UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ARTES, CIÊNCIAS E HUMANIDADES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TÊXTIL E MODA

NELSON BARROS TRINDADE

**Tingimento com pigmento natural: um estudo empírico para redução do
consumo de água utilizando máquina de lavanderia em peças confeccionadas
com matéria prima 100% algodão**

São Paulo

2016

NELSON BARROS TRINDADE

**Tingimento com pigmento natural: um estudo empírico para redução do
consumo de água utilizando máquina de lavanderia em peças confeccionadas
com matéria prima 100% algodão**

Versão corrigida

Dissertação de Mestrado
apresentada ao Programa de
Mestrado em Têxtil e Moda como
um dos requisitos para a obtenção
do Título de Mestre em Ciências,
Programa de Têxtil e Moda.

Linha de Pesquisa: Projeto de
Têxtil e Moda.

Orientador: Prof. Dr. Maurício de
Campos Araújo

São Paulo

2016

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

CATALOGAÇÃO-NA-PUBLICAÇÃO

(Universidade de São Paulo. Escola de Artes, Ciências e Humanidades. Biblioteca)

Trindade, Nelson Barros

Tingimento com pigmento natural : um estudo empírico para redução do consumo de água utilizando máquina de lavanderia em peças confeccionadas com matéria prima 100% algodão / Nelson Barros Trindade ; orientador, Mauricio de Campos Araújo . – São Paulo, 2016
67 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Ciências) - Programa de Pós-Graduação em Têxtil e Moda, Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, em 2015
Versão corrigida

1. Indústria têxtil - Aspectos ambientais. 2. Indústria têxtil - Processos. 3. Tingimento. 4. Água - Uso, redução. 5. Urucum. 6. Algodão. I. Araújo, Maurício de Campos, orient. II. Título.

CDD 22.ed. – 677

Nome: Trindade, Nelson Barros

Título: Tingimento com pigmento natural: um estudo empírico para redução do consumo de água utilizando máquina de lavanderia em peças confeccionadas com matéria prima 100% algodão.

Dissertação apresentada a Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo como um dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Ciências, Programa de Têxtil e Moda.

Versão corrigida contendo as alterações solicitadas pela comissão julgadora em 14 de dezembro de 2015. A versão original encontra-se em acervo reservado na Biblioteca da EACH/USP e na Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da USP (BDTD), de acordo com a Resolução CoPGr 6018, de 13 de outubro de 2011.

Aprovado em 14 de dezembro de 2015

Banca Examinadora

Prof. Dr. Mauricio de Campos Araújo

Instituição: Escola de Artes Ciências e Humanidades – Universidade de São Paulo

Prof. Dr. Jorge Marcos Rosa

Instituição: Faculdade de Engenharia Química – Universidade Estadual de Campinas

Profª. Drª. Ticiane Rossi

Instituição: Escola de Artes Ciências e Humanidades – Universidade de São Paulo

Epígrafe

A certeza de sermos filhos de Deus perfeitos nos inspira saber que só existe uma Verdade, e que tudo que se distanciar desta Verdade é mera ilusão.

Nelson Barros Trindade

Dedicatória

Dedico essa pesquisa aos meus sete filhos, Ana Paula, Fernanda, Thales, Caio, Bianca, Layla e Amanda frutos que sempre me mantiveram nesta estrada da vida dedicando-me sem temer o futuro. Que esta pesquisa os inspire a seguir sempre em frente e a acreditarem que quando Deus está no controle, tudo se realiza e se ajusta em seus devidos lugares.

Agradecimentos

Agradeço a Deus por sua Sabedoria, Amor, Vida, Prosperidade, Alegria e Harmonia que sempre me são enviadas nas vibrações do meu cotidiano durante minhas meditações.

Ao meu orientador Prof. Dr. Maurício de Campos Araújo pela paciência e compreensão, dando-me apoio e valiosas contribuições nessa trajetória.

A minha sócia e esposa, Keli Rejan Cesare Trindade, por disponibilizar o laboratório da sua empresa Donacor para muitos dos experimentos que viabilizaram o desenvolvimento desta pesquisa.

Ao pessoal do Senai Francisco Matarazzo em especial ao seu Diretor, Prof. Marcelo Costa, que sempre manteve aberta as portas para muitos dos experimentos que nesta escola realizei.

Ao Ciro Verdi, da CHT, pelo apoio nos ensaios de solidez à luz.

Aos professores da EACH, Prof^a. Dr^a. Francisca Dantas, Prof. Dr. Antonio Takao, Prof^a. Dr^a. Regina Sanches, Prof^a. Dr^a Júlia Baruque Ramos e Prof. Dr. Luiz Barco, cujos ensinamentos formaram a base para execução desta pesquisa.

A Dr^a. Ticiane pelas importantes contribuições na área dos corantes naturais cujo conhecimento foi primordial para muitas dúvidas esclarecidas.

A todos os colegas da EACH, alunos e funcionários.

Ao Programa de Apoio à Pesquisa do SENAI-SP.

Ao Prof. Dr. Jorge Marcos Rosa e ao Prof. MSc. Adilson da Silva Leite, pelas incansáveis sugestões e apoio, tanto emocional quanto acadêmico, sem os quais não seria possível a conclusão esta pesquisa.

A minha Mãe Isabel Barros Trindade que sabendo da minha impossibilidade de viajar para vê-la, mesmo tendo 84 anos enfrentou viagens ao longo desses dois anos para não me privar de sua companhia.

Ao meu pai Nilson Trindade que me ensinou que estudar tem início mas nunca tem fim e que através de ações que tomamos, é que mostramos quem realmente somos.

