produtiva do setor têxtil, ou seja, a produção de fibras, fiação, tecelagem, tinturaria, lavanderia e varejo. Entretanto, o país segue a tendência mundial no uso de fibras sintéticas, como o poliéster, apesar da capacidade de produção de algodão (KLEIN *et al.*, 2020).

A demanda global por produtos têxteis está aumentando constantemente, uma tendência que provavelmente continuará devido ao crescimento populacional e ao desenvolvimento econômico. A cadeia têxtil enfrenta grandes desafios ambientais e de recursos não renováveis. A grande parte das fibras têxteis utilizadas na indústria é derivada de produtos petroquímicos, cuja produção e destino dão origem a emissões consideráveis de dióxido de carbono (CO₂) no meio ambiente (SANDIN e PETERS, 2018).

Segundo *United Nations Environment Programme* (2018), o setor têxtil produz 20% das águas residuais globais e 10% das emissões globais de carbono. O tingimento é o segundo maior poluidor de água no mundo e utiliza cerca de 2.000 litros de água para fazer um típico jeans. Em fevereiro de 2021, o Parlamento Europeu aprovou uma resolução sobre o novo plano de ação da economia circular exigindo medidas adicionais para alcançar uma economia neutra em carbono, ambientalmente sustentável, livre de tóxicos e totalmente circular até 2050, incluindo regras de reciclagem mais rígidas e metas vinculativas para o uso de materiais e consumo até 2030. Além disso, a resolução contém propostas em relação ao despejo de microfibras e normas mais rígidas sobre o uso da água (EUROPEAN PARLIAMENT, 2020).

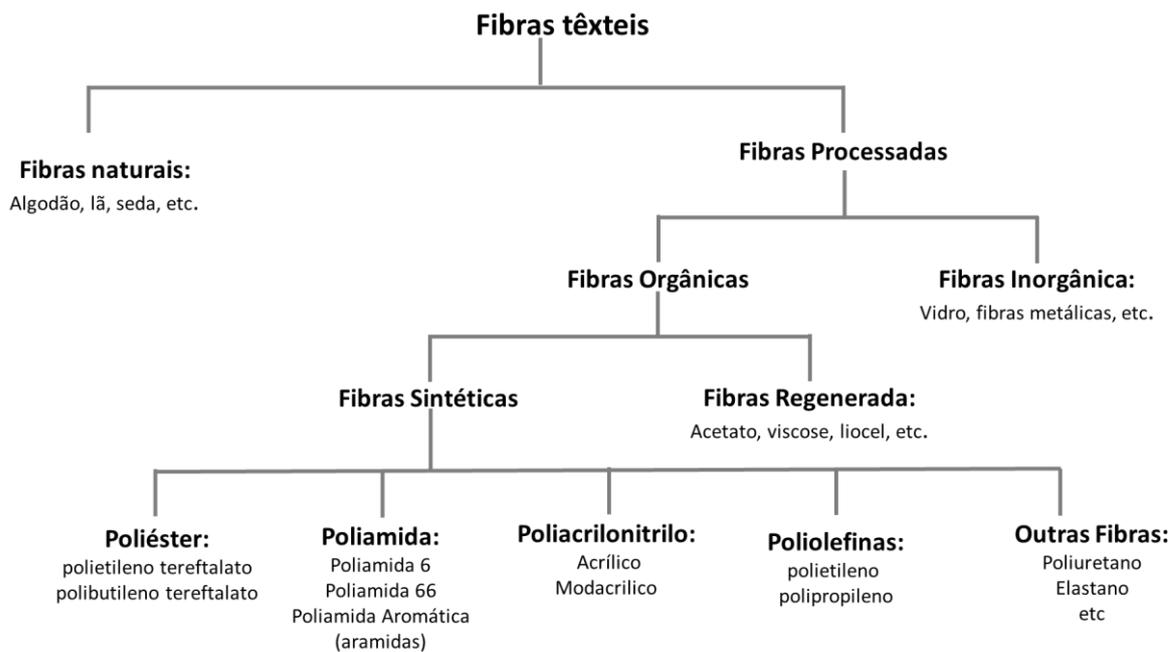
Diante disso, o presente trabalho tem como objetivo identificar os processos e insumos químicos presentes nos beneficiamentos de fibras de algodão, poliéster e poliamida, que possam ser potenciais poluidores e contribuem com impactos ambientais negativos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 FIBRAS TÊXTEIS

As fibras podem ser classificadas como naturais, artificiais ou sintéticas, onde as naturais podem ser animais, vegetais ou minerais. De acordo com a Figura 1, as fibras de origem de animais são compostas principalmente por proteínas como seda, lã e outros pelos de animais. Já as fibras vegetais são compostas principalmente de celulose, como o algodão, cânhamo, sisal entre outros. Por fim, as fibras sintéticas podem ser produzidas pela síntese de polímeros na produção de poliamida e poliéster, e as fibras artificiais pela alteração da celulose, como a viscose (MURTHY,2016; SHABBIR e MOHAMMAD, 2018).

Figura 1: Classificação das fibras têxteis



Fonte: Adaptado Sinclair, 2014

As três fibras têxteis mais utilizadas no mundo são poliéster, algodão e poliamida. A fibra de origem natural, neste caso, o algodão, é constituído quase que exclusivamente por celulose. Os constituintes não celulósicos fazem parte de uma pequena fração da composição da fibra, como pectina (0,7–1,2%), ceras (0,4–1,0%), proteína (1,1–1,9%), cinzas (0,7–1,0%) e fragmentos de tegumento (0,5–1,0%). Esses constituintes não celulósicos são considerados

impurezas que conferem uma cor indesejável e dificultam o tingimento do algodão (SENAI-SP,2015; NAIZ *et.al*, 2011).

O poliéster é o produto de reação de policondensação do ácido tereftálico com etilenoglicol. Após a síntese, o polímero é fundido e atravessa por *spinnerets*, e em seguida estirado, se transformando em filamento (SALÉM,2010). As poliamidas são fibras sintéticas que possuem ligações amida (-CO-NH-) estão ligadas diretamente a unidades alifáticas ou cicloalifáticas. As duas poliamidas alifáticas mais importantes são a poliamida 6 e a poliamida 66 (SENAI-SP,2015; CLARK,2011; ARAUJO e CASTRO, 1987).

A fibra *in natura* não possui os aspectos necessários para o processo de tingimento devido as impurezas contidas na fibra. A purga remove as impurezas que, de outra forma, interfeririam no processamento posterior dos tecidos e podem ser realizados em processos descontínuos e contínuos. Procedimentos específicos (equipamentos e auxiliares químicos) dependem do tipo de fibra e das impurezas a serem removidas (SINCLAIR, 2014), estes processos serão apresentados no item a seguir.

2.2 PROCESSO DE BENEFICIAMENTO

2.2.1 Pré tratamento (Purga) e Pré-alveijamento

A purga é o processo de lavagem realizada para remover óleos, gorduras, ceras, impurezas solúveis e quaisquer partículas ou sujeiras sólidas aderidas às fibras, que de outra forma dificultariam os processos de tingimento, impressão e acabamento (CLARK,2011).

Segundo Vigo (2002), a remoção eficaz de impurezas no algodão, particularmente ceras, pode ser realizado com o emprego de 3-6% de hidróxido de sódio ou hidróxido de cálcio ou carbonato de sódio. Além disso, a escolha adequada dos auxiliares têxteis no banho alcalino é essencial para uma boa purga. Estes incluem agentes sequestrantes ou quelantes, como o ácido etilenodiamino tetra-acético (EDTA), para solubilizar substâncias inorgânicas insolúveis presentes em água dura e surfactantes, como o lauril sulfato de sódio (aniônico) que serve como detergente, agente dispersante e agente emulsificante para remover ceras insaponificáveis. Este processo emulsiona as ceras, decompõe a pectina e as proteínas em produtos solúveis em água, removendo efetivamente todas as impurezas que existem no substrato de algodão cru (JOSHI *et.al*, 2013).

A purga também é realizada em fibras sintéticas que possuem um tom amarelo devido ao superaquecimento ou acúmulo de impurezas durante a fabricação. O processo é muito mais suave do que para fibras naturais (BROADBENT, 2001). As fibras sintéticas são lavadas com sabão ou detergentes contendo quantidades menores de álcali, por exemplo, 0,1-0,2% de carbonato de sódio (VIGO, 2002).

As fibras de algodão geralmente requerem pré-alveamento, a menos que o material seja tingido em tons escuros. O objetivo do branqueamento é descolorir as impurezas que mascaram a brancura natural das fibras. Os agentes oxidantes são usados para branquear as fibras, como: o peróxido de hidrogênio, hipoclorito de sódio e clorito de sódio. Em escala industrial o agente oxidante mais utilizado é o peróxido de hidrogênio. Além disso, o processo pode ser realizado pelo processo de esgotamento ou contínuo (ADANUR, 2017). Após o processo de preparação, a maioria dos substratos têxteis são encaminhados para o tingimento, onde receberão a cor desejada.

2.2.2 Processo de Tingimento

Os materiais corantes podem ser classificados como corantes ou pigmentos. Corantes são solúveis ou dispersáveis no meio de aplicação, geralmente água, em algum ponto durante o processo de tingimento. O pigmento é um composto usado para dar cor, mas não tem afinidade inerente com o material têxtil. Ambos podem ser usados para colorir materiais têxteis. Os corantes podem difundir em fibras e interagem com a estrutura polimérica da fibra. Os pigmentos estão simplesmente ligados a superfície da fibra, tecido ou fio por outros agentes químicos (ADANUR, 2017; SALÉM, 2010).

O objetivo do tingimento é colorir todo o material para que o corante penetre completamente nas fibras e a superfície visível tenha uma cor completamente uniforme. A boa penetração dos corantes garante ótimas propriedades de solidez. A diversidade de fibras e materiais exige diferentes tipos de corantes, máquinas ou processos de tingimento (BROADBENT, 2001). O Quadro 1, apresenta as fibras têxteis mais conhecidas com as possibilidade de tingimento de acordo com as classes de corante.

Quadro 1: Relação entre fibras e seus respectivos corantes

Fibra	Classe de corante
Lã (W)	Ácido, mordente e reativo
Seda (S)	Ácido, mordente, básico, cuba
Liocel (CLY) e Viscose (CV)	Direto, cuba, enxofre, reativo
Algodão	Direto, cuba, enxofre, reativo
Poliamida 6 e 66 (PA)	Ácido, mordente, direto, disperso e reativo
Poliacrilonitrila (PAN)	Básico e Disperso
Poliéster	Disperso

Fonte: Adaptado Burkinshaw, 2016

Há diversos métodos para a realização de tingimentos, onde os mais comuns são processos contínuos, por esgotamento e por impressão (CLARK, 2011). No tingimento contínuo, o banho de impregnação permanece estacionado enquanto o substrato passa continuamente por ele, é espremido mecanicamente e fixado por calor seco, vapor ou por repouso prolongado (SALEM, 2010). Por esgotamento, o corante encontra-se total ou parcialmente diluído no banho de tingimento. O corante é transportado para a superfície da fibra pelo movimento do banho ou pelo movimento do substrato a ser tingido. O corante é adsorvido na superfície da fibra e difunde em toda a fibra. Dependendo do corante usado, as interações entre o corante e a fibra podem ser químicas ou físicas (CLARK, 2011).

2.2.2.1 Tingimento de fibras celulósicas com corante reativo

A estrutura do corante reativo possui três grupos funcionais: cromóforo, solubilizante e reativo, que reagem com os grupos hidroxílicos da fibra de celulose. Sob condições de tingimento adequadas, as ligações covalentes são formadas entre corante e fibra, de modo que, ao final do tingimento, o cromóforo se liga covalentemente ao substrato (MAHAPATRA, 2018; SALEM, 2010; BROADBENT, 2001).

Segundo Sinclair (2014), o procedimento para o tingimento em corante reativo acontece em três fases:

- Exaustão, onde o corante é transferido do banho de tingimento para a fibra;
- Fixação, onde ocorre a reação para fixar o corante na fibra;
- Lavagem pós-tingimento, onde qualquer excesso de corante é removido para proporcionar uma solidez aceitável da cor.

Uma vez que o corante tenha se esgotado na fibra com a adição de um eletrólito, como cloreto de sódio ou sulfato de sódio, e a migração do corante com a fibra ficou uniformemente, a fixação é promovida pela adição de um álcali. Geralmente, o álcali utilizado é carbonato de sódio, hidróxido de sódio ou uma combinação dos dois. Enquanto a fase alcalina promove a reação do corante com a fibra, ela tem o efeito colateral de favorecer a reação do corante com a água, causando a hidrólise. Isso é indesejável porque o corante hidrolisado não está disponível para reagir com a fibra. A desvantagem do corante reativo é que o corante hidrolisado é desperdiçado e sua presença na fibra reduz a solidez da cor (WARDMAN, 2017; SINCLAIR, 2014).

2.2.2.2 Tingimento de fibras de poliéster com corante disperso

O corante disperso é um corante com baixa solubilidade em água que, em sua forma coloidal dispersa, são adequados para tingimento e estamparia de fibras e tecidos hidrofóbicos, como o poliéster (HUNGER, 2003).

De acordo com Adanur (2017) e Salém (2010), durante o processo de tingimento ocorre a difusão do corante para a fibra. Esse processo costuma ser realizado em temperaturas por volta de 130 °C ou com emprego de *carriers*, para que esta temperatura possa ser reduzida para 100 °C, aproximadamente. Para que os tingimentos de poliéster sejam obtidos com menor possibilidade de manchas ou outros problemas, é comum que as seguintes formas de tingir sejam aplicadas:

- Aumento da velocidade de difusão pelo aumento de temperatura (130°C);
- Uso de tensoativos não iônicos que auxiliam no processo de tingimento por esgotamento em alta temperatura, como materiais etoxilados não voláteis, que melhoram a dispersão dos corantes;
- Aumento da taxa de tingimento de poliéster pela adição de um transportador, chamados *carriers*.