RESUMO

TRINDADE, N.B.: Tingimento com pigmento natural: Um estudo empírico para redução do consumo de água utilizando máquina de lavanderia em peças confeccionadas com matéria prima 100% algodão. 2015. 67 f. Tese (Mestrado) – Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

Neste trabalho que trata da redução do consumo de água na fase do tingimento das roupas fabricadas com malha de algodão, foi desenvolvido um método utilizando pigmento natural Urucum Especial com o objetivo de diminuir o consumo de água e avaliar os resultados, comparando-os com aqueles que são conseguidos atualmente pelos métodos de tingimento com pigmento natural Urucum pelo método tradicional e o método de tingimento com corante sintético Direto. Para assegurar que o processo proposto pudesse ser aplicado em escala industrial, o trabalho foi desenvolvido em equipamentos pilotos da empresa Donacor, do Senai Têxtil Francisco Matarazzo e da Universidade de São Paulo. Cada tingimento foi feito em triplicata, avaliando-se o consumo de água, a solidez à água, ao suor e à luz. Demonstrou-se que o processo Urucum Especial pode ser utilizado industrialmente como um método alternativo cujo consumo de água é menor que o método tradicional utilizado para tingir com o pigmento urucum. A redução no consumo de água foi de 38 litros por quilogramas de roupa tingida em relação ao processo utilizado com corante Direto e 68 litros com o processo utilizado para tingir com pigmento urucum. Os ensaios de solidez à água e ao suor nos três processos testados não apresentaram valores significativos, enquanto que os ensaios de solidez à luz do processo Urucum Especial pelo método proposto obtiveram notas máximas. A intensidade colorística do processo Urucum Especial ficou 3,65 unidades maior do que o processo Urucum Esgotamento, apresentando melhor rendimento tintorial e demonstrando que o processo Especial pode ser executado como alternativa ao processo convencional com otimização no rendimento do pigmento natural.

Palavras-chave resumo: redução de água, urucum, tingimento de algodão.

ABSTRACT

TRINDADE, N.B.: Dyeing with natural pigment: An empirical study for reduction of water consumption, using laundry machines in dyeing of pieces 100% cotton. 2015. 67 f. Dissertation (Master Science) – School of Arts, Science and Humanity, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

In this work which deals with the reduction of water consumption in the dyeing phase of the clothes made of cotton fabric, a method was developed using natural pigment Urucum Special with an aim to reduce water consumption and evaluate the results, comparing them with those that are currently obtained by the dyeing methods with natural pigment Urucum by the traditional method and the dyeing method with Direct synthetic dye. To ensure that the proposed process could be applied on an industrial scale, the work was carried out in pilot equipments at Donacor company, at Senai Textile Francisco Matarazzo and at the University of São Paulo. Each dyeing was done in triplicate evaluating the consumption of water, water fastness, light and sweat. It has been shown that the special process can be used industrially as an alternative method the water consumption is lower than the traditional method used for dyeing with pigment. The reduction in water consumption was 38 liters per kilogram clothing dyed in relation to the process used in direct dye and 68 liters process used for dyeing with pigment. Strength tests and sweat water in the three cases tested showed no significant amounts, while the light fastness test of the special process obtained by the proposed method top marks. The coloristic intensity of Special process was 3.65 units higher than the Urucum conventional process, with better dyeing yield and demonstrating that the Special process can be performed as an alternative to the conventional process by optimizing the yield of natural pigment.

Keywords abstract: water reduction, urucum, cotton dyeing.

Lista de figuras

Figura 1 -	Processo Pad-Batch	15
Figura 2 -	Estrutura da Naftoquinona, Antraquinona e Flavonóide	29
Figura 3 -	Estrutura da Garança	30
Figura 4 -	Urucum	32
Figura 5 -	Estrutura da Bixina e seu isômero	33
Figura 6 -	Estrutura da Luteolina	34
Figura 7 -	Balança analítica	41
Figura 8 -	Espectrofotômetro	42
Figura 9 -	Perspirômetro	42
Figura 10 -	Estufa	42
Figura 11 -	Lavadora frontal	43
Figura 12 -	Centrífuga	43
Figura 13 -	Secador	43
Figura 14 -	Sistema CIELab	46
Figura 15 -	Gráfico de tingimento Direto	49
Figura 16 -	Gráfico de tingimento Urucum	50
Figura 17 -	Gráfico de tingimento Urucum Especial	52
Figura 18 -	Intensidade colorística das amostras	57

Lista de quadros

Quadro 1 - Classificação dos principais corantes têxteis	26
--	----

Lista de tabelas

Tabela 1 - Tecidos de algodão	16
Tabela 2 - Receita de tingimento com corante direto	48
Tabela 3 - Receita de tingimento com urucum	50
Tabela 4 - Receita de tingimento especial com urucum	52
Tabela 5 - Valores comparativos entre as amostras	55
Tabela 6 - Consumo de água	58
Tabela 7 - Avaliações de alteração e transferência	59
Tabela 8 - Transferência em tecido multifibra	59
Tabela 9 - Resultados de solidez à luz	60

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	14
Justificativa	15
OBJETIVOS	17
Objetivo geral	17
Objetivos específicos	17
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
Água	18
Água na indústria têxtil	20
Efeitos decorrentes do uso da fibra de algodão	22
Tingimento	23
Corantes têxteis	24
Classificação	24
Corantes naturais	26
Diretos	27
À tina	27
Híbridos	28
Principais corantes naturais	29
Moda e sustentabilidade	34
Etapas do beneficiamento têxtil	36
Preparação	36
Coloração	36
Acabamento	37
Processo contínuo	39
Processo por batelada	39
Processo semi-contínuo	40
MATERIAIS E MÉTODOS	41
Equipamentos	41
Reagentes	44

Materiais diversos	44
Métodos	45
Procedimentos	48
Tingimento com corante direto	48
Processo de tingimento	49
Tingimento urucum esgotamento	50
Processo de tingimento	51
Tingimento urucum especial	52
Processo de tingimento	53
Índices de solidez da cor	53
RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
Tingimentos	55
Consumo de água	58
Ensaio de solidez	58
CONCLUSÕES E SUGESTÕES	62
REFERÊNCIAS	65

1. INTRODUÇÃO

A indústria têxtil, em particular, apresenta elevada demanda de água em seus processos, gerando grande quantidade de águas residuárias, as quais geralmente contém altas cargas de sais dissolvidos, surfactantes, sólidos suspensos e matérias orgânicas, principalmente de corantes na forma de moléculas complexas. Assim sendo, dos impactos ambientais, um dos principais problemas na indústria têxtil diz respeito à geração de efluentes poluidores (NEAMTU et al, 2002; HASSEMER, 2006; BABAN et al, 2004). No beneficiamento do algodão, por exemplo, a geração de efluentes e a não reutilização dos banhos de processamento ocasiona um descarte de, no mínimo, $35 \text{ L} \cdot \text{kg}^{-1}$ de substrato tratado. Esse efluente é composto por diversos contaminantes tais como dispersantes, tensoativos, silicatos e fixadores, dentre outros. A variação de corantes é significativa, gerando unidades absorciométricas de cor na faixa de 420 nm a 600 nm (MACHADO et al, 2006).