Os *carriers* são compostos orgânicos que têm afinidade com o poliéster, como ortofenilfenol, ésteres aromáticos, hidrocarbonetos clorados e outras substâncias. A desvantagem nos *carriers* é a alta toxicidade.

2.2.2.3 Tingimento de fibras de poliamida

Os corantes ácidos contêm grupos sulfônicos (geralmente $-\text{SO}_3\text{H}$), e são aplicados em fibras contendo grupos básicos que podem interagir com fibras como lã e poliamida, que contêm grupos amino livres ($-\text{NH}_2$). Conforme percebe-se na Figura 2, as ligações formadas entre o corante e a fibra são de características iônicas (ADANUR, 2017; BURKINSHAW, 2016).

Figura 2: Interação do corante ácido com fibras catiônicas



Fonte: Adanur, 2017.

Os dois principais tipos de poliamida comercialmente disponíveis no mercado atual são poliamida 6 e poliamida 6.6. A poliamida 6 representa um policondensado de caprolactama, e a poliamida 6.6 é um produto de policondensação de dois componentes individuais, ácido adípico e hexametilenodiamina. Ambos os tipos de fibra são muito receptivos a corantes ácidos sob s condições ideais de tingimento (IQBAL, 2009).

A poliamida é uma fibra termoplástica, onde sua taxa de tingimento termoplásticas é muito dependente da temperatura de tingimento. A taxa aceitável de tingimento é próxima à temperatura de transição vítrea de segunda ordem do polímero. No caso do poliamida, a absorção do corante pela fibra começa em $40\text{ }^\circ\text{C}$, abaixo do ponto de ebulição da água. Dessa forma, o tingimento pode ser feito em temperaturas abaixo de $100\text{ }^\circ\text{C}$ e não é necessário equipamento de tingimento pressurizado (ADANUR, 2017).

2.2.3 Processo de Acabamento

O acabamento têxtil, também conhecido como beneficiamento final ou terciário, é o processo que aperfeiçoa as características físico-químicas do substrato têxtil, a fim de que atinja as condições exigidas em seu uso final. Os tipos de acabamentos subdividem-se em físicos e químicos (SENAI-SP, 2015).

Dependendo do tipo de substrato têxtil a ser tratado, os processos de acabamento são realizados por diferentes meios (BELLINI *et.al*, 2006):

- Meios mecânicos: envolvem a aplicação de princípios físicos como atrito, temperatura, pressão, tensão e outros;
- Químicos: envolvem a aplicação de produtos químicos de síntese ou naturais, que se ligam às fibras de forma mais ou menos permanente;
- Mecânica combinada: envolvem a aplicação de processos químicos e mecânicos.

O acabamento têxtil envolve o tratamento de um material têxtil de forma que o produto tenha as propriedades estéticas e funcionais desejadas para o uso pretendido e, portanto, tenha maior valor de mercado. As propriedades desejadas podem incluir as dimensões do tecido e sua estabilidade, seu peso, caimento, aparência, maciez e manuseio, bem como quaisquer propriedades funcionais necessárias, como resistência a vincos, chamas, água, óleo, sujeira ou bactérias. Os auxiliares de acabamento são aplicados com máquinas de acabamento por impregnação, *como padders* ou *mangles*, com ação unilateral ou bilateral bem como por processos por esgotamento (CHOUDHURY,2017; BROADBENT,2001).

2.3 EMPREGO DE ÁGUA E GERAÇÃO DE EFLUENTES

A água é fundamental no processo tingimento, principalmente no tingimento por esgotamento, onde a quantidade de água empregada varia conforme o tipo de máquina, fibra, estrutura da fibra, tipo de corante, etc. (BURKINSHAW e SALIHU, 2019). Um dado importante é que 72% do uso total de água na indústria têxtil é para processamento úmido, sendo que o restante é utilizado para geração de vapor, resfriamento, uso sanitário, combate a incêndio e outros fins (PANDA, SEN e MUKHOPADHYAY, 2021).

A atividade de tingir necessita de grandes volumes de água, gerando assim, uma grande quantidade efluentes. Os processos de purga, tingimento, estampagem, acabamento e lavagem contribuem para a maiores volumes de águas residuais (DASGUPTA et, al, 2015). As águas residuais de tingimento contêm uma grande quantidade de sal, alcalinidade e uma ampla gama de corantes. A quantidade de água utilizada depende da fibra a ser tingida, do tipo de tecido, da natureza do corante, dos agentes de acabamento e do tipo de máquinas utilizadas (MUTHU, 2019). A indústria tradicional de acabamento têxtil consome cerca de 100 L de água por 1 kg de matéria têxtil (ALI, 2010).

O efluente colorido é encontrado principalmente no tingimento de fibras celulósicas, que representam quase 50% do total de fibras consumidas pela indústria têxtil. A Tabela 1

apresenta que até 50% dos corantes reativos usados podem ser despejados para o efluente (YUSUF, 2018).

Tabela 1: Estimação do corante fixado por tipo de fibra

Classe do corante	Fibra	% Fixação na fibra	% Perdido no efluente
Ácido	Poliamida	80 – 95	5 – 20
Reativo	Celulósica	50 – 90	10 -50
Disperso	Poliéster	90 - 100	0 -10

Fonte: Yusuf, 2018

O corante não fixado resulta em efluentes altamente coloridos que têm um efeito altamente prejudicial nos ecossistemas aquáticos. A cor afeta a capacidade fotossintética das plantas aquáticas, reduzindo a disponibilidade de luz. Além disso, os corantes e seus produtos de degradação podem ser tóxicos, carcinogênicos ou mutagênicos (SAXENA, RAJA e ARPUTHARAJ, 2016).

O efluente têxtil possui altas cargas de demanda biológica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO) e sólidos totais dissolvidos (TDS). A água descarregada do processo contém amidos, dextrina, gomas, glicose, ceras, pectina, álcool, ácidos graxos, ácido acético, detergentes de sabão, hidróxido de sódio, sulfetos, sulfitos, cloretos, corantes, carbonatos, pigmentos, carboximetilcelulose, silicones, flúor carbonetos e resinas ou ainda outros elementos, dependendo dos processos realizados (TAYYAB *et. al*, 2020; MUTHU, 2019).

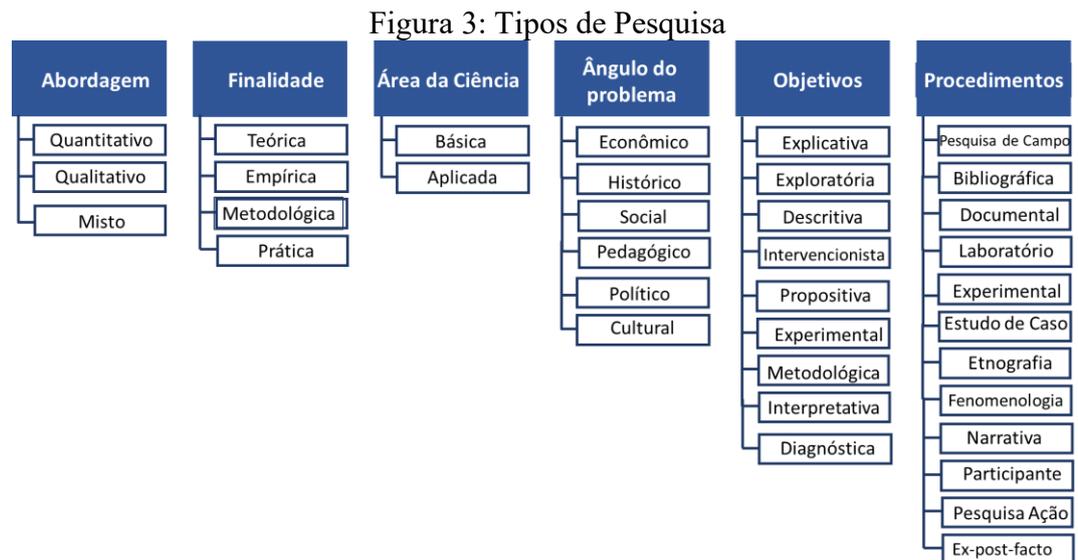
3. METODOLOGIA DE PESQUISA

Este tópico aborda os tipos de pesquisa, a delimitação da pesquisa, os instrumentos para coleta de dados e a catalogação dos dados aplicados a proposta desse trabalho.

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Nas pesquisas científicas é preciso coletar dados que possam fornecer informações capazes de responder às indagações. Desta forma, este trabalho se propôs a conhecer os processos e produtos aplicados no beneficiamento têxtil das empresas têxteis de Santa Catarina. Para que os resultados das pesquisas sejam confiáveis, tanto a coleta dos dados quanto a sua análise deve ser feita de forma criteriosa e objetiva (BARBETTA,2012).

Para Freire (2013), há várias classificações para os tipos de pesquisa, tais como se a pesquisa é básica ou aplicada; qualitativa, quantitativa e mista; descritiva, diagnóstica e estudo de caso e, outras definições. Em relação à abordagem, esta pesquisa é mista; na área da ciência, é aplicada; quanto a finalidade, é metodológica; com relação aos objetivos, é exploratória e, por fim, quanto aos procedimentos, foram utilizados três tipos: documental, pesquisa de campo e bibliográfica conforme observa-se na Figura 3.



Fonte: Freire (2013).

Quanto à pesquisa exploratória, explorar é tipicamente a primeira aproximação de um tema e visa criar maior familiaridade em relação a um fato ou fenômeno, buscando materiais que possam informar ao pesquisador a real importância do problema, do estágio em que se encontram as informações disponíveis a respeito do assunto, e até mesmo, revelar ao pesquisador novas fontes de informação. Na pesquisa exploratória, é feito um levantamento bibliográfico, entrevistas com profissionais que estudam/ atuam na área, visitas etc. (SANTOS, 2015; FREIRE, 2013; MARCONI, LAKATOS, 2017).

Com relação à forma de abordagem, esta pesquisa aplica a pesquisa mista que une os métodos quantitativos e qualitativos, conforme Quadro 2. Para Creswell (2010), a pesquisa de métodos mistos envolve a coleta de dados quantitativos e qualitativos em fases (sequencialmente) ou coletando-os ao mesmo tempo (concomitantemente). A pesquisa quantitativa considera que tudo pode ser quantificável, relativo em números, opiniões e informações, para classificá-los e analisá-los. Requer o uso de recursos e de técnicas estatísticas (porcentagem, média, moda, mediana, desvio padrão, coeficiente de correlação, análise de regressão, etc). Isto se refletirá nos resultados obtidos pelo questionário.

Já as pesquisas qualitativas descrevem que há uma relação dinâmica entre o mundo real e o sujeito, isto é, um vínculo indissociável entre o mundo objetivo e a subjetividade do sujeito que não pode ser traduzido em números, fornecendo informações sobre a própria fala dos entrevistados, oferecendo diferentes perspectivas sobre o tema e delineando os aspectos subjetivos do fenômeno. Isto está relacionado na pesquisa na análise das perguntas abertas do questionário (SILVA e MENDES, 2001).

Quadro 2: Métodos quantitativos, mistos e qualitativos

Métodos Quantitativos	→ Métodos Mistos ←	Métodos Qualitativos
<ul style="list-style-type: none"> • Predeterminado; • Questões baseadas no instrumento; • Dados de desempenho, dados de atitudes, dados observacionais e dados de censo; • Análise estatística; • Interpretação estatística; 	<ul style="list-style-type: none"> • Tanto métodos predeterminados quanto emergentes; • Tanto questões abertas quanto fechadas; • Formas múltiplas de dados baseados em todas as possibilidades; • Análise estatística e de texto; • Por meio da interpretação dos bancos de dados; 	<ul style="list-style-type: none"> • Métodos emergentes; • Perguntas abertas; • Dados de entrevistas, dados de observação, dados de documentos e dados audiovisuais; • Análise de texto e imagem; • Interpretação de temas e de padrões;

Fonte: Creswell (2010).

Para a realização do presente estudo foram utilizados dois procedimentos, pesquisa de campo e bibliográfica. A pesquisa de campo está relacionada a busca de empresas têxteis que trabalham com beneficiamento de malha, por meio de telefonemas, visitas e e-mails. Já a pesquisa bibliográfica busca trazer as referências e informações pertinentes ao assunto, oriundas de periódicos e livros.

3.2 DELIMITAÇÕES DA PESQUISA

Segundo Marconi e Lakatos (2017), delimitar a pesquisa é estabelecer limites para a investigação. Grande parte das indústrias têxteis do setor de beneficiamento de malha estão localizadas nas regiões Sul e Sudeste do Brasil. Se tratando da região Sul, Santa Catarina tem destaque, pois o parque fabril têxtil é vasto. Desta forma, este trabalho delimitou aplicar o questionário a empresas de beneficiamento de malha das regiões do Vale do Itajaí e de Jaraguá do Sul, no estado de Santa Catarina e que trabalham com as composições de 100% algodão, poliamida e poliéster, conforme a Figura 4.

Figura 4: Regiões Metropolitanas de Santa Catarina



Fonte: Adaptado Fórum Nacional Entidades Metropolitanas, 2022.

No final de 2021 foi aprovado o projeto de lei complementar (PLC) que institui três regiões metropolitanas no Norte de Santa Catarina que são as regiões metropolitanas do Planalto Norte, Jaraguá do Sul e Joinville. Anterior a esta data, essas regiões eram compostas por uma apenas, denominada de região metropolitana Norte-Nordeste (MARCELO ESPINOZA, 2021). O Quadro 3, apresenta os municípios que compõe as regiões metropolitanas do Vale do Itajaí e de Jaraguá do Sul.

Quadro 3: Municípios das regiões Metropolitanas do Vale do Itajaí e Jaraguá do Sul

Regiões Metropolitana	Vale do Itajaí	Jaraguá do Sul
Municípios	Apiúna Ascurra Benedito novo Botuverá Brusque Doutor Pedrinho Guabiruba Ilhota Luiz Alves Rio dos Cedros Rodeio Blumenau Gaspar Indaial Pomerode Timbó	Guaramirim Jaraguá do Sul Barra Velha Corupá Massaranduba São João do Itaperiú Schroeder

Fonte: Adaptado Fórum Nacional Entidades Metropolitanas, 2022.

A pesquisa de levantamento de dados traz diversas características dos elementos de uma certa população ou amostra (BARBETTA, 2011). Neste trabalho, as empresas das regiões do Vale do Itajaí e Jaraguá do Sul foram selecionadas para a aplicação dos questionários, pois maior concentração das empresas têxteis que realizam o beneficiamento em malha estão localizadas nestas regiões do estado de Santa Catarina.

3.3 PESQUISA E DOCUMENTAÇÃO: O QUESTIONÁRIO

Um questionário foi utilizado como ferramenta de coleta de dados. Marconi e Lakatos (2017), descrevem-no como uma série ordenada de perguntas, que devem ser respondidas. O questionário aplicado é constituído de perguntas sobre os processos de beneficiamento, seus insumos, uso de água e problemas que costumam acontecer.

O questionário tem como objetivo identificar os processos de beneficiamento têxteis de cada fibra têxtil no estado de Santa Catarina. Desta forma, as perguntas do questionário (apêndice B) estão relacionadas aos processos de beneficiamento como: a quantidade de corante que se utiliza no processo de tingimento da poliamida, algodão e poliéster, o volume de água empregado (L/kg) para o processo de tingimento das fibras têxteis, a temperatura máxima do processo, o *color index* dos corantes, tempo médio de tingimento por tons (claro, médio e escuro), tipo e quantidade de auxiliares utilizados nos processos de purga, tingimento e acabamento. As perguntas foram escolhidas de acordo com o processo de beneficiamento de cada fibra têxtil.

O questionário foi enviado para 28 empresas têxteis que beneficiam malha nas regiões citadas. Os principais meios de comunicação com as empresas foram contato telefônico e e-mail. Por *e-mail* era descrita a proposta do estudo e em anexo foram enviados o questionário e um termo de autorização do uso de informações.

A aplicação do questionário foi realizada de duas formas diferentes: aplicação do questionário de foi por *e-mail* em forma de arquivo na extensão *pdf*, ou pela plataforma *Google Forms*, de acordo com a necessidade da empresa.

Este trabalho aplicou o termo de consentimento que explica a empresa sobre a pesquisa e procedimentos aplicados. Assim, através da assinatura deste documento as empresas autorizaram o uso das informações desde que não seja revelado seu nome.

4. RESULTADOS

Neste tópico serão abordados os resultados do questionário realizado com empresas têxteis da região do Vale do Itajaí e de Jaraguá do Sul, aplicados no setor de beneficiamento, contemplando o processo de tingimento das fibras de algodão, poliamida e poliéster. Dos 28 questionários enviados, somente 4 empresas responderam. Para preservar a identidade das empresas pesquisadas, estas serão representadas apenas com as siglas TEX₁, TEX₂, TEX₃ e TEX₄.

4.1 BENEFICIAMENTO DE FIBRAS DE ALGODÃO

4.1.1 Processo de preparação de algodão

Dentre as quatro empresas pesquisadas, três delas empregam beneficiamento da fibra de algodão. No que diz respeito ao processo de preparação ao tingimento, todas realizam o processo de purga para o tingimento da cor preta e cores escuras. A fibra de algodão *in natura* contém impurezas como pectinas, ligninas, ceras e gorduras que deixam a fibra hidrofóbica. Segundo Colombi *et.al* (2021), as fibras de algodão possuem mais de 88% de celulose e impurezas representam cerca de 4 a 12% do peso da fibra fornecendo proteção hidrofóbica e superfície lubrificada para processamento.

Desta forma, o processo de purga é necessário para a remoção dessas impurezas tornando o algodão hidrofílico, ou seja, o substrato pronto para receber o corante. Os principais auxiliares para o processo de purga são barrilha (carbonato de sódio), detergente e emulgador. O Quadro 4, apresenta os auxiliares de preparação utilizados por cada empresa.

Quadro 4: Auxiliares utilizados no processo de purga de cada empresa.

TEX ₁	TEX ₂	TEX ₃
Carbonato de sódio (Na ₂ CO ₃)	Emulgador	Carbonato de sódio (Na ₂ CO ₃)
Emulgador	Hidróxido de sódio (NaOH)	Emulgador
Detergente	Detergente	Detergente
Sequestrante Ca/Mg		Sequestrante Ca/Mg
Dispersante		Dispersante
Ácido acético		Hidróxido de sódio (NaOH)

Fonte: Autor, 2022.

4.1.2 Processo de Tingimento

Ao avaliar a classe de corante empregada para o tingimento de algodão, detectou-se que a classe de corante mais utilizada nesse processo foi o corante reativo, seguida do corante direto. Nenhuma das empresas apresentou o *colour index* dos corantes empregados. Tessener (2016) sugere que para o tingimento da cor preta é necessário o emprego de componentes de sombreamento para uma profundidade no tom. Para chegar ao preto profundo (*Deep-Jet Black*), são utilizados os componentes laranja e vermelho, pois a utilização somente do corante preto não proporciona profundidade e nem intensidade. Por este motivo algumas empresas desconhecem ou não informaram o *colour index* do corante reativo preto, pois estes corantes podem ser uma mistura de outros elementos para atingir o preto profundo.

O sistema *Colour Index* (CI) é um sistema de classificação de corantes e pigmentos utilizado globalmente, que foi desenvolvido pela *Society of Dyers and Colorists*. Esta classificação inclui informações sobre classe de corante, sua tonalidade, estrutura química e um número de identificação (WARDMAN, 2017; CHRISTIE, 2007). Em vista disso, é importante saber qual o *colour index* do corante aplicado para saber a molécula que está sendo empregada na fibra.

A concentração de corante preto empregado sobre o peso do material varia de 3% a 6,6% em média. Para o processo de tingimento são utilizados também surfactantes aniônicos para TEX₁, não iônicos TEX₂ e a TEX₃ aplica os dois surfactantes. A temperatura do processo de tingimento é de 70°C para a empresa TEX₁, 60°C para a empresa TEX₂ e para a empresa TEX₃, essa temperatura varia de 60°C a 70°C.

O Quadro 5, apresenta os diferentes auxiliares aplicados no tingimento de cada empresa. Os auxiliares neste processo, além de garantir a interação corante/fibra, têm a função de proporcionar uma melhoria geral no processo e conseqüente garantia de qualidade do tingimento por meio do sequestro de íons de Ca e Mg, da dispersão dos corantes, dentre outras funções. A aplicação destes auxiliares é primordial para a realização dos tingimentos, entretanto, o banho residual que é despejado na estação de tratamento de efluentes (ETE) traz uma elevada carga poluidora.

Quadro 5: Auxiliares empregados no processo de tingimento de algodão com corante reativo

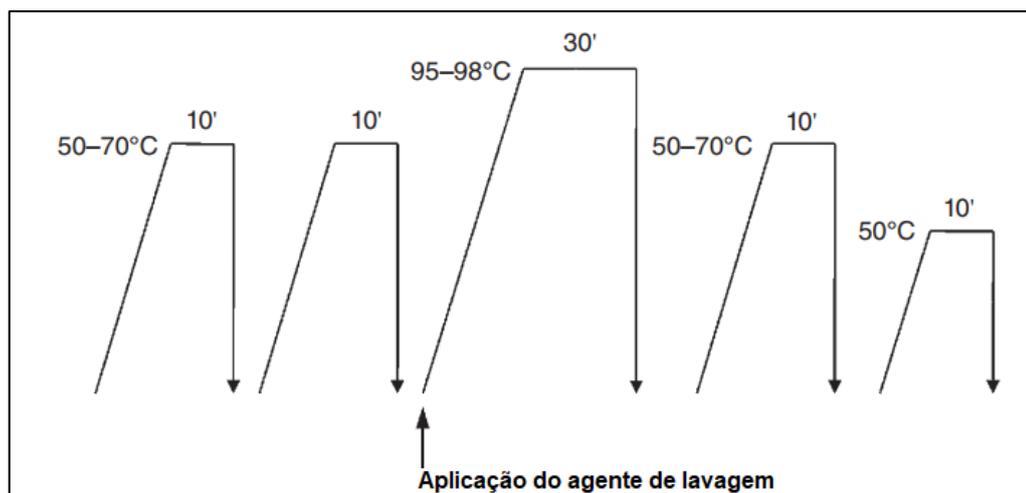
TEX1	TEX 2	TEX 3
Hidróxido de sódio (NaOH)	Carbonato de sódio (Na ₂ CO ₃)	Hidróxido de sódio (NaOH)
Carbonato de sódio (Na ₂ CO ₃)	Umectante	Emulgador
Igualizante	Antiquebradura	Umectante
Sequestrante de Ca/Mg/	Neutralizador de ácido	Antiquebradura
Dispersante	Detergente	Detergente
Ácido	Sequestrante de Ca/Mg/	Sequestrante de Ca/ Mg/
Antiespumante	Dispersante	Dispersante
	Ácido	Ácido

Fonte: Autor, 2022.

De acordo com a pesquisa realizada, para a remoção do corante residual ao final do processo de tingimento, são realizadas em média de 4 a 5 lavagens. No tingimento de algodão, independentemente da cor empregada, é realizado mais de uma lavagem para remoção do corante da fibra, pois o corante hidrolisado se deposita na parte superficial.

Os métodos tradicionais de lavagem empregados para corantes reativos em fibras de algodão compreendem a imersão do substrato tingido em uma série de banhos de água agitados e aquecidos, com pelo menos um estágio empregando um agente de lavagem que geralmente contém um surfactante, de modo a extrair, solubilizar e remover o corante do tingimento. Como a fixação corante-fibra é sempre acompanhada pela hidrólise do corante gerado pelo álcali, tanto o corante hidrolisado quanto o corante reativo que não reagiu estarão presentes no material tingido final. Estes processos geralmente envolvem várias etapas de enxágue, cujo número geralmente varia de acordo com a profundidade da sombra, por exemplo, de três a cinco ou mais (Figura 5). Se a lavagem não for realizada, as moléculas de corante não fixadas serão desorvidas do material tingido durante os tratamentos úmidos subsequentes (por exemplo, acabamento) e provavelmente mancharão os materiais adjacentes. Apenas 0,003% de corante sobre o peso do material presente em um tecido inicialmente não tingido resultará em uma mancha visualmente perceptível equivalente a uma classificação de escala de cinza de 4 (BURKINSHAW, 2016; SALEM, 2010).

Figura 5: Esquema do processo de lavagem e ensaboamento para tingimentos reativos.



Fonte: Burkinshaw, 2016.

A Tabela 2, apresenta o tempo total de beneficiamento (tingimento + lavagem) em relação a intensidade de cor tingida.

Tabela 2: Tempo de tingimento da fibra de algodão intensidade de cor

	Cor clara	Cor média	Cor escura
TEX 1	6 horas	7 horas	8 horas
TEX 2	6 horas	7 horas	7 horas
TEX 3	3 horas	3 horas	5 horas

Fonte: Autor, 2022.

Dentre as partes de processamento da fibra de algodão o tingimento é a parte que requer mais tempo e água. Entretanto, o corante reativo consome maior volume de água por quilo de fibra dentre os demais corantes. Sua relativa facilidade de aplicação, ampla gama de tons e brilho, bem como sua alta solidez à umidade em tais fibras e principalmente o custo têm desfrutado de um sucesso comercial (TESSENER, 2016; BURKINSHAW e KABAMBE, 2011).

Em relação ao tempo de tingimento por cor, quanto mais escura e intensa, maior será a quantidade de auxiliares e tempo empregados no processo. O processo de migração de cores escuras é mais delicado, ocorrendo mais problemas de solidez, manchas e desbotamento. Schönberger e Schäfer (2003), apresentam na Tabela 3, a quantidade de auxiliares utilizados no processo de tingimento de acordo por tonalidade. Khatri *et.al.*, (2015), explicam que dependendo da estrutura do corante, tonalidade e método de tingimento, a quantidade de sal pode variar até 2 kg por quilo de fibra. Além disso, a fixação do corante reativo é de 50 a 80 %, ou seja, os 20 a 50 % do corante é hidrolisado e juntamente com os auxiliares acabam

contribuindo para a poluição de efluentes (MAHAPATRA, 2018; KHATRI *et.al*, 2015; BURKINSHAW e KABAMBE, 2011).

Tabela 3: Composição típica para tingimento de tecido de malha de algodão com corantes reativos

Componente/g kg⁻¹ fibra têxtil	Cor Clara	Cor média	Cor Escura
Corante	0,5 - 4	5 - 30	30 - 80
Auxiliar orgânico	0 - 30	0 - 30	0 - 30
Auxiliar Inorgânico	50 - 250	30 - 150	30 - 150
Sal	90 - 400	600 -700	800 - 2000

Fonte: Schönberger e Schäfer (2003).

Normalmente, para tons claros, é necessário menos lavagens e não há necessidade ensaboar. Além disso, os valores de demanda química de oxigênio (DQO) são mais baixos comparados com a tonalidade escura; o banho de tingimento claro contém em média 920 mg O₂/L contra 3400 O₂/L da cor escura. Também, a tonalidade clara possui menos processos de tingimento (banho de tingimento com 4 lavagens) do que a cor escura (lavagem, neutralização, 2 lavagens, ensaboamento e 3 lavagens) (SCHÖNBERGER e SCHÄFER, 2003).

Por fim, água é o veículo de transporte essencial de agentes químicos na indústria têxtil, principalmente no tingimento que engloba a lavagem e ensaboamento do substrato. O corante reativo é o que mais consome água no processo de tingimento. Após o tingimento, é gerado uma água residual com alta carga orgânica que contém corante hidrolisado, misturas de auxiliares que são despejados na ETE e necessitam de tratamentos para que água possa retornar aos mananciais ou ser reaproveitada.