A água é um recurso natural essencial aos processos bioquímicos dos seres vivos e representa um fator importante nas atividades industriais de vários bens de consumo. O seu uso de forma racional, evitando o desperdício e a poluição, não deveria ser motivo de preocupação somente aos ambientalistas, mas também, para as instituições governamentais e para os processos produtivos, pois 1/6 da população mundial não tem acesso à água potável (FAVERE, RIELLA e ROSA, 2010).

Além disso, a escassez de água e os altos custos para tratá-la ou obtê-la de empresas de saneamento tornam essencial a busca por métodos alternativos que

possibilitem diminuição do consumo e ou seu reaproveitamento total ou parcial, portanto, pesquisas em tratamentos alternativos e reutilização da água oriunda desses tratamentos tornam-se indispensáveis para a sustentabilidade de quaisquer empresas de beneficiamentos têxteis (ROSA, TAMBOURGI e SANTANA, 2012).

1.1. Justificativa

O presente trabalho originou-se a partir da observação de um processo de tingimento já existente, cuja relação de banho (RB) é muito baixa, com uma média de gasto em torno de um litro de banho para cada quilograma (RB = 1:1). Este processo é denominado no mercado como “PAD-BATCH” (Figura 1).

Figura 1. Processo “PAD-BATCH”

Fonte: www.erbatech.de

A partir dessa observação, surgiu-se o interesse em estudar uma metodologia semelhante em termos de consumo e aplicável industrialmente em peças

confeccionadas de tecido de algodão nos processos por esgotamento efetuados em lavanderia.

A proposta do estudo foi utilizar pigmentos naturais em uma produção mais limpa, diminuindo o consumo de água em tingimentos e criando condições para tentar reduzir os poluentes nos efluentes gerados nos tingimentos. Baseando-se no estudo de Oliveira e Von Sperling (2005), onde foi comprovado que 166 estações de tratamento de efluente situadas no Brasil possuem desempenho insatisfatório, a busca por processos de coloração (tingimento) com foco na sustentabilidade torna-se obrigatória, principalmente pelo fato destes processos exigirem um grande consumo de água e, conseqüentemente, gerarem maiores quantidades de efluentes com diversos contaminantes como dispersantes, tensoativos, silicatos, fixadores, dentre outros (ROSA, 2010).

O estudo foi conduzido em processos para serem aplicados em peças produzidas com algodão 100%, fibra que abrange uma parcela significativa na produção de têxteis no Brasil, conforme dados dispostos na Tabela 1.

Tabela 01. Tecidos de algodão *versus* outros tecidos produzidos no triênio 2010/2012

	2010	2011	2012
Algodão	1205570	1051023	1006779
Viscose	38898	21727	21308
Poliéster	136893	127537	120759
Poliamidas	6447	6389	6770

Fonte: Prado (2013, em toneladas)

2. OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho foi o desenvolvimento de um método de tingimento com pigmento natural em peça de roupa confeccionada em tecido 100% algodão, aproveitando o potencial de hidrofiliidade favorável à aplicação do corante oferecido pelo tecido de algodão "pronto para tingir" (PT). O método foi desenvolvido baseando-se em um consumo de uma quantidade de água próxima à quantidade consumida em tingimentos efetuados pelos processos de "pad-batch".

2.1. Objetivo geral

Desenvolver um método de tingimento com pigmento natural Urucum em peça de roupa confeccionada, em tecido de malha de algodão, por meio de um processo de lavanderia cujo consumo de água seja o menor possível.

2.2. Objetivos específicos

- Adequar um processo que possa ser efetuado em equipamentos de lavanderia sem necessidade de modificações físicas do equipamento;
- Gerar a menor quantidade possível de efluentes;
- Avaliar a solidez da cor e solidez à lavagem dos tingimentos efetuados e compará-los com os parâmetros aceitos no mercado e;
- Analisar o volume consumido de água e insumos químicos.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Atributos tais como sustentabilidade, ecologia industrial, eco-eficiência e química verde estão norteando o desenvolvimento da próxima geração de materiais, produtos e processos, empresas e governos cada vez mais se apoiam no desenvolvimento sustentável e temas relativos ao esgotamento das reservas de petróleo e o aquecimento global fazem parte das discussões do dia a dia. Avizinha-se o momento em que seremos forçados a adotar os recursos renováveis para satisfazer nossas necessidades de materiais de uma forma sustentável (VIANA, 2012; KHALIL, BHAT e YUSRA 2012).

3.1. Água

Sousa (2014) adverte que, para compreender a necessidade do reconhecimento e efetivação da água enquanto direito básico da humanidade, é necessário analisar a relevância e a influência que a água exerce na manutenção do equilíbrio ecológico do ecossistema terrestre observando-se também a atual situação em que se encontram os recursos hídricos em nosso planeta.

A água, enquanto recurso natural constituinte e integrante em grande proporção na composição física dos seres vivos em geral, apresenta-se como indispensável para promoção da vida, além de ser a matéria-prima elementar que viabiliza o processo de desenvolvimento socioeconômico da população humana por meio de seus usos múltiplos. Dentre estes usos, se sobressaem o consumo humano e animal quando utilizada para satisfação das primeiras necessidades vitais

(dessedentação, alimentação e higiene), e o consumo industrial quando apropriada como bem intermediário ou final na produção econômica; usos que exigem uma água de qualidade, ou seja, potável, entendida como aquela isenta de microrganismos nocivos que possa ser consumida sem riscos de ocasionar doenças. Desta forma, a relevância dos recursos hídricos se expressa pelas diversas funções que os mesmos exercem para que diversos ecossistemas (aquáticos e terrestres) tenham vida assegurando a existência e qualidade de vida humana, vegetal e animal na terra.

Em face dessa necessidade natural pela água sua demanda não é totalmente garantida, apesar de o ciclo hidrológico permitir a manutenção da água na biosfera terrestre, isto em razão de que não é suficiente a sua existência sendo preciso que chegue aos locais necessitados e que tenha sua potabilidade garantida. Situação constatada quando se verifica que mesmo a superfície terrestre sendo recoberta em mais da metade por água (em torno de $\frac{3}{4}$), deste total apenas 2,5 % constituem águas doces às quais são aproveitáveis para o consumo humano e animal, compondo-se o restante 97,5 % água salgada cujos métodos científicos que propiciam sua apropriação como bem de produção e consumo, são incipientes e de alto custo. Ademais, da diminuta quantidade de águas doces, 68,9% encontram-se em geleiras e coberturas permanentes, 29,9% são subterrâneas e somente 0,3% compreendem as águas continentais superficiais (lagos e rios).

Curi e Santos (2008) acrescentam que a distribuição física da água no mundo e no Brasil não é homogênea, a Ásia e a América Latina possuem a maior parte dos potenciais hídricos. Já a África, Oceania e América Central apresentam os menores

volumes hídricos existentes. Ainda conforme os autores em relação ao Brasil ser reconhecido por apresentar uma “relativa abundância” de águas doces, sua distribuição não se dá em consonância com a densidade demográfica do país, ou seja, o volume maior dessas águas (78%) encontram-se na região amazônica onde a concentração populacional é pequena, ao passo que o sudeste que tem a maior concentração populacional e industrial em relação às outras regiões possui apenas 6% do volume nacional; destacando-se também a região semiárida do nordeste que apresenta conflitos hídricos em razão, dentre outros fatores, a característica irregularidade de chuvas.

Tal realidade, tanto no nível mundial quanto nacional revela o papel fundamental que o acesso à água de qualidade representa, não só para os brasileiros como para toda humanidade, em razão de ser insumo vital para que se possa garantir o equilíbrio ecológico planetário e consequentemente uma sobrevivência digna de qualidade para todas as populações.

3.2. A água na indústria têxtil

Inserida em um cenário de alta competitividade, a indústria têxtil assume uma posição destacada juntamente com a agricultura e o turismo e movimentou US\$ 526,7 bilhões (PRADO, 2013).

Em busca de atender a respostas cada vez mais rápidas e a lotes cada vez mais personalizados, a indústria de confecção vem buscando estratégias em conformidade com essas demandas.

No que diz respeito ao tingimento das roupas, nota-se uma rápida mudança nos padrões de acabamentos e cores solicitadas dentro de uma mesma estação para atender os desejos dos clientes. Para esse atendimento, tem-se utilizado tingimento em peças já confeccionadas com uso de parâmetros técnicos adequados.

Essa tecnologia apresenta reais vantagens tais como a possibilidade de desenvolver todas as etapas do processo de fabricação da roupa, deixando o tingimento como uma etapa final de acordo com as tendências do mercado; diminuição dos retalhos coloridos visto que é empregado tecido PT (pronto para tingir); possibilidade de trabalhar com lotes pequenos podendo criar efeitos visuais muito diferenciados em uma base já costurada; otimização na compra de tecidos, visto que estando no estado PT, há possibilidade de comprar dentro do lote econômico sem perda de tecidos por mudança de tendência da cor da moda; diminuição dos espaços de estocagem de tecidos de diferentes cores; maior facilidade para controlar os inventários de tecido; padronização na compra de linhas de costura e menores inventários.

Os principais produtos têxteis são alvejados, tintos, lavados ou estampados e para tanto necessitam, em média, de 75 litros de água para cada quilograma de substrato tratado. Devido à escassez de água e aos altos custos de tratamento, torna-se essencial uma busca por métodos alternativos que permitam a menor geração possível de efluentes, almejando a sustentabilidade nos diversos processos de coloração (IGNACHEWSKI et al, 2010; RUSCHIONI, 2007; RIERA-TORRES, 2011).

Devido à maior cobrança na utilização racional dos recursos naturais por parte dos órgãos ambientais, a indústria têxtil tem buscado modernizar seus equipamentos e buscar produtos e processos ecologicamente corretos, visando uma menor utilização desses recursos.

A água na indústria têxtil já está sendo avaliada como um componente a mais nas planilhas de custos das empresas e não somente como um veículo no processo de tingimento de custo irrisório. Observa-se que a indústria vem buscando e investindo cada vez mais em maneiras de se reutilizar os banhos de descarte diretamente ou indiretamente. Vem também procurando utilizar o mínimo de tratamento possível, de forma a se viabilizar o reuso sem afetar a qualidade do produto final ou aumentar excessivamente o custo do processo (TWARDOKUS, 2004; ROSA, TAMBOURGI e SANTANA, 2012).

Um dos problemas ambientais mais relevantes é a utilização de corantes sintéticos em diversos ramos da tecnologia de ponta, entre eles a indústria têxtil. Devido à produção em grande escala e a aplicação extensiva, esses corantes sintéticos podem causar, se não forem tomados os cuidados necessários, considerável poluição ambiental e sérios fatores de risco à saúde humana (MARTINEZ-HUITLE e BRILLAS, 2009).

3.2.1. Os efeitos decorrentes da utilização da fibra de algodão

No mundo, o algodão é a fibra natural mais importante da indústria têxtil totalizando 40% de toda produção têxtil. O consumo de um produto produzido a

partir da fibra de algodão impacta diretamente o recurso água do país onde este é plantado e processado, principalmente nas regiões mais secas. Estes impactos da produção do algodão no meio ambiente são facilmente visíveis e têm diferentes efeitos. De um lado os efeitos do esgotamento da água, por outro lado os efeitos sobre a qualidade da água.

O consumo global de água para o cultivo do algodão requer 256 Gm³ por ano (CHAPAGAIN et al, 2006) . O desenvolvimento desenfreado das grandes cidades sem que haja um planejamento ambiental rigoroso tem propiciado um aumento na contaminação dos solos e lençóis freáticos. Esse crescimento populacional associado ao aumento da demanda industrial provoca uma situação caótica, uma vez que as águas residuais produzidas atingem grandes volumes. O tratamento desses efluentes contendo compostos orgânicos de difícil degradação requer a utilização de tecnologias adequadas a fim de apropriar os resíduos e minimizar os impactos ambientais por eles gerados (SOLANO, 2011).

3.3. Tingimento

Segundo Salem (2011), tingimento é uma modificação físico-química do substrato de forma que a luz refletida provoque uma percepção de cor. Os produtos que provocam essa percepção de cor são denominados matérias corantes que, por sua vez, tratam-se de compostos orgânicos capazes de colorir substratos têxteis, de forma que a cor seja relativamente resistente a luz e a tratamentos úmidos.

3.3.1. Corantes têxteis

Os corantes são substâncias classificadas quimicamente como Sistemas Cromógenos, capazes de refletir determinadas ondas eletromagnéticas de comprimento compreendido entre 400 e 720 nm (BILLMEYER e SALTZMAN, 1981). Existem várias classes de corantes e dentro de cada classe, vários tipos. Podem ter afinidade com uma ou várias fibras, porém todos interagem com o substrato por meio de dois tipos de ligação: ligações de hidrogênio e forças de Van der Waals. Além destas duas forças também pode haver ligações covalentes ou iônicas, dependendo do corante utilizado (JOHNSON, 1989).