4.1.3 Uso de água no processo

Conhecer a quantidade de água empregada no processo de beneficiamento de uma empresa é de fundamental importância. O uso de água é diretamente relacionado a custos, tempo de processo e impactos ambientais.

Nos processos de preparação e tingimento por esgotamento, é importante o controle da relação de banho, que está relacionada ao volume de água (banho) empregado no processo, por quilo de substrato. Nas empresas pesquisadas, essa relação foi de 1:7 na TEX₁, 1:8 na

TEX₂ e 1:6 na TEX₃. Sendo assim, a empresa TEX₃ é a empresa que apresenta menor relação de uso de água/kg de substrato, utilizando 6 litros para cada kg. A empresa TEX₁ emprega aproximadamente 80 L/kg de substrato de algodão beneficiado, a empresa TEX₂ 70 L/kg e a TEX₃ 24 L/kg.

As fibras naturais consomem mais água do que as demais fibras, pois os processos de purga tradicional e pré-alveamento requerem mais água para remover as impurezas naturais das fibras. O pré-alveamento é realizado quando deseja-se tingir uma cor clara, média ou limpa. Para os demais tons escuros somente a realização da purga é suficiente, mas isso depende de cada processo da empresa. Além disso, o corante reativo apresenta um menor índice de esgotamento final de corante, pois além do corante reagir com a fibra ele também reage com a água (hidrólise). Para compensar o corante hidrolisado, utiliza-se uma quantidade maior de corante sobre o peso do material.

Além do processo de pré-alveamento e purga, há outros processos que requerem muita água: a lavagem e o ensaboamento. A lavagem é responsável pela remoção do excesso de corante e auxiliares pós-tratamento de tingimento. Burkinshaw (2016), sugere 5 tempos de lavagem com temperaturas diferentes e com a adição do processo de ensaboamento. Já Schönberger e Schäfer (2003), recomenda que para cores escuras seja realizado os processos de lavagem → neutralização → lavagem → lavagem → ensaboamento → lavagem → lavagem → lavagens. Como o corante escolhido foi o preto, a empresas participantes utilizam de 4 a 5 banhos; em comparação com o processo de Schönberger e Schäfer (2003), o uso de banhos é menor, ou seja, utilizam menos água. Mesmo assim, a necessidade de banhos para a remoção do corante consome muita água, que geralmente é oriunda de mananciais. Quando o efluente têxtil chega na estação de tratamento de esgoto (ETE), ele passa por processo de remoção da cor, mas nem sempre a água retorna à natureza como quando foi coletada.

Por fim, o corante reativo é um dos potenciais poluidores do beneficiamento do algodão, pois para migração do corante requer uso de grandes quantidades de sal e surfactantes para o beneficiamento. De acordo com Andradý (2003), a fixação do corante na fibra é baixa requerendo 50% a 75% do corante na fibra, o restante é despejado com efluente colorido. Alguns grupos químicos que fazem parte da estrutura dos corantes e auxiliares, possuem efeitos catastrófico, por serem cancerígenos, mutagênicos ou causadores de uma série de problemas relacionados à saúde e fauna, quando manuseado e descartado incorretamente (AL-TOHAMY *et. al*,2022; BERRADI *et. al*, 2019; YUSUF, 2018; ANDRADY, 2003).

Além da fibra de algodão consumir água e químicos (pesticidas) durante a produção da planta, é a fibra que mais consome água e energia dentre as fibras existentes no beneficiamento pois, possui mais etapas de beneficiamento (purga, alvejamento, mercerização, tingimento, lavagem, ensaboamento e acabamento). Nos processos de beneficiamento a úmido o pH pode variar de ácido a base, vice e versa, isso indica o uso de químicos e água, já que é o principal veículo entre as substâncias do processo.

4.2 BENEFICIAMENTO DE FIBRAS DE POLIAMIDA

4.2.1 Processo de preparação de poliamida

A purga é o processo de remoção de impurezas da fibra. No caso da poliamida, este processo é mais simples do que quando comparado com as fibras naturais, como algodão e lã. Na poliamida, as impurezas são oriundas do processo de formação do filamento ou na formação da malha no tear, que podem conter resinas e óleos. Das empresas consultadas, somente duas (TEX₂ e TEX₄) efetuam o beneficiamento de poliamida na cor preta, onde uma delas efetua o processo de purga e a outra não. A realização da purga na poliamida depende do processo de cada empresa, a partir de informações específicas sobre a fibra a ser tingida. A empresa TEX₄ que efetua o processo citado apresentou a formulação, que pode ser observada no Quadro 6.

Quadro 6: Auxiliares empregados no processo de purga da empresa TEX₄.

Auxiliares
Carbonato de sódio (Na ₂ CO ₃)
Emulgador
Antiquebradura
Ácido acético 80% (CH ₃ COOH)

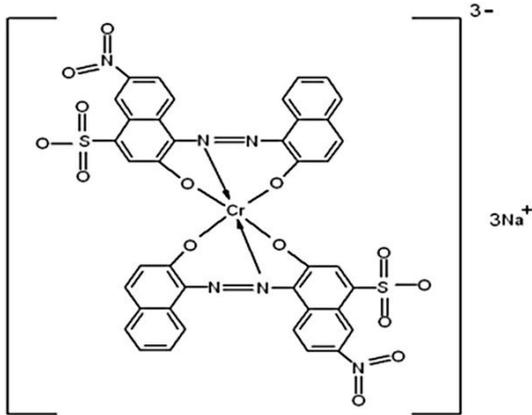
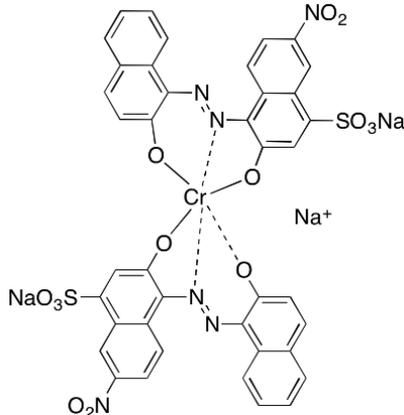
Fonte: Autor, 2022.

4.2.2 Processo de Tingimento da poliamida

Ambas as empresas efetuam tingimentos na cor preta e informaram o *color index* do corante empregado, ou seja, uma empresa utiliza o corante *Acid Black 194* e outra o corante

Acid Black 172, cujas estruturas moleculares podem ser observadas no Quadro 7. Os dois corantes apresentam grupo cromóforo azo ($-N = N-$) em sua estrutura. De acordo com Bonifácio *et.al* (2022), os corantes azo são a classe mais importante em aplicações industriais como em curtumes, fabricação de papel e indústrias têxteis. Na indústria têxtil é aplicado para o tingimento de fibras que possuem o grupo amina como a lã e poliamida, dentre outras. Além disso, também é categorizado como corante complexo metálico.

Quadro 7: Estrutura dos corantes ácidos

	Acid Black 172	Acid Black 194
Estrutura molecular		
Fórmula molecular	$C_{40}H_{20}CrN_6Na_3O_{14}S_2$	$C_{40}H_{24}N_6O_{14}S_2CrNa$
Peso molecular	993.71 g/mol	951 g/mol

Fonte: Adaptado Taheri, Moghaddam e Arami, 2012 e TRC-CANADA,2022.

Embora o nylon 6 e o nylon 6.6 sejam filamentos sintéticos, suas estruturas químicas (poliamida) permitem que sejam facilmente tingidos com os mesmos corantes ácidos comumente usados em fibras proteicas. Os corantes ácidos são substâncias químicas aniônicas solúveis em água que são aplicadas às fibras por meio de um banho neutro a ácido ($pH < 7$). Sua ligação aos filamentos é parcialmente atribuída à ligação entre grupos aniônicos (carregados negativamente) nos corantes e os catiônicos (carregados positivamente - carboxílicos e amino) em filamentos. A poliamida tem muitos sítios catiônicos aos quais as moléculas de corante aniônico são atraídas (BURKINSHAW, 2016). O processo de tingimento é influenciado por uma série de parâmetros adicionais, tais como: seleção de corantes, tipo e quantidade de auxiliares, pH, temperatura e tempo (IQBAL, 2009).

Quando uma poliamida é tingida com corantes ácidos, geralmente são empregados auxiliares de tingimento. Eles podem cumprir três funções: aumentar as propriedades de

nivelamento e migração dos corantes ácidos, antibarramento e melhorar a compatibilidade dos corantes ácidos em combinações. Os produtos aniônicos mostram uma afinidade relativamente alta pela fibra de poliamida em temperaturas abaixo da fervura e bloqueiam temporariamente os corantes, retardando a exaustão dos corantes e, assim, ajudando a alcançar um tingimento com uma boa exaustão. Auxiliares aniônicos e não iônicos não apenas apresentam afinidade pela fibra, mas também formam complexos com corantes. Dessa forma, eles retardam o processo de exaustão e o tingimento uniforme, afetando a compatibilidade dos corantes (IQBAL, 2009; BROADBENT, 2001).

O pH é um dos fatores mais importantes no tingimento de poliamida com corantes ácidos. Os grupos de ligação do corante em uma fibra de poliamida são os grupos terminais amino (NH_2). Para permitir que o corante dissolvido e ionizado reaja com esses grupos amino terminais, estes devem ser ativados. Um pH muito ácido de 3-5 fornece muitos grupos NH_2 ativados e resulta em uma exaustão rápida, quase instantânea, de todo o corante presente no banho (BURKINSHAW, 2016; CLARK, 2011; IQBAL, 2009).

A quantidade de corante utilizado para o tingimento da cor preta é de 3,2 % e 3,0 % sobre o peso do material, respectivamente, para as duas empresas pesquisadas, bem como sua temperatura de tingimento é de 92 e 90 °C, respectivamente. Os surfactantes empregados nos processos de tingimento são aniônicos e não iônicos. No Quadro 8 é possível verificar quais são estes auxiliares.

Quadro 8: Auxiliares no processo de tingimento da poliamida.

TEX 2	TEX 4
Carbonato de sódio (Na_2CO_3)	Antiquebradura
Antiquebradura	Igualizante
Igualizante	Carbonato de sódio (Na_2CO_3)
Detergente	Umectante
Sequestrante/Dispersante	Emulgador
Doador ácido	Doador ácido
Ácido	Antibarramento
Antiespumante	Antiespumante

Fonte Autor, 2022.

A empresa TEX₂ realiza processo de acabamento como proteção UV, antimicrobiano, *dry fit*, bem como somente ramagem, para artigos mais simples. Entretanto, a empresa TEX₄ realiza somente o acabamento em rama. Por fim, a Tabela 4 apresenta o tempo de tingimento de acordo com os tons claros, médio e escuro.

Tabela 4: Tempo de tingimento da poliamida por tons

	Clara	Média	Escura
TEX 2	5 horas	7 horas	7 horas
TEX 4	4 horas	5 horas	5 horas

Fonte: Autor,2022.

4.2.3 Uso de água no processo

A relação de banho (R:B) para o beneficiamento da poliamida é de 1:8 para TEX 2 e 1:12 para TEX 4, ou seja, é possível considerar uma média de RB = 1:10. O uso da água total em todo o processo de beneficiamento foi 48 L/kg para TEX 2 e TEX 4.

O uso de água no processo têxtil é primordial, vários fatores influenciam na relação de banho para o tingimento, como tipo de fibra e sua forma física, tipo de corante, máquina utilizada etc. De acordo com Burkinshaw e Salihu (2019), a fibra de poliamida passa pelo processo de purga com consumo de água de 50 a 67 L/kg e de tingimento com consumo de água de 17 a 33L/kg. Em comparação com a literatura, as empresas pesquisadas nesse trabalho utilizam no total menos água do que os dados acadêmicos.

O Quadro 9 apresenta os componentes encontrados nas águas residuais dos corantes ácidos de acordo com Liu (2020)

Quadro 9: Composição das águas residuais dos corantes ácidos

Corante ácido	Corantes, alúmen, sulfato de amônio, ácido acético, ácido sulfúrico, surfactante
Corante ácido mordente	Corantes, ácido acético, silicato de sódio, dicromato, surfactante
Corante ácido complexo de metal	Corantes, ácido sulfúrico, acetato de sódio, sulfato de amônio, silicato de sódio, surfactantes

Fonte: Liu, 2020

Observando a composição do Quadro 9, observa-se algum dos elementos nas composições das receitas das empresas entrevistadas. O corante utilizado pelas duas empresas é do tipo corante ácido de complexo metálico. Segundo Santos *et. al* (2019), a água residual de poliamida apresentou valores maiores em nitrogênio, sulfetos e DBO, quando comparados aos efluentes de tingimento de poliéster e viscose.

O efluente lançado do banho de poliamida contém grupo azo (-N = N -), grupo sulfônico (-SO₃) e um complexo metálico, que são referentes à estrutura da molécula. Alguns

corantes azo derivados de aminas aromáticas, suspeitas de serem cancerígenas, foram proibidos pela Alemanha e depois por outros países da União Europeia desde a década de 1990. A maioria dos corantes sintéticos usados não são biodegradáveis. Portanto, estes não são degradados durante o processo convencional de tratamento de efluentes e são precipitados e separados como lodo sólido que é seco e enviado para aterros especiais (SAXENA, RAJA e ARPUTHARAJ, 2016).

Corantes ácidos contêm sais ácidos carboxílicos, grupos fenólicos ou sulfônicos, que são altamente solúveis em água e suas moléculas corantes são carregadas negativamente (STERENZON et. al, 2021). O tingimento com corantes ácidos utiliza produtos químicos auxiliares, que geralmente são surfactantes. O processo de tingimento ocorre à temperatura próxima de ebulição e muitas vezes em pH ácido. A fração dos corantes ácidos fixados em 80-93%, entretanto, os produtos químicos auxiliares não são consumidos no processo de tingimento e acabam nas águas residuais. A descarga das águas é caracterizada por uma cor relativamente menos intensa, mas uma alta demanda química de oxigênio (DQO), sólidos dissolvidos, alta temperatura e pH ácido (CAPAR, YILMAZ EYETIS, 2006).

Dependendo com corante aplicado no tingimento da poliamida, sua molécula pode apresentar um complexo metal, ocasionando um maior teor de metais pesados nas águas residuais. O processo de tingimento consome bastante energia pois necessita atingir temperaturas próximas a ebulição, em torno de 98° a 102 °C.

4.3 BENEFICIAMENTO DE FIBRAS DE POLIÉSTER

Todas as empresas pesquisadas realizam o processo de beneficiamento da fibra de poliéster.

4.3.1 Processo de preparação do poliéster

Nesta fibra é realizada a purga para remoção de óleos oriundos dos teares e na produção do filamento (óleos de encimagem). No Quadro 10 são apresentados os auxiliares aplicados neste processo, por empresa pesquisada.

Quadro 10: Auxiliares empregados no processo de purga do poliéster

TEX1	TEX 2	TEX 3	TEX 4
Carbonato de sódio (CaCO ₃) Detergente Sequestrante Ca/Mg	Emulgador Hidróxido de sódio (NaOH)	Emulgador Dispersante Antiquebradura	Carbonato de sódio (CaCO ₃) Emulgador Sequestrante Ácido acético (CH ₃ COOH)

Fonte: Autor, 2022

Schönberger e Schäfer (2003), descreve que para a remoção de óleos procedentes da fiação e tecelagem, os materiais sintéticos são lavados com água e detergentes. A eficiência do processo de purga depende do tempo de permanência, do fluxo de água e das condições adequadas de temperatura e detergentes.

4.3.2 Processo de tingimento de poliéster

As empresas não informaram o *color index* dos corantes para o tingimento de poliéster, pois geralmente os fornecedores utilizam uma mistura de corantes para chegar no tom de preto, onde esse corante pode ser uma tricromia ou policromia. A tricromia pode utilizar até três bases de cores para chegar no tom de preto, por exemplo. Já a policromia utiliza mais de três bases para chegar no tom de preto. Dessa forma, são várias moléculas de corantes misturadas para chegar em um único tom.

A quantidade de corante preto utilizado no substrato foi de 6,2% na TEX₁, 4,0% na TEX₂, 2,5% na TEX₃ e 3,0% na TEX₄. Isso indica que a TEX 3 e TEX 4 utilizam menos corantes no seu processo. Em relação ao tipo de surfactantes utilizados no processo de tingimento, são utilizados produtos aniônicos e não iônicos. O Quadro 11 apresenta os auxiliares utilizados no processo de tingimento do poliéster de cada empresa, cujos auxiliares diferem bastante entre as empresas, ou seja, não há uma formulação única de tingimento. A temperatura máxima utilizada no processo foi de 130 °C para TEX₁ e TEX₄, 133 °C para TEX₂ e 135 °C para TEX₃, a temperatura média de tingimento, considerando as 4 empresas, foi de 132 °C.

Quadro 11: Auxiliares empregados no processo de tingimento do poliéster

TEX1	TEX 2	TEX 3	TEX 4
Hidróxido de sódio (NaOH)	Antiquebradura	Emulsionante	Hidróxido de sódio (NaOH)
Neutralizador de ácido	Igualizante	Umectante	Igualizante
Detergente	Sequestrante Ca/Mg	Emulgador,	Antiespumante
Sequestrante Ca/Mg	Ácido	Antiquebradura	Redutor
<i>Carrier</i>	Antiespumante	Igualizante	Ácido
		Antiespumante	
		Detergente	
		Sequestrante Ca/Mg	
		Ácido	

Fonte: Autor, 2022

O tingimento do poliéster é realizado com um agente dispersante adequado em um banho de corante pressurizado em altas temperaturas variando de 130 a 140 °C. Nessas altas temperaturas, a agitação térmica faz com que a estrutura do polímero fique mais aberta, proporcionando aberturas para as moléculas de corante acessarem a fibra (ADANUR,2017; SALÉM, 2010;).

Além disso, pode haver a aplicação de um agente transportador no processo do poliéster, o *carrier*. Segundo Wardman, (2017), os tipos de produtos químicos usados como *carries* são compostos orgânicos aromáticos, não iônicos, de baixo peso. Os transportadores típicos usados se dividem em quatro principais grupos químicos:

- (1) Fenóis, como o-fenilfenol;
- (2) Hidrocarbonetos, como bifenilo;
- (3) Hidrocarbonetos clorados, como diclorobenzeno;
- (4) Ésteres, como benzoato de butila.

Fenóis e hidrocarbonetos clorados não são mais comercializados devido a preocupações de toxicidade aquática. De fato, tal é a preocupação com o uso de *carries* que, hoje em dia, é pouco utilizado no tingimento de poliéster, sendo o método de alta temperatura o preferido, o que pode ser observado na pesquisa, ou seja, somente uma, entre quatro empresas, utiliza o *carrier* em seu processo.

A Tabela 5 apresenta o tempo de tingimento do poliéster por tonalidade. A TEX₁ tem um maior tempo de tingimento em comparação com as demais.

Tabela 5: Tempo de tingimento do poliéster por tonalidade

	Clara	Média	Escura
TEX 1	6 horas	7 horas	8 horas
TEX 2	4 horas	6 horas	7 horas
TEX 3	2:30 horas	3:30 horas	3:30 horas
TEX 4	3:45 horas	3:45 horas	5 horas

Fonte: Autor,2022.

Dentre as fibras pesquisadas neste trabalho, o poliéster possui o menor tempo de tingimento, devido a menos etapas de processamento, como a lavagem, quando comparada à fibra de algodão.

4.3.3 Uso de água no processo

O uso de água total no processo de beneficiamento das malhas de poliéster é de 100 L/kg para TEX₁, 40 L/kg para TEX₂, 14 L/kg para TEX₃ e 30 L/kg para TEX₄. Somente a TEX₁ ultrapassa a média de 46 L/kg, as demais estão abaixo da média, ou seja, são mais econômicas. A relação de banho empregada no processo de tingimento de poliéster é de 1:8 para as empresas TEX₁ e TEX₂, e para as empresas TEX₃ e TEX₄ é de 1:6, representando uma média geral de 1:7.

Para Burkinshaw e Salihu (2019), o processo de beneficiamento do poliéster possui três etapas: purga que consome em média 33,5 L/kg, tingimento que consome em média 25 L/kg e lavagem fina com a média 25 kg/L, totalizando a média de 83,5 kg/L em todo o processo. De acordo com a pesquisa, a empresa TEX₁, aplica mais água no seu processo em comparação com os dados acadêmicos e as demais empresas. Além disso, a empresa faz a utilização de uso de *carriers* quando necessário.

De acordo com Yusuf (2018), a fibra de poliéster possui uma boa exaustão de corante no processo de tingimento e cerca de 10% do corante é destinado ao efluente.

Para Clark (2011), os corantes dispersos são caracterizados pela ausência de grupos solubilizantes e baixo peso molecular. Do ponto de vista químico, mais de 50% dos corantes dispersos são compostos azo simples, cerca de 25% são antraquinonas e o restante são corantes nitro ou naftoquinona. Os corantes em pó contêm 40-60% de agentes dispersantes, enquanto em líquido-formulações, o teor dessas substâncias está na faixa de 10 a 30%.

Os principais produtos químicos e auxiliares utilizados nos tingimentos com corantes dispersos podem ser observados a seguir.

- Dispersantes: embora todos os corantes dispersos já tenham um alto teor de dispersantes, eles são adicionados posteriormente ao banho de tingimento e na etapa final de lavagem;

- Carreadores (*carrier*): para fibra de poliéster, o tingimento com corantes dispersos em temperaturas de até 100°C requer o uso de carreadores. Devido a problemas ambientais associados à utilização de *carriers*, o poliéster é preferencialmente tingido sob pressão e a uma temperatura acima 100°C sem *carriers*;

- Agentes redutores (principalmente hidrossulfito de sódio) são adicionados em solução com álcali na etapa final de lavagem para a remoção do corante de superfície não fixado.

Alguns auxiliares de tingimento usados durante o processo de tingimento são não biodegradáveis e não recicláveis e aumentam as cargas de DBO e DQO do efluente. Os *carries* utilizados para facilitar o tingimento de poliéster (PET) em condições mais brandas são tóxicos e podem afetar a saúde dos trabalhadores, além de criar problemas no tratamento de efluentes (SAXENA, RAJA e ARPUTHARAJ, 2016).

Liu (2020) mostra que os principais componentes das águas residuais do tingimento com corante disperso são: corantes, *carriers*, surfactantes. De acordo com Santos *et. al* (2018), a análise de um efluente de tingimento de poliéster apresentou valores maiores para alguns parâmetros, com cor, turbidez, fósforo, óleos e graxas, de fenol e DQO, quando comparado a águas residuais de tingimento das fibras de viscose e poliéster.

A maioria dos carreadores contém agente emulsificante para facilitar a dispersão na adição de água morna. Os produtos não são totalmente absorvidos pela fibra. Estes auxiliares são voláteis no tratamento a vapor ou térmico e por esta razão provocam a poluição do ar. Os *carriers* têm odor ofensivo e alguns dos tipos de clorados são significativamente tóxicos para peixes e lodo de bactérias. Mas o método de tingimento de alta temperatura é nocivo em comparação com o método de tingimento com *carrier* (KAUSHIK, 2007).

Por fim, alguns dos produtos aplicados para o beneficiamento do poliéster são difíceis de biodegradar e alguns também são tóxicos. Além disso, o uso de *carriers* auxilia no aumento da DQO nas águas residuais. O consumo de água para o beneficiamento do poliéster é menor comparada às demais fibras estudadas.

4.4 IMPACTOS AMBIENTAIS GERADOS PELOS BENEFICIAMENTOS TÊXTEIS

Os problemas ambientais associados à indústria têxtil são tipicamente aqueles associados à poluição da água causada pelo lançamento de efluentes não tratados. Efluentes são geralmente quentes, alcalinos e com cheiro forte, e coloridos por produtos químicos usados no processo de coloração. Alguns dos produtos químicos, incluindo corantes e pigmentos, são tóxicos ou podem diminuir o teor de oxigênio dissolvido das águas receptoras, ameaçar a vida aquática e prejudicar a qualidade geral da água a jusante. Os efeitos sobre os organismos no ambiente podem ser de curto prazo (agudos) ou de longo prazo (crônicos) (ISLAN e MOSTAFA, 2018; MALIK e KHAN, 2013; SHAIKH, 2009).

Li, Luo e He (2020), realizaram uma avaliação de pegada química (*Assessment of Chemical Footprint -ChF*) em jeans como estudo de caso. Foram identificados diversos químicos com grande contribuição para toxicidade humana e ecológica, como o dimetilsiloxano, produto da reação com sílica e 2-metil 4-isotiazolin-3-ona no processo de tingimento. Na fase de branqueamento, o cloreto de magnésio apresenta alta toxicidade para os seres humanos, e o ácido sulfúrico e o nonilfenol etoxilado apresentam alta toxicidade ao meio ambiente. Além disso, auxiliares químicos como o agente antiespuma na fase de tingimento tem alta toxicidade para humanos. O estabilizador de peróxido apresenta alta toxicidade para o homem, e os agentes umectantes/penetrantes e sequestrantes apresentam alta toxicidade ao ambiente ecológico.

Qian *et al.* (2022), aplicaram a metodologia da pegada química (ChF) combinado com a avaliação de compostos orgânicos voláteis (*Volatile organic compounds - VOCs*) gerados na produção de tecidos de poliéster, identificando os impactos nocivos da toxicidade dos poluentes químicos emitidos, fornecendo referência para as empresas melhorarem suas tecnologias de produção, bem como selecionar produtos químicos ecologicamente corretos para mitigar os efeitos ambientais negativos. Os resultados mostraram que os VOCs emitidos pelo processo de tingimento e acabamento tiveram o maior ChF, seguido pelo processo de refinaria de petróleo bruto, processo de policondensação e processo de fiação. De acordo com as características de operação de cada processo, o éter tridecil polioxietileno, n-hexano, p-xileno e 2,6-di-terc-butil para-cresol foram os poluentes VOCs específicos, ocupando a maior proporção de ChFs no processo de tingimento e acabamento, processo de refinaria de petróleo bruto, policondensação de poliéster e processo de fiação, respectivamente. Além disso, alcanos e VOCs oxigenados (por exemplo, éteres e ésteres) com alta toxicidade são as principais espécies de VOCs nas emissões de produção de poliéster. Desta forma, os

compostos orgânicos voláteis (COVs) podem se difundir facilmente na atmosfera, causando efeitos deletérios à saúde humana através de diferentes vias de exposição devido à sua alta volatilidade e toxicidade. Atenção considerável deve ser dada ao aprimoramento da tecnologia e seleção de corantes resistentes ao calor e auxiliares no processo de tingimento e acabamento de tecidos de poliéster.

Muitos dos produtos químicos, bem como os surfactantes conhecidos como auxiliares, utilizados no beneficiamento de poliéster e algodão, também são aplicados no processo de beneficiamento da poliamida, ou seja, os impactos são os mesmos tanto para o meio ambiente quanto para a vida humana. Sendo assim, o próximo tópico irá abordar a respeito de estratégias mais verdes aplicadas a indústria têxtil, como novas tecnologias de processo e certificações ambientais.

4.4.1 Novas tecnologias de processo

Vários estudos vêm sendo realizados com o objetivo de otimizar a utilização de produtos biodegradáveis nos processos de beneficiamento têxtil, auxiliando na economia de água, energia, corantes e auxiliares, já que estes processos compõem a etapa mais impactante de toda cadeia têxtil.