3.3.1.1. Classificação

Zollinger (1991) postulou que, enquanto sistemas os corantes podem ser divididos em três principais grupos: auxocromos - grupos doadores de elétrons (NH_2 , OH); anti-auxocromos - grupos receptores de elétrons (NO_2 , COOH) e cromóforos - grupos lineares ou cíclicos com duplas ligações conjugadas, responsáveis pela ressonância ($-\text{N}=\text{N}-$; $\text{C}=\text{O}$). Entretanto, em 1996, a *International Union of Pure and Applied Chemistry*, (IUPAC), definiu o termo “auxocromo” como obsoleto. Na atualidade, em vez das denominações “auxocromo” e “anti-auxocromo”, a espectroscopia define os corantes em grupos cromóforos, os grupos responsáveis pela cor; grupos doadores de elétrons, os grupos de maior densidade eletrônica e grupos receptores de elétrons, os grupos de menor densidade eletrônica.

Podem ser classificados de acordo com sua estrutura e também do modo pelo qual é aplicado no substrato, pois em se tratando de grupos cromóforos verifica-se que um grupo, como por exemplo, a antraquinona, pode estar presente em várias classes. Os demais principais grupos cromóforos são o Azo, Antraquinona, Trifenilmetano, Azina, Oxazina, Nitro, Tiazol e Stilbenos (ABRAHART, 1977).

No Quadro 1 estão retratados os principais corantes, suas aplicações principais e secundárias sobre as fibras mais utilizadas nos substratos para a linha de vestuário, a solubilidade em água e o método ideal de dissolução recomendado pelos principais fabricantes.

Ainda de acordo com Salem (2011), existem também os pigmentos, substâncias com poder colorístico, insolúveis em água e que não possuem afinidade tintorial com nenhum tipo de fibra têxtil. Por isso, são aplicados na superfície da fibra e fixados mediante resinas sintéticas.

Quadro 1. Classificação dos principais corantes têxteis

CORANTE	APLICAÇÃO		SOLUBILIDADE EM ÁGUA	MODO DE DISSOLUÇÃO
	PRINCIPAL	SECUNDÁRIA		
Diretos	Celulósicas	Nitrogenadas	Solúvel	Água a fervura
Reativos				Água na temperatura de aplicação do corante pelo processo por batelada
À tina		Poliéster e Viscose	Insolúvel	Dispersão aquosa a 60°C
Sulfurosos		-		Dispersão aquosa a 60°C, preferencialmente com o banho de tingimento.
Dispersos	Poliéster e Acetato	Poliamida	Pouco solúvel	Dispersão aquosa a 60°C
Ácidos	Nitrogenadas	-	Solúvel	Água a fervura
Básicos	Acrílicas	-		Adição de 0,7 mL de ácido acético para cada grama de corante, seguido da adição de água a fervura.

Fonte: Adaptado de ROSA, 2013.

3.3.2. Corantes naturais

Corante natural é uma substância corada extraída apenas por processos físico-químicos (dissolução, precipitação, entre outros) ou bioquímicos (fermentação) de uma matéria-prima animal ou vegetal. Esta substância deve ser solúvel no meio líquido onde vai ser mergulhado o material a tingir. Podem ser classificados em várias categorias consoantes ao respectivo modo de aplicação, apresentando-se como corantes naturais diretos, à tina, ao mordente ou ainda incluídos em conceito de corantes híbridos (KOMBOONCHOO e BECHTOLD, 2009).

3.3.2.1. Diretos

Salem (2011) chama os corantes diretos de substantivos por terem grande substantividade com as fibras celulósicas, em geral fibras de celulose como o algodão e o linho, sem que estas necessitem de um tratamento especial. Araújo (2007) indica que os corantes naturais diretos podem ser usados com materiais proteicos de origem animal, como a seda e a lã, em virtude de formarem ligações iônicas com os resíduos carboxilato das proteínas. Poucos corantes naturais pertencem a esta categoria. Nos corantes diretos pode incluir-se um grupo particular de corantes, os corantes ácidos, os quais são aplicados num banho ácido, em virtude de possuírem grupos ionizáveis na sua constituição.

3.3.2.2. À tina

Este é um grupo especial de corantes aplicado à lã e ao algodão, mas principalmente a este último. O corante é aplicado numa forma química reduzida, incolor, chamada de forma leuco-derivados, que depois de aplicado ao substrato têxtil, é transformado na forma corada por oxidação com o oxigênio do ar ou por adição de agentes oxidantes (SALEM, 2011; ARAÚJO, 2007). Nas preparações tradicionais com corantes naturais, como por exemplo, o índigo, a forma leuco-derivada é obtida por putrefação da matéria vegetal em meio levemente básico. A forma leuco-derivada é solúvel no meio aquoso básico e penetra no material a ser tingido. A oxidação com o oxigênio do ar origina a forma colorida, insolúvel, que fica depositada no substrato a ser tinto. Pelo fato de não haver uma ligação química

entre o corante e o substrato têxtil, lavagens sucessivas do tecido levam ao decaimento da cor.

3.3.2.3. Híbrido

Komboonchoo e Bechtold (2009) basearam seus estudos no conceito de corantes híbridos. Para isso modificaram quimicamente o corante índigo natural para obterem o índigo sulfonado e aplicá-lo em lã como corante ácido.

De acordo com os autores, para se obter um corante híbrido pode-se seguir duas estratégias. Na primeira delas, os corantes naturais são modificados por meio de reações químicas e aplicados em combinação com outros corantes naturais. Na segunda estratégia, corantes naturais são combinados com corantes sintéticos derivados de recursos não sustentáveis. Foi mostrado como o processo de tingimento híbrido é capaz de reduzir o número de etapas dos processos de tingimento e os custos dos processos de tingimento e de outros processos de engenharia envolvidos, incluindo os custos de tratamento de água.

Além disso, os autores enfatizaram que os consumidores são receptivos ao conceito de corantes híbridos porque sua relação com recursos sustentáveis fica bastante clara.

3.3.2.4. Alguns dos principais corantes naturais

Muitos têm sido os corantes naturais utilizados para tingir tecidos. No entanto, embora o mundo das plantas esteja cheio de cor, poucas substâncias coradas possuem as características de estabilidade à luz e à lavagem adequadas à sua aplicação aos têxteis. Do ponto de vista químico, não existe uniformidade nos corantes de origem natural. Contudo algumas famílias químicas estão mais representadas do que outras. Tal é o caso das naftoquinonas, das antraquinonas e dos flavonóides (Figura 2).