Uddin, Ghosh e Reza (2014), realizaram um estudo com o uso de um eco-álcali para a substituição do carbonato de cálcio no tingimento de algodão com corantes reativos. A função do eco-álcali é aumentar o grau de fixação dos corantes. Sendo assim, o produto é uma mistura de vários álcalis, juntamente com uma solução tampão com caráter aniônico e solúvel em água. Como resultado para tons claros e médios, 25% da quantidade de eco-álcali, em função da quantidade de carbonato de sódio, produziu melhor rendimento de cor em comparação com o tingimento com quantidade padrão de carbonato de sódio e para tons mais escuros, 50% da quantidade de eco-álcali produziu melhor rendimento de cor. Além disso, a do eco-álcali trouxe resultados positivos nos testes de solidez a lavagem e efeitos de uniformidade da cor.

Com a exigência cada vez maior para que os fabricantes de têxteis reduzam a poluição no beneficiamento têxtil, o uso de enzimas está ganhando rapidamente um reconhecimento mais amplo devido às suas características não tóxicas e ecológicas. Estas podem ser usadas com segurança em uma ampla seleção de processos têxteis, como desengomagem, lavagem, branqueamento, tingimento e acabamento, como alternativa aos produtos químicos. As

amilases, por exemplo, são aplicadas nos processos de desengomagem com amidos. Além disso, as catalases foram introduzidas para destruir o peróxido de hidrogênio após o branqueamento, reduzindo o consumo de água, para acabamentos em jeans para a obtenção da aparência de envelhecido e de *stone wash*, é utilizada a celulase (CAVACO-PAULO e GÜBITZ, 2003).

Além do uso de processos mais ecológicos na cadeia têxtil, as certificações cobram das empresas processos e produtos ambientalmente sustentáveis. As empresas têxteis costumam adotar sistemas globais de certificação ambiental, como ISO 14001:2015 (sistema de gestão ambiental), Blue Sign® Technologies e OEKO-TEX® Standard 100, por exemplo. As normas ISO 14001 fornecem orientação prática para empresas têxteis para determinar e monitorar seu impacto ambiental para melhorar continuamente seu desempenho ambiental (MUTHU, 2017).

O sistema OEKO-TEX® é um sistema de certificação têxtil fundado na Suíça, especializado em testes têxteis em todas as etapas de produção, incluindo matérias-primas, produtos intermediários e finais (por exemplo, fios, tecidos, tingimento, acabamento, malhas e produtos prontos artigos confeccionados). Para ter a certificação, a empresa passa por uma auditoria quanto a substâncias nocivas (por exemplo, substâncias ilegais, substâncias legalmente regulamentadas, substâncias nocivas não legalmente regulamentadas e parâmetros para cuidados de saúde) para garantia de qualidade ambiental (RANASINGHE e JAYASOORIYA, 2020; MUTHU, 2017).

A Blue Sign® Technologies está sediada na Suíça e concentra-se especificamente na produção têxtil com mais de 400 parceiros que consistem em marcas têxteis, fabricantes e fornecedores de produtos químicos. Esse sistema visa encontrar soluções para a produção têxtil sustentável, eliminando substâncias nocivas em cada etapa da cadeia de suprimentos e aprovando produtos químicos, processos, materiais e produtos seguros para o meio ambiente, trabalhadores e clientes (MUTHU, 2017).

Tratando-se de fontes de abastecimento para a indústria têxtil, em 2015 foi assinado na Cúpula das Nações Unidas, por 193 países membros, a agenda de 2030. A agenda trata de 17 objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS), e dentre esses objetivos as mais relacionadas a indústria têxtil, de acordo com TEXTILE-EXCHANGE (2022), são:

ODS 6 – Água potável e saneamento: garantir disponibilidade e manejo sustentável da água e saneamento para todos;

ODS 12 – Consumo e produção responsáveis: assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis;

ODS 13 – Ação contra a mudança global do clima: tomar medidas urgentes para combater a mudança climática e seus impactos;

ODS 14 – Vida na água: conservação e uso sustentável dos oceanos, dos mares e dos recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável.

ODS 15 – Vida terrestre: proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da Terra e deter a perda da biodiversidade;

Todas as questões debatidas levam a reduzir e repensar o uso de químicos agressivos, corantes, o uso da água e energia para uma indústria têxtil mais sustentável e adaptada ao meio ambiente e sociedade.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Atualmente a sustentabilidade e a economia circular são temas muito comentados na indústria têxtil, que ainda está pregada a processos menos otimizados tornando-se um desafio em tempos contemporâneos, pois nunca se produziu tanto têxtil. O propósito desse estudo foi identificar os elementos que geram impactos ambientais por meio dos processos de beneficiamento de algodão, poliéster e poliamida, por meio de um questionário com indústrias têxteis do estado de Santa Catarina das regiões metropolitanas de Jaraguá do Sul e Vale do Itajaí.

Desta forma, o objetivo foi alcançado com a participação de quatro empresas têxteis. Com base no questionário realizado, constatou-se que a média de água empregada em todo o processo de beneficiamento pelas indústrias foi de 58 L/kg para algodão, 48 L/kg para poliamida e 46 L/kg poliéster. Já a porcentagem de corante utilizado sobre o peso do material tem a média de 4,86%, sendo que para poliamida é 3,10% e para poliéster é 3,92%.

Dentre as fibras pesquisadas, o algodão necessita de maior tratamento de beneficiamento comparada às demais fibras. Com isso, o corante mais empregado no beneficiamento é o reativo. O tingimento com o corante reativo é frequentemente realizado sob a temperatura de 60°C (tingimento a frio) e a tonalidade no substrato é brilhante comparada às demais corantes. O ponto negativo do corante reativo aplicado às fibras celulósicas é que consome mais corante. Isso ocorre, pois no processo de tingimento o corante não só reage com a fibra, mas também com água, hidrolisando durante o processo. Para a

remoção do excesso de corante das fibras, é necessário realizar em média cinco lavagens de acordo com as empresas pesquisadas.

Além disso, constatou-se que nenhuma das empresas conhece o *colour index* para as fibras de poliéster e algodão; isso ocorre pois o fornecedor trabalha com uma tricromia ou policromia, precisando de corantes que realizam o sombreamento para fornecer um preto profundo. Já para a poliamida o *colour index* foi identificado como *Acid Black 194* e *Acid Black 172*. Os dois corantes ácidos são de complexo metálico, tendo o cromo na sua composição molecular. Muitas das estruturas químicas dos corantes e auxiliares para o beneficiamento do algodão, poliamida e poliéster contêm grupo azo, trifenilmetano, antraquinonas, ftalocianina, sulfônicos e complexos metálicos, sendo que alguns desses grupos são nocivos ao meio ambiente e à saúde. Dessa forma, o fato do *colour index* não ser identificado dificulta o tratamento da água residual e pode gerar impactos ambientais.

Independentemente do tipo de fibra, classe de corante, tipo de máquina de tingimento empregada, bem como o uso da água, a água residual do processo é altamente colorida e contém vários tipos de compostos orgânicos e inorgânicos. Esses compostos contêm parâmetros físico-químicos, indicando o grau de poluição. Além disso, os impactos ambientais estão relacionados ao uso de recursos hídrico, energético, extrativista, uso de derivados de petróleo, não só incluídas as fibras sintéticas, mas seus auxiliares e corantes.

Percebe-se que são muitos os impactos negativos de uma indústria têxtil convencional, como o uso excessivo da água, corantes com baixa fixação, uso de *carries* entre outros. Tais impactos levam a repensar a continuidade desses processos produtivos nesses termos, por outro lado há que se questionar quais os rumos dessa produção. Já existem alternativas com menores impactos, como o emprego de enzimas em alguns processos de beneficiamento. Além disso, há o uso de eco auxiliares que podem trazer mais eficiência ao processo. Um outro ponto, é o uso de certificações como ISO 14001:2015, Blue Sign® Technologies e OEKO-TEX® Standard 100, que estão sendo adotadas por muitas empresas para apresentar ao consumidor a transparência e o uso de menos químicos em todos os processos têxteis realizados com o substrato.

Por fim, ressalta-se o repensar do modo de produção de processos têxteis considerando os impactos ambientais gerados, seja por meio de mudanças no ciclo de vida dos produtos, seja por um maior controle do processo como possibilitado pela indústria 4.0. Essas mudanças revisam, repensam e conscientizam o uso adequado da água, energia e outros insumos para propor algo que vá ao encontro não só da legislação, porém também do meio ambiente e da sociedade considerando a sustentabilidade da indústria têxtil. Embora da contribuição desse

trabalho para a caracterização dos processos e possíveis impactos ambientais gerados, sugere-se para estudos futuros realizar os processos de tingimento em escala laboratorial, caracterizar os efluentes gerados identificando os parâmetros físicos e químicos das águas residuais dos tingimentos, pesquisar o emprego de outras classes de corantes e fibras e buscar desenvolver processos com menor geração de poluentes.

REFERÊNCIAS

ADANUR, Sabit. **Handbook of industrial textiles**. Lancaster: Wellington Sears Company, 2017. 839 p.

ALI, Hazrat. Biodegradation of Synthetic Dyes—A Review. **Water, Air, & Soil Pollution**, [S.L.], v. 213, n. 1-4, p. 251-273, 30 mar. 2010. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11270-010-0382-4>.

AL-TOHAMY, Rania; ALI, Sameh S.; LI, Fanghua; OKASHA, Kamal M.; MAHMOUD, Yehia A.-G.; ELSAMAHY, Tamer; JIAO, Haixin; FU, Yinyi; SUN, Jianzhong. A critical review on the treatment of dye-containing wastewater: ecotoxicological and health concerns of textile dyes and possible remediation approaches for environmental safety. **Ecotoxicology And Environmental Safety**, [S.L.], v. 231, p. 1-17, fev. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.113160>.

AL-ZAWAHREH, Khaled; BARRAL, María Teresa; AL-DEGS, Yahya; PARADELO, Remigio. Comparison of the sorption capacity of basic, acid, direct and reactive dyes by compost in batch conditions. **Journal Of Environmental Management**, [S.L.], v. 294, p. 113005, set. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113005>.

ANDRADY, Anthony L. **Plastics and the environment**. Hoboken: Wiley, 2003.

ARAÚJO, Mario de; CASTRO, E. M. de Melo e (Ernesto Manuel de Melo e). **Manual de engenharia têxtil**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, [1986-87]. 2 v.

BARBETTA, Pedro Alberto. **Estatística aplicada às ciências sociais**. 9. ed. Florianópolis: Ed. da UFSC, c2012. 315 p.

BELLINI, Pietro ; BONETTI, Ferruccio; FRANZETTI, Ester; ROSACE, Giuseppe; VAGO, Sergio. **Finishing**. 3. ed. Milano: Fondazione Acimit, 2006.

BERRADI, Mohamed; HSISSOU, Rachid; KHUDHAIR, Mohammed; ASSOUAG, Mohammed; CHERKAOU, Omar; BACHIRI, Abderrahim El; HARFI, Ahmed El. Textile finishing dyes and their impact on aquatic environs. **Heliyon**, [S.L.], v. 5, n. 11, p. 1-11, nov. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02711>.

BONIFÁCIO, Evandro; FACCHI, Débora P.; SOUZA, Paulo R.; MONTEIRO, Johny P.; POPAT, Ketul C.; KIPPER, Matt J.; MARTINS, Alessandro F.. A tannin-polymer adsorbent created from the freezing-thawing method for removal of metal-complex acid black 172 and methylene blue from aqueous solutions. **Journal Of Molecular Liquids**, [S.L.], v. 351, p. 118682, abr. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.molliq.2022.118682>.

BROADBENT, Arthur D. **Basic Principles of Textile Coloration**. West Yorkshire: Society Of Dyers And Colourists, 2011. 579 p.

BURKINSHAW, S.M.; KABAMBE, O.. Attempts to reduce water and chemical usage in the removal of bifunctional reactive dyes from cotton: part 2 bis(vinyl sulfone), aminochlorotriazine/vinyl sulfone and bis(aminochlorotriazine/vinyl sulfone) dyes. **Dyes And**

Pigments, [S.L.], v. 88, n. 2, p. 220-229, fev. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.dyepig.2010.07.001>.

BURKINSHAW, Stephen M.. **Physico-chemical Aspects of Textile Coloration**. West Sussex: Wiley, 2016. 645 p.

BURKINSHAW, Stephen M.; SALIHU, George. The role of auxiliaries in the immersion dyeing of textile fibres: part 1 an overview. **Dyes And Pigments**, [S.L.], v. 161, p. 519-530, fev. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.dyepig.2017.08.016>

CAVACO-PAULO, Artur; GÜBITZ, Georg (ed.). **Textile Processing with Enzymes**. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2003. 240 p.

CAPAR, G; YILMAZ, L; YETIS, U. Reclamation of acid dye bath wastewater: effect of ph on nanofiltration performance. **Journal Of Membrane Science**, [S.L.], v. 281, n. 1-2, p. 560-569, 15 set. 2006. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.memsci.2006.04.025>.

CHEN, Hsiou-Lien; BURNS, Leslie Davis. Environmental Analysis of Textile Products. **Clothing And Textiles Research Journal**, [S.L.], v. 24, n. 3, p. 248-261, jul. 2006. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/0887302x06293065>.

CHOUDHURY, Asim Kumar Roy. **Principles of Textile Finishing**. Cambridge: Woodhead Publishing, 2017. 558 p.

CHRISTIE, R. M.. **Environmental Aspects of Textile Dyeing**. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2007. 253 p.

CLARK, M (ed.). **Handbook of textile and industrial dyeing**. Cambridge: Woodhead Publishing, 2011. v. (Woodhead Publishing Series in Textiles ; n. 116-117). ISBN 9781845696955 (v. 1).