Figura 2. Estrutura da naftoquinona (a), antraquinona (b) e flavonóide (c).

3.3.2.5. Garança

O corante vegetal vermelho mais importante foi sem dúvida a garança ou ruiva (em inglês *madder*), extraída da *Rubia tinctorum*, planta conhecida pelos nomes de ruivados-tintureiros, garança ou ainda granza. A arte de tingir com a garança parece ter tido origem no Oriente e, através dos impérios egípcio e persa, ter atingido a civilização greco-romana. Várias espécies de ruiva podem ser utilizadas em tinturaria

mas a mais popular é a *Rubia tinctorium*, que se encontra no estado selvagem na Palestina e no Egito e é muito abundante também na Ásia e na Europa. O corante está concentrado nas raízes da planta, principalmente nas raízes mais antigas. As raízes eram arrancadas, em seguida, lavadas para se retirar a terra que viesse agarrada, secas e cortadas em pequenos pedaços. O corante era extraído com água e separado da solução e depois era seco. O tingimento com a ruiva permitia obter tecidos de um vermelho intenso e brilhante conhecido por “vermelho da Turquia” (em inglês *Turkey red*), sem comparação com os outros corantes da altura. Era um corante muito popular no Médio Oriente, tendo sido identificado em tecidos encontrados em túmulos egípcios e no deserto da Judeia. A adição de mordentes diferentes permitia obter várias cores. Assim, aplicando sais de alumínio podiam obter-se vermelhos; com sais de alumínio e ferro, a cor castanha; com sais de cálcio, azuis avermelhados; com sais de ferro, púrpura escuro; e com sais de estanho, laranja-amarelado (ARAÚJO, 2007).

Quimicamente a garança é uma mistura complexa de antraquinonas, sendo majoritária a alizarina, a purpurina e a pseudopurpurina (Figura 3).

Figura 3. Estrutura química dos constituintes da garança

3.3.2.6. Urucum, achiote ou anato

De acordo com Harder et al (2007) existem vários nomes para o arbusto que pode atingir o porte de uma pequena árvore de 10 m, e cujo nome sistemático é *Bixa orellana* L. Além deste nome botânico outros sinónimos são ainda encontrados na literatura: *Bixa acuminata*, *B. americana*, *B. odorata*, *B. platycarpa*, *B. purpurea*, *B. tinctoria*, *B. upatensis*, *B. urucurana*, *Orellana americana*, *O. Orellana*.

O nome botânico desta planta é uma homenagem ao explorador espanhol do século XVI, Francisco de Orellana, lugar-tenente de Francisco Pizarro e que foi o primeiro europeu a navegar no Amazonas. Originária da América do Sul, sendo o Brasil o principal produtor e exportador, desenvolve-se também na América Central e nas Filipinas, onde foi introduzida pelos espanhóis. Vários são os nomes comuns desta planta: urucu, de origem Tupi e que por analogia deu em francês os termos *rocu*, *roucu* e *roucou*, *orucu*, *annatto* (de origem do Caribe), *achiote* (de origem de Náhuati, México), *achicote*, *tinctoria*, *urucu-ola-mata*, *urucuuba*, *urucuzeiro*, *uru-uva*, *bija*, *bixa* e *colorau* (de origem de Portugal) (ARAUJO, 2007).

De acordo com Piccoli (2008), urucu (tupi transliterado uru-ku = "vermelho"), ou urucum (Figura 4), é o fruto do urucuzeiro, arvoreta da família das bixáceas (*Bixa orellana*) que, segundo Alves (2005), chega a atingir até 6 metros de altura e é nativa na América tropical. Possui grandes folhas de cor verde-claras e flores rosadas com muitos estames. Os frutos são cápsulas armadas por espinhos maleáveis, que se tornam vermelhas quando maduras. Então se abrem e revelam

pequenas sementes dispostas em série, 30 a 50 por fruto, envoltas em arilo também vermelho.

Figura 4. Fruto do urucu

Fonte: Foto tirada no Jardim Botânico, RJ, por Poliane Latta.

O extrato de urucum é comercializado em diversas formas físicas, incluindo o pó seco, emulsões de propilenoglicol, soluções e suspensões de óleo e soluções aquosas alcalinas contendo de 0,1 % a 30 % de corante ativo calculado como bixina ou norbixina, como apropriado. É utilizado em produtos como cor pura, resultando em tonalidades que variam do amarelo manteiga ao pêssego, dependendo do tipo de preparação de cor empregado e a coloração do produto (ALVES, 2005).

No Brasil é ainda conhecida por açafroa, designação que pode levar a alguma confusão, pois em Portugal o mesmo nome é utilizado para designar o açafão bastardo (*Carthamus tinctorius*). O princípio corante é obtido das sementes que, após serem esmagadas, são mergulhadas em água. Por evaporação desta solução aquosa obtém-se uma massa de intensa cor vermelha- alaranjada que é utilizada para tingir tecidos de algodão e lãs. A cor é devida à presença de vários apocarotenóides, sendo a bixina o majoritário. A bixina é instável e em solução isomeriza ao isomero trans, a isobixina (Figura 5).

Figura 5. Estrutura química da bixina e seu isomero

3.3.2.7. Açafão

A açafão, ou açafão bastardo, (*Carthamus tinctorius*) é uma erva de caule esbranquiçado e folhas alternas espinhosas. É originária do Oriente e cultivada em Portugal na zona do Algarves onde é conhecida por açafior (LIVINGSTONE, 1987). O corante é obtido por lavagem das flores amarelo-avermelhadas com água. A matéria corante é formada pela cartamina, cuja estrutura foi durante muito tempo atribuída a uma calcona glucosilada

3.3.2.8. Gualda ou lírio-dos-tintureiros

Segundo Araujo (2007), a gualda (em inglês, weld) é o corante europeu conhecido há mais tempo, sendo usado no tempo de Júlio César por vários povos que habitavam as regiões a norte dos Alpes, como os gauleses. É extraído da planta *Reseda luteola* (gualda ou lírio-dos-tintureiros), que é uma erva bianual geralmente ereta. É frequente nos campos, searas, caminhos e pousios de Portugal. A matéria corante está espalhada por toda a planta, mas é mais concentrada nas sementes e ramos superiores. Produz o amarelo mais puro e mais estável. O princípio corante majoritário é um flavonoide, a luteolina (Figura 6).

Figura 6. Estrutura química da luteolina

3.4. Moda e sustentabilidade

Segundo Vavolizza et al (2015), a indústria têxtil e de confecção brasileira enfrenta grandes problemas atualmente. Com poucos designers atuando em departamentos de produtos, predominam estilistas que baseiam seus trabalhos em tendências internacionais efêmeras. Impõe-se no mercado rapidez e agilidade, gerando alta rotatividade de produtos. No Brasil de dez anos atrás, a cadeia têxtil programava-se para duas coleções ao ano, há cinco anos para quatro coleções anuais e hoje tem-se o fenômeno do *Fast Fashion* que propõem lançamentos semanais para abastecer grandes lojas do varejo.

De acordo com Salcedo (2014) e com Schulte e Lopes (2008), *Fast Fashion*, moda rápida, é uma prática de grandes empresas internacionais de moda e redes de distribuição cuja meta é seduzir sua clientela graças à atualização constante do design de suas peças e aos baixos preços de seus produtos. Ao acelerar os lançamentos, acelera-se também a produção e, conseqüentemente, o descarte. Artefatos têxteis voltados para o lar, como cama, mesa, banho, estofados, cortinas e até o tecido vendido por varejistas e atacadistas entraram na mesma lógica de rapidez. A autora nos adverte que fala-se muito sobre os benefícios econômicos que a “Moda” (produto confeccionado que acompanha o comportamento humano) traz para a economia, mas pouco se fala sobre os malefícios associados a ela e sobre a urgência em buscar a sustentabilidade nesta indústria.

Se considerados os princípios estabelecidos para o desenvolvimento sustentável, ou seja, ser economicamente viável, socialmente justo e ecologicamente correto, fica visível o desafio encontrado para o desenvolvimento de produtos sustentáveis que atendam a cadeia de moda (SCHULTE; LOPES, 2008). Na contra mão deste modelo que como exposto privilegia o consumo e o lucro sem considerar os danos a natureza, várias propostas vêm se apresentando como alternativas para uma produção sustentável. Entre elas se destacam a proposta que Fletcher (2008) denominou *Slow Fashion*, análise do ciclo de vida do produto por Manzini e Vezzoli (2002) e a teoria baseado IE *Cradle to Cradle* de McDonough e Braungart (2002).

Conclui-se a partir do exposto que existe uma possibilidade de se pragmatizar aplicações práticas na solução dos problemas apresentados.

3.5. Etapas do beneficiamento têxtil

Segundo Chain (2014), o objetivo do beneficiamento têxtil é melhorar a aparência e as características físico-químicas dos substratos têxteis, dentre os principais as fibras, fios, tecidos planos, malhas e peças confeccionadas. Cada etapa dos processos varia em sua preparação de acordo com a finalidade destinada.

3.5.1. Preparação

Nesta etapa do beneficiamento têxtil são realizadas operações no substrato visando criar condições necessárias para que recebam coloração total ou parcial e, posteriormente, o acabamento. Nesta etapa são removidos óleos, ceras, pigmentos, cascames, marcações e sujeiras oriundas das etapas anteriores de fiação e tecelagem. Como exemplo, pode-se citar processos de limpeza, alveamento, pré-fixação e pré-mercerização, dentre outros.

3.5.2. Coloração

Tem por objetivo fornecer coloração parcial (processo de estamparia) ou total (processo de tingimento). Pode ser efetuada em substrato preparado previamente, no caso de peças confeccionadas, ou em substrato sem preparação prévia, como fios de urdume de índigo por exemplo.

3.5.3. Acabamento

Rosa (2013) divide os processos de acabamentos em Físicos e Físico-Químicos. Os principais acabamentos físicos são:

- a) Navalhagem – corte milimétrico de um *looping* formado no tecido, propiciando aspecto de veludo conhecido popularmente por Plush;
- b) Felpagem – esgarçamento dos fios, propiciando aspecto peludo e macio e;
- c) Lixagem – que propicia aspecto desgastado.

Os principais acabamentos físico-químicos são:

- d) Amaciamento – confere ao substrato maciez. São utilizados sais de ácidos graxos ou quaternários de amônio e podem ser, ou não, aditivados com micro emulsões de silicone, parafinas ou de polietilenos, muito utilizados em artigos de vestuário em geral;
- e) Anti-chama ou Ignífugo – aplicação de sais de Boro, Alumínio ou Fósforo, cuja finalidade é retardar a propagação da chama, usados em tecidos técnicos para laterais de porta de veículos, por exemplo;
- f) Impermeabilização – acabamentos com Fluorcarbonos ou misturas de Sabão de Sódio e Alumínio, para lonas, toldos e guarda-chuvas;

- g) Encorpamento – resinas acrílicas, amidos, acetato de polivinila e álcool polivinílico, são muito utilizados em acabamentos de tecidos para cintas abdominais, bojos de sutiãs e entretelas;
- h) Anti-esgarçamento – sais de sílica usados em tecidos plano com tendência ao esgarçamento, como tecidos de seda ou viscose;
- i) Anti-Microbiano – biguanidas, ácido peracético e hipoclorito de sódio são alguns dos mais usados na desinfecção e prevenção na proliferação de microorganismos;
- j) Biopolimento – Feito principalmente com enzimas celulases sobre tecidos de Algodão ou Lyocel.

3.6. Processos de beneficiamento

De acordo com Bastian (2009), Salem (2010) e Rosa (2013), há dois principais tipos de processos no beneficiamento têxtil, o Processo Contínuo e o Processo por Batelada, este último também conhecido por Processo de Esgotamento. Um terceiro também é possível, aplicando-se uma parte de cada um dos dois principais, o Processo Semi-Contínuo. A seguir é apresentada a descrição das principais características destes processos.

3.6.1. Processo contínuo

Utilizado principalmente para alta metragem de produção. Aplicações de amaciante em tecidos no equipamento híbrido *foulard*/rama, ou ainda na produção de tecidos de índigo, são exemplos de aplicação deste processo. Possui consumo de água relativamente baixo quando comparado ao consumo exigido nos processos por batelada.

O *foulard* é equipamento presente em todos os processos contínuos. Nele é efetuada a impregnação, *Padding* em inglês, nome que gerou o jargão industrial para os processos contínuos. Os principais são:

- a) PAD-Steam – impregnação seguida de vaporização (tingimentos);
- b) PAD-Dry – impregnação seguida de secagem (amaciamento) e;
- c) PAD-Sky – Impregnação seguida de oxidação ao ar (índigo).