CLARK, M (ed.). **Handbook of textile and industrial dyeing**. Cambridge: Woodhead Publishing, 2011. v. (Woodhead Publishing Series in Textiles ; n. 116-117). (v. 2).

COLOMBI, Bruna Lyra; VALLE, Rita de Cássia Siqueira Curto; VALLE, José Alexandre Borges; ANDREAUS, Jürgen. **Advances in sustainable enzymatic scouring of cotton textiles: evaluation of different post-treatments to improve fabric wettability**. *Cleaner Engineering And Technology*, [S.L.], v. 4, p. 100160, out. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.clet.2021.100160>.

CRESWELL, John W. **Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010. 296 p.

DASGUPTA, Jhilly; SIKDER, Jaya; CHAKRABORTY, Sudip; CURCIO, Stefano; DRIOLI, Enrico. Remediation of textile effluents by membrane based treatment techniques: a state of the art review. **Journal Of Environmental Management**, [S.L.], v. 147, p. 55-72, jan. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.08.008>.

EICHHORN, S. J. (ed.). **Handbook of textile fibre structure**. Cambridge: Woodhead Publishing, c2009. v. (Woodhead Publishing in Textiles ; n. 88). ISBN 9781845697303 (vol. 2).

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **A NEW TEXTILES ECONOMY: redesigning fashion's future. REDESIGNING FASHION'S FUTURE.** 2017. Disponível em: <https://ellenmacarthurfoundation.org/a-new-textiles-economy>. Acesso em: 30 maio 2022

ESPINOZA, Marcelo. **Aprovada em 1º turno criação de três regiões metropolitanas.** 2021. Disponível em: https://agenciaal.alesc.sc.gov.br/index.php/noticia_single/aprovada-em-1-turno-criacao-de-tres-regioes-metropolitanas#:~:text=O%20PLC%201%2F2021%2C%20de,por%20Canoinhas%20e%20Tr%C3%AAs%20Barras). Acesso em: 05 maio 2022.

EUROPEAN PARLIAMENT. **The impact of textile production and waste on the environment.** 2020. Disponível em: <https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/society/20201208STO93327/the-impact-of-textile-production-and-waste-on-the-environment-infographic>. Acesso em: 30 maio 2022.

FÓRUM NACIONAL ENTIDADES METROPOLITANAS. **SC – Santa Catarina Conheça as Regiões Metropolitanas do estado.** Disponível em: <https://fnemrasil.org/sc/>. Acesso em: 05 maio 2022.

FREIRE, Patrícia de Sá. **Aumente a qualidade e a quantidade de suas publicações científicas: Manual para elaboração de projeto e artigo científicos** 1. ed. Curitiba: Ed. CRV, c2013. 90 p.

HAYAT, Naveed; HUSSAIN, Anwar; LOHANO, Heman das. What drives a textile firm to adopt an eco-label? **Business Review**, [S.L.], v. 13, n. 1, p. 1-20, 11 jun. 2018. IBA Karachi, Business Review. <http://dx.doi.org/10.54784/1990-6587.1034>.

HAUSER, Peter J. (org.). **Textile dyeing.** Rijeka: Intechopen, 2011. 402 p.

HUNGER, Klaus (org.). **Industrial Dyes: chemistry, properties, applications.** Kelkheim: Wiley-Vch, 2003. 685 p.

IQBAL, Mansoor. **Textile dyes.** Karachi: Rehbar Publishers Karachi, 2009. 179 p.

ISLAM, Mr; MOSTAFA, Mg. Textile Dyeing Effluents and Environment Concerns - A Review. **Journal Of Environmental Science And Natural Resources**, [S.L.], v. 11, n. 1-2, p. 131-144, 1 out. 2019. Bangladesh Journals Online (JOL). <http://dx.doi.org/10.3329/jesnr.v11i1-2.43380>.

JANAINA, Alves Klein; MIGUEL, Petrere; DAVI, Butturi-Gomes; BARRELLA, Walter. Textile sustainability: a brazilian etiquette issue. **Environmental Science & Policy**, [S.L.], v. 109, p. 125-130, jul. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2020.02.025>.

JOSHI, Manasi; NERURKAR, Madhura; BADHE, Pallavi; ADIVAREKAR, Ravindra. Scouring of cotton using marine pectinase. **Journal Of Molecular Catalysis B: Enzymatic**, [S.L.], v. 98, p. 106-113, dez. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.molcatb.2013.10.010>.

KAUSHIK, Namrata; KAUSHIK, C.P.; SHARMA, Sanjay; SHARMA, J.K.. Pollution hazards in polyester dyeing and role of acid in monitoring. **Current World Environment**,

[S.L.], v. 2, n. 2, p. 175-182, 25 dez. 2007. Enviro Research Publishers. <http://dx.doi.org/10.12944/cwe.2.2.12>.

KHAN, Sana; MALIK, Abdul. Environmental and Health Effects of Textile Industry Wastewater. **Environmental Deterioration And Human Health**, [S.L.], p. 55-71, 8 dez. 2013. Springer Netherlands. http://dx.doi.org/10.1007/978-94-007-7890-0_4.

KHATRI, Awais; PEERZADA, Mazhar Hussain; MOHSIN, Muhammad; WHITE, Max. A review on developments in dyeing cotton fabrics with reactive dyes for reducing effluent pollution. **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 87, p. 50-57, jan. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.09.017>

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos de metodologia científica**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2017. 346 p.

LI, Yi; LUO, Yan; HE, Qing. Chemical footprint of textile and apparel products: an assessment of human and ecological toxicities based on usetox model. **The Journal Of The Textile Institute**, [S.L.], v. 111, n. 7, p. 960-971, 8 jan. 2020. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/00405000.2019.1710907>.

LIU, Qiang. Pollution and Treatment of Dye Waste-Water. **Iop Conference Series: Earth and Environmental Science**, [S.L.], v. 514, n. 5, p. 052001, 1 maio 2020. IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/514/5/052001>

LUCATO, Wagner Cezar; COSTA, Elpidio Moreira; OLIVEIRA NETO, Geraldo Cardoso de. The environmental performance of SMEs in the Brazilian textile industry and the relationship with their financial performance. **Journal Of Environmental Management**, [S.L.], v. 203, p. 550-556, dez. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.06.028>

MAHAPATRA, N. N.. **Textile dyeing**. New Delhi: Woodhead Publishing India, 2018. 171 p.

MODAFICA. **Fios da moda: perspectiva sistêmica para circularidade**. Perspectiva Sistêmica Para Circularidade. 2021. Disponível em: <https://reports.modifica.com.br/fios-da-moda/library/downloads/modifica-report-FIBRAS-TEXTEIS-2021.pdf>. Acesso em: 30 maio 2022.

MURTHY, H. V. Sreenivasa. **Introduction to Textile Fibres**. New York: Wpi Publishing, 2016. 250 p.

MUTHU, Subramanian Senthilkannan (ed.). **Sustainability in the Textile Industry**. Hong Kong: Springer, 2017. 150 p.

MUTHU, Subramanian Senthilkannan. **Sustainable Innovations in Textile Chemistry and Dyes**. Kowloon: Springer Nature Singapore, 2018. 97 p.

MUTHU, Subramanian Senthilkannan. **Water in Textiles and Fashion: consumption, footprint, and life cycle assessmen**. Kidlington: Woodhead Publishing, 2019. 216 p.

NIAZ, Ahmad; MALIK, Qaiser Jawed; MUHAMMAD, Sher; SHAMIM, Tahir; ASGHAR, Shoaib. Bioscouring of cellulosic textiles. **Coloration Technology**, [S.L.], v. 127, n. 4, p. 211-216, 2 jun. 2011. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1478-4408.2011.00292.x>.

PANDA, Sanjay Kumar Bhikari Charan; SEN, Kushal; MUKHOPADHYAY, Samrat. Sustainable pretreatments in textile wet processing. **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 329, p. 129725, dez. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129725>.

PARISI, Maria Laura; FATARELLA, Enrico; SPINELLI, Daniele; POGNI, Rebecca; BASOSI, Riccardo. Environmental impact assessment of an eco-efficient production for coloured textiles. **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 108, p. 514-524, dez. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.06.032>.

PATEL, Prachi. Nitrous oxide: The unnoticed greenhouse gas. **C&En Global Enterprise**, [s. l.], v. 25, n. 99, p. 20-23, 12 jul. 2021.

QIAN, Weiran; GUO, Yiqi; WANG, Xiaopeng; QIU, Xiaoxiao; JI, Xiang; WANG, Laili; LI, Yi. Quantification and assessment of chemical footprint of VOCs in polyester fabric production. **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 339, p. 130628, mar. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130628>.

RANASINGHE, L.; JAYASOORIYA, V.M.. Ecolabelling in textile industry: a review. **Resources, Environment And Sustainability**, [S.L.], v. 6, p. 100037, dez. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resenv.2021.100037>.

ROOS, Sandra; JÖNSSON, Christina; POSNER, Stefan; ARVIDSSON, Rickard; SVANSTRÖM, Magdalena. An inventory framework for inclusion of textile chemicals in life cycle assessment. **The International Journal Of Life Cycle Assessment**, [S.L.], v. 24, n. 5, p. 838-847, 16 out. 2018. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11367-018-1537-6>.

ROOS, Sandra; POSNER, Stefan; JÖNSSON, Christina; PETERS, Greg M.. Is Unbleached Cotton Better Than Bleached? Exploring the Limits of Life-Cycle Assessment in the Textile Sector. **Clothing And Textiles Research Journal**, [S.L.], v. 33, n. 4, p. 231-247, 15 mar. 2015. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/0887302x15576404>.

SALEM, Vidal. **Tingimento têxtil: fibras, conceitos e tecnologias**. São Paulo: Edgard Blucher, 2010. 297 p.

SANDIN, Gustav; PETERS, Greg M.. Environmental impact of textile reuse and recycling – A review. **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 184, p. 353-365, maio 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.266>.

SANTOS, Antônio Raimundo dos. **Metodologia científica: a construção do conhecimento**. 7. ed., rev. Rio de Janeiro: Lamparina, 2015. 192 p.

SANTOS, Renan Felinto dos; RAMLOW, Heloisa; DOLZAN, Neseli; MACHADO, Ricardo Antonio Francisco; AGUIAR, Catia Rosana Lange de; MARANGONI, Cintia. Influence of different textile fibers on characterization of dyeing wastewater and final effluent. **Environmental Monitoring And Assessment**, [S.L.], v. 190, n. 11, p. 1-12, 31 out.

2018. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10661-018-7068-6>.

SAXENA, Sujata; RAJA, A. S. M.; ARPUTHARAJ, A.. Challenges in Sustainable Wet Processing of Textiles. **Textile Science And Clothing Technology**, [S.L.], p. 43-79, 11 ago. 2016. Springer Singapore. http://dx.doi.org/10.1007/978-981-10-2185-5_2.

SCHÖNBERGER, Harald; SCHÄFER, Thomas. **Best Available Techniques in Textile Industry**. Belim: Federal Environmental Agency (Umweltbundesamt), 2002. 364 p.

SENAI-SP. **Beneficiamento têxtil**. São Paulo: Senai-SP Editora, 2015.

SHABBIR, Mohd; MOHAMMAD, Faqeer. Introduction to Textile Fibers: an overview. **Handbook Of Renewable Materials For Coloration And Finishing**, [S.L.], p. 1-8, 20 set. 2018. John Wiley & Sons, Inc.. <http://dx.doi.org/10.1002/9781119407850.ch1>.

SHAIKH, Muhammad Ayaz. Environmental issues related with textile sector. **Pakistan Textile Journal**. Islamabade, p. 36-40. out. 2009.

SILVA, Edna Lúcia da; MENEZES, Estera Muszkat. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 3. ed. rev. atual. Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC, 2001. 121p.

SINCLAIR, Rose. **Textiles and Fashion: materials, design and technology**. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2015. 834 p.

STERENZON, Elizaveta; VADIVEL, Vinod Kumar; GERCHMAN, Yoram; LUXBACHER, Thomas; NARAYANAN, Ramsundram; MAMANE, Hadas. Effective Removal of Acid Dye in Synthetic and Silk Dyeing Effluent: isotherm and kinetic studies. **Acs Omega**, [S.L.], v. 7, n. 1, p. 118-128, 30 dez. 2021. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/acsomega.1c04111>.

TAHERI, Mahsa; MOGHADDAM, Mohammad Reza Alavi; ARAMI, Mokhtar. Optimization of Acid Black 172 decolorization by electrocoagulation using response surface methodology. **Iranian Journal Of Environmental Health Science & Engineering**, [S.L.], v. 9, n. 1, p. 1-8, dez. 2012. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1186/1735-2746-9-23>

TAYYAB, Muhammad; JEMAI, Jihed; LIM, Han; SARKAR, Biswajit. A sustainable development framework for a cleaner multi-item multi-stage textile production system with a process improvement initiative. **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 246, p. 119055, fev. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119055>.

TESSENER, Ed. **The improvements of exhaust dyeing blacks on cotton**. 2016. Disponível em: <https://www.fsw.cc/exhaust-dyeing-reactive-black-cotton-blends/>. Acesso em: 23 maio 2022.

TEXTILE EXCHANGE. **Threading the Needle Report: weaving the sustainable development goals into the textile, retail, and apparel industry**. Weaving the Sustainable Development Goals into the textile, retail, and apparel industry. 2022. Disponível em:

<https://textileexchange.org/wp-content/uploads/2022/03/Textile-Exchange-kpmg-threading-needle-report.pdf>. Acesso em: 23 jul. 2022

TEXTILE-EXCHANGE. **Preferred Fiber & Materials Market Report 2020**. 2020. Disponível em: https://textileexchange.org/wp-content/uploads/2020/06/Textile-Exchange_PREFERRED-Fiber-Material-Market-Report_2020.pdf. Acesso em: 23 maio 2022.

THIEMENS, Mark H.; TROGLER, William C.. Nylon Production: an unknown source of atmospheric nitrous oxide. **Science**, [S.L.], v. 251, n. 4996, p. 932-934, 22 fev. 1991. American Association for the Advancement of Science (AAAS). <http://dx.doi.org/10.1126/science.251.4996.932>.

TRC-CANADA. **Acid Black 194 (Technical Grade)**. Disponível em: <https://www.trc-canada.com/product-detail/?A189860>. Acesso em: 23 maio 2022.

UDDIN, Mohammad Gias; GHOSH, Nayon Chandra; REZA, Md. Shamim. Study on the Performance of Eco-Alkali in Dyeing of Cotton Fabric with Reactive Dyes. **International Journal Of Textile Science**, Dhaka, v. 3, n. 3, p. 51-58, jan. 2014.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Putting the brakes on fast fashion**. 2018. Disponível em: <https://www.unep.org/news-and-stories/story/putting-brakes-fast-fashion>. Acesso em: 30 maio 2022.

VIGO, Tyrone L.. **Textile processing and properties: preparation, dyeing, finishing and performance**. 3. ed. Amsterdam: Elsevier Science B.V., 2002. 486 p.

WARDMAN, Roger H.. **An Introduction to Textile Coloration**. Edinburgh: Wiley, 2017. 377 p.

YASEEN, D. A.; SCHOLZ, M.. Textile dye wastewater characteristics and constituents of synthetic effluents: a critical review. **International Journal Of Environmental Science And Technology**, [S.L.], v. 16, n. 2, p. 1193-1226, 27 nov. 2018. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s13762-018-2130-z>.

YUSUF, Mohd (org.). **Handbook of Textile Effluent Remediation**. Singapore: Pan Stanford Publishing, 2018. 455 p.

YUSUF, Mohd; SHAHID, Mohammad (org.). **Emerging Technologies for Textile Coloration**. Abingdon: Crc Press, 2022. 265 p.

ZIMON, Dominik; MADZIK, Peter; SROUFE, Robert. The Influence of ISO 9001 & ISO 14001 on Sustainable Supply Chain Management in the Textile Industry. **Sustainability**, [S.L.], v. 12, n. 10, p. 4282, 23 maio 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/su12104282>.

ZHANG, You; LIU, Xin; XIAO, Rufeng; YUAN, Zengwei. Life cycle assessment of cotton T-shirts in China. **The International Journal Of Life Cycle Assessment**, [S.L.], v. 20, n. 7, p. 994-1004, 21 abr. 2015. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11367-015-0889-4>.

APÊNDICE A – TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DIVULGAÇÃO DE INFORMAÇÕES DE EMPRESAS



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

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

Rua João Pessoa, 2750, Velha.
CEP: 89036-256 – Blumenau - SC
textil.blumenau.ufsc.br / textil.bnu@contato.ufsc.br
Telefone: (48) 3721-6308

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DIVULGAÇÃO DE INFORMAÇÕES DE EMPRESAS

Empresa: _____

CNPJ: _____ Inscrição Estadual: _____

Endereço completo: _____

Representante da empresa: _____

Telefone: _____ e-mail: _____

Tipo de produção intelectual: () Monografia; () Relatório Técnico; () Relatório de Estágio
() Dissertação; () Tese; () Outro: _____

Título/subtítulo: _____

Autoria: _____ Código de matrícula: _____

Orientador: _____

Co-orientador: _____

Nome do Curso: _____

Campus: _____

Como representante da empresa acima nominada, declaro que as informações e/ou documentos disponibilizados pela empresa para o trabalho citado:

() Podem ser publicados sem restrição.

() Possuem restrição parcial por um período de _____ anos, não podendo ser publicadas as seguintes informações e/ou documentos _____

() Possuem restrição total para publicação por um período de _____ anos, pelos seguintes motivos:

Representante da empresa

Local e Data

APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
 MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE CIÊNCIAS EXATAS E EDUCAÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA TÊXTIL
 Rua João Pessoa, 2750, Velha.
 CEP: 89036-256 – Blumenau - SC
 textil.blumenau.ufsc.br / textil.bnu@contato.ufsc.br
 Telefone: (48) 3721-6308

Prezado/a participante,

Estou realizando um estudo com o intuito de relacionar os impactos ambientais do processo de beneficiamento com a sustentabilidade. Mundialmente as fibras mais utilizadas são: algodão, poliamida e poliéster. Desta forma, o questionário contará com perguntas relacionadas a purga, tingimento e acabamento das fibras. Algumas perguntas serão repetidas, mas a resposta será diferente, pois está relacionado com cada tipo da fibra. Além disso, as perguntas pertinentes ao processo de beneficiamento da malha serão da cor preta. Os resultados serão aplicados em uma análise sobre o beneficiamento destas fibras.

Sua participação é voluntária, sem identificação e levará menos de 20 minutos. Garantimos seu anonimato e que os dados serão utilizados unicamente para fins de estudo.

Coloco-me a disposição nosso e-mail caso tenha dúvidas e queira maiores esclarecimentos. Sobre os resultados podem ser conhecidos no meu trabalho de conclusão do curso e na apresentação.

Agradeço a participação!

QUESTIONÁRIO:

Onde se localiza a empresa? _____

1. BENEFICIAMENTO DE ALGODÃO – TINGIMENTO CORANTE PRETO

1.1 PROCESSO DE PURGA:

1.1.1 Para este processo se realiza a purga? () Sim () Não

Caso sim, quais os auxiliares?

() Barrilha (Na_2CO_3) _____ g/L

() Detergente _____ g/L

() Emulgador _____ g/L

() Sequestrante Ca/Mg _____ g/L

() Soda (NaOH) _____ g/L

() Detergente _____ g/L

() Emulgador _____ g/L

() Outros. Quais? _____ g/L

() Purga enzimática. Qual enzima? _____

1.1.2 Para o tingimento da cor preta há necessidade de realizar alvejamento? () Sim () Não

1.2 PROCESSO DE TINGIMENTO:

1.2.1 Qual a relação de banho empregada no processo de tingimento do algodão? _____

1.2.2 Qual classe de corante é empregada em maior quantidade nos tingimento de algodão?

() reativo () direto () sulfuroso () outros

- 1.2.3 O color index é conhecido? () sim () não. Caso sim, Qual? _____
 1.2.4 Em média quantos kg de corante que são empregados por quilo de fibra? _____
 1.2. 5. Quais auxiliares são utilizados no processo?

Surfactantes:

- () aniônicos, quanto: ____g/L () não iônicos, quanto: ____ g/L
 () anfóteros, quanto: ____ g/L

Álcalis:

- () Soda Cáustica (NaOH), quanto: ____ g/L () Barrilha leve (Na₂CO₃), quanto: ____g/L
 () Emulsionante, quanto: ____ g/L ()Antiespumante, quanto: ____g/L
 ()Umectante, quanto: ____g/L ()Detergente, quanto: ____g/L
 ()Emulgador, quanto: ____g/L ()Sequestrante/ Dispersante, quanto: ____g/L
 ()Antiquebradura, quanto: ____g/L ()Anti-redutor, quanto: ____g/L
 ()Neutralizador, quanto: ____g/L ()Doador ácido, quanto: ____g/L
 ()Antibarramento, quanto: ____g/L ()Ácido, quanto: ____g/L
 ()Igalizante, quanto: ____g/L

- 1.2. 6. Qual temperatura máx que é efetuado o processo? _____
 1.2.7. Quantos banhos são necessários para a remoção do corante da fibra? _____
 1.2.8 Quais os problemas mais decorrentes desse processo? _____

1.3 PROCESSO DE ACABAMENTO:

1.3.1 Após o beneficiamento o artigo têxtil passa por algum processo de acabamento?

()Sim () Não

Caso sim, Qual? _____

1.3.2 Qual a quantidade de água empregada no processo de beneficiamento desde a preparação até o acabamento? _____

1.3.3 Qual o tempo médio de processo para cores?

Claras _____ Médias _____ Escuras _____

2. BENEFICIAMENTO DE POLIAMIDA – TINGIMENTO CORANTE PRETO

2.1 PROCESSO DE PURGA:

2.1.1 Para este processo se realiza a purga? () Sim () Não

Caso sim, quais os auxiliares?

- ()Barrilha (Na₂CO₃) _____ g/L ()Detergente _____ g/L
 ()Emulgador _____ g/L () Sequestrante Ca/Mg _____ g/L
 () Soda (NaOH) _____ g/L () Detergente _____ g/L
 ()Emulgador _____ g/L () Outros. Quais? _____ g/L

2.1.2 Para o tingimento da cor preta há necessidade de realizar alvejamento? () Sim () Não

Caso sim, quais os auxiliares?

- () Peróxido de Hidrogênio, quantidade: _____ % e _____ g/L
 ()Branqueador ótico; Tipo: _____, quantidade: _____ %
 () Estabilizador de peróxido; Tipo: _____, quantidade: _____ g/L
 () Neutralizador de peróxido; Tipo: _____, quantidade: _____ g/L
 () Hipoclorito de sódio (NaClO); quantidade _____ g/L

- () Clorito de Sódio (NaClO_2), quantidade _____ g/L
 () Neutralizador de cloro, Tipo: _____, quantidade _____ g/L
 () Fixador: quantidade _____ g/L

2.2 PROCESSO DE TINGIMENTO:

- 2.2.1 Qual a relação de banho empregada no processo de tingimento? _____
 2.2.2 O corante ácido aplicado possui color index? () sim () não. Caso sim, Qual? _____
 2.2.3 Em média quantos kg de corante que são empregados por quilo de fibra? _____
 2.2.4 Quais auxiliares são utilizados no processo?

Surfactantes:

- () aniônicos, quanto: _____ g/L () não iônicos, quanto: _____ g/L
 () anfóteros, quanto: _____ g/L

Álcalis:

- () Soda Cáustica (NaOH), quanto: _____ g/L () Barrilha leve (Na_2CO_3), quanto: _____ g/L
 () Emulsionante, quanto: _____ g/L () Antiespumante, quanto: _____ g/L
 () Umectante, quanto: _____ g/L () Detergente, quanto: _____ g/L
 () Emulgador, quanto: _____ g/L () Sequestrante/ Dispersante, quanto: _____ g/L
 () Antiquebradura, quanto: _____ g/L () Anti- redutor, quanto: _____ g/L
 () Neutralizador, quanto: _____ g/L () Doador ácido, quanto: _____ g/L
 () Antibarramento, quanto: _____ g/L () Ácido, quanto: _____ g/L
 () Igualizante, quanto: _____ g/L () Carrier, quanto: _____ g/L

- 2.2.5 Qual temperatura máx que é efetuado o processo? _____
 2.2.6 Quais os problemas mais decorrentes desse processo? _____
 2.2.7. Quantos banhos são necessários para a remoção do corante da fibra? _____

2.3 PROCESSO DE ACABAMENTO:

- 2.3.1 Após o beneficiamento o artigo têxtil passa por algum processo de acabamento?
 () Sim () Não
 2.3.2 Caso sim, quais os processos de acabamento empregado?
 () Proteção UV () Antimicrobiano () Somente Rama
 () Dry fit () Outros _____
 2.3.3 Qual a quantidade de água empregada no processo de beneficiamento desde a preparação até o acabamento? _____
 2.3.4 Qual o tempo médio de processo para cores?
 Claras _____ Médias _____ Escuras _____

3. BENEFICIAMENTO DE POLIÉSTER – TINGIMENTO CORANTE PRETO

3.1 PROCESSO DE PURGA:

- 3.1.1 Para este processo se realiza a purga? () Sim () Não

Caso sim, quais os auxiliares?

- () Barrilha (Na_2CO_3) _____ g/L () Detergente _____ g/L
 () Emulgador _____ g/L () Sequestrante Ca/Mg _____ g/L
 () Soda (NaOH) _____ g/L () Detergente _____ g/L
 () Emulgador _____ g/L () Outros. Quais? _____ g/L

3.1.2 Para o tingimento da cor preta há necessidade de realizar alvejamento? () Sim () Não

3.2 PROCESSO DE TINGIMENTO:

3.2.1 Qual a relação de banho empregada no processo de tingimento? _____

3.2.2 O corante disperso aplicado possui color index? () sim () não. Caso sim, Qual? _____

3.2.3 Em média quantos kg de corante que são empregados por quilo de fibra? _____

3.2.4 Quais auxiliares são utilizados no processo?

Surfactantes:

() aniônicos, quanto: _____ g/L

() não iônicos, quanto: _____ g/L

() anfóteros, quanto: _____ g/L

Álcalis:

() Soda Cáustica (NaOH), quanto: _____ g/L

() Barrilha leve (Na₂CO₃), quanto: _____ g/L

() Emulsionante, quanto: _____ g/L

() Antiespumante, quanto: _____ g/L

() Umectante, quanto: _____ g/L

() Detergente, quanto: _____ g/L

() Emulgador, quanto: _____ g/L

() Sequestrante/ Dispersante, quanto:

_____ g/L

() Antiquebradura, quanto: _____ g/L

() Anti- redutor, quanto: _____ g/L

() Neutralizador, quanto: _____ g/L

() Doador ácido, quanto: _____ g/L

() Antibarramento, quanto: _____ g/L

() Ácido, quanto: _____ g/L

() Igualizante, quanto: _____ g/L

() Carrier, quanto: _____ g/L

3.2.5 Qual temperatura máx que é efetuado o processo? _____

3.2.6 Quais os problemas mais decorrentes desse processo? _____

3.3 PROCESSO DE ACABAMENTO:

3.3.1 Após o beneficiamento o artigo têxtil passa por algum processo de acabamento?

() Sim () Não

3.3.2 Caso sim, quais os processos de acabamento empregado?

() Proteção UV

() Antimicrobiano

() Somente Rama

() Dry fit

() Outros _____

3.3.3 Qual a quantidade de água empregada no processo de beneficiamento desde a preparação até o acabamento? _____

3.3.4 Qual o tempo médio de processo para cores?

Claras _____

Médias _____

Escuras _____