3.6.2. Processo por batelada

Utilizado principalmente para baixa/média metragem de produção. Lavagens, alvejamentos e tingimentos são exemplos de aplicação deste processo. Possui consumo de água mais alto quando comparado ao consumo exigido nos processos contínuos.

Os equipamentos necessários para este tipo de processo são as barcas, *jiggers* e *flows*, onde cada um possui uma relação de banho, ou seja, uma quantidade de água necessária para beneficiar um quilograma de substrato.

3.6.3. Processo semi-contínuo

Este tipo de processo possui uma etapa efetuada em um *foulard*, equipamento presente nos processos contínuos, seguido de um pós-tratamento que pode ser efetuado em um dos equipamentos utilizados nos processos por batelada, ou ainda ser efetuado uma etapa no *foulard*, seguida de repouso por tempo pré-determinado e finalizado em uma lavadora contínua.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

O fato de apoiar-se em que, nos processos por foulardagem, o banho de tingimento é transferido para o substrato têxtil pela pressão exercida entre o rolo superior e o inferior, pode-se inferir que a ação mecânica exercida entre as peças nas condições da máquina de lavar aproximar-se-á dos mesmos resultados.

Os experimentos foram realizados em réplica, no laboratório da Empresa Donacor Beneficiamento, especializada em tingimentos de peças confeccionadas.

Foram planejados três experimentos utilizando-se as receitas de produção da empresa, sendo:

- um tingimento com corante Direto, *C.I. Direct Red 23* (DR23);
- um tingimento com Pigmento Urucum pelo processo convencional; e
- um tingimento com Pigmento Urucum pelo processo experimental proposto neste trabalho.

4.1. Equipamentos

Figura 7. Balança analítica Gehaka AG 200

Figura 8. Espectrofotômetro

Figura 9. Pespirômetro

Figura 10. Estufa

Figura 11. Lavadora Frontal

Figura 12. Centrifuga

Figura 13. Secador

4.2. Reagentes

C.I. Direct Red 23;
Enzima Celulase (Texpal);
Carbonato de Sódio (Carbocloro);
Umectante (Rinaldi);
Igualizante (Splashcor);
Cloreto de Sódio (Manchester);
Resina reactante (QI Especialidades);
Amaciante catiônico (Dystar);
Pigmento natural Urucum (Etnobotânica);
Detergente não-aniônico (Rinaldi);
Metassilicato de Sódio (Manchester);
Hidróxido de Sódio 50 °Bé (Lav Têxtil);
Peróxido de Hidrogênio 35% (Lav Têxtil);
Resina Acrílica (CHT) e;
Micro emulsão de silicone (Rinaldi).

4.3. Materiais diversos

Amostras de tecido de ½ malha feito com fio cardado 30/1 Ne, com massa por metro quadrado igual a 160 gramas, pronto para tingimento (PT), medindo 35 x 60 cm e;

Tecido multifibra para a execução dos ensaios de solidez.

4.4. Métodos

Foram efetuados três processos distintos de tingimentos, todos em réplica, em tecido de malha 100% algodão PT, sendo:

- 1) Corante direto *C.I. Direct Red 23* em processo convencional com relação de banho de 1:10;
- 2) Pigmento Natural Urucum em processo convencional com relação de banho igual a 1:10 e;
- 3) Pigmento Natural Urucum em processo com baixo consumo de água.

Para se criar um referencial fixo adotou-se o mesmo percentual de corante em todos os tingimentos, sendo 1% sobre a massa do substrato. Adotando-se a Equação 1 descrita em Rosa (2010), calculou-se a massa de corante necessária para os tingimentos.

$$M_{\text{Corante}} = M_{\text{Substrato}} \cdot \% \cdot 100^{-1} \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

M_{Corante} = massa calculada do corante, em gramas;

$M_{\text{Substrato}}$ = massa do substrato a ser tinto, em gramas, e;

% = percentual de corante.

Para o cálculo dos insumos auxiliares com quantidades expressas em porcentagem, calculou-se a massa utilizando-se a Equação 2.

$$M_{\text{Insumo}} = M_{\text{Substrato}} \cdot \% \cdot 100^{-1} \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde:

M_{Insumo} = massa calculada do insumo auxiliar, em gramas;

$M_{\text{Substrato}}$ = massa do substrato a ser tinto, em gramas, e;

% = percentual do insumo auxiliar.

Para o cálculo dos insumos auxiliares com quantidades expressas em gramas por litro, calculou-se a massa utilizando-se a Equação 3.

$$M_{\text{Insumo}} = M_{\text{Substrato}} \cdot \text{RB} \cdot 1000^{-1} \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde:

M_{Insumo} = massa calculada do insumo auxiliar, em gramas;

$M_{\text{Substrato}}$ = massa do substrato a ser tinto, em gramas, e;

RB = relação de banho utilizada.

As intensidade colorísticas ($K \cdot S^{-1}$) das amostras foram comparadas por espectrofotometria, sob iluminante D65, 10°, Sistema CIELab (Figura 14). Os testes de solidez à água e aos suores ácido e alcalino foram executados segundo as normas ABNT NBR ISO 105-E01:2011 (água) e ABNT NBR ISO 105-E04:2009 (suor ácido e alcalino).

Figura 14. Sistema CIELab (MINOLTA, 2007)

As medições dos ensaios de solidez das amostras, alterações e transferência foram avaliadas por espectrofotometria sob iluminante D65, 10°. Antes dos ensaios, as amostras foram condicionadas durante 24 horas numa atmosfera padrão de temperatura 20 ± 2 °C e umidade relativa de 65 ± 2 % (GUN e TIBER, 2011).

Para o cálculo do consumo de água utilizada nos processos por esgotamento, adotando-se “RB” como sendo a quantidade parcial de água em cada etapa e “Qt” a quantidade total de água de todas as etapas, temos a Equação 4, a seguir.

$$Qt = RB_1 + RB_2 + RB_3 + RB_n \quad (\text{Eq. 4})$$

Onde:

$Qt = L \cdot kg^{-1}$ (consumo em litros por quilograma de substrato processado)

Para o cálculo do consumo de água (Qt') utilizada no processo proposto neste estudo para o beneficiamento de um quilograma de substrato, adotando-se a massa específica da água em $1,0 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, “ qP_{Ac} ” como sendo a porcentagem de resina acrílica, “ qP_{Pig} ” a porcentagem de pigmento e “ qP_{Sil} ” a porcentagem de silicone, temos a Equação 5.

$$Qt' = RB + 1,45 - [(qP_{Ac} + qP_{Pig} + qP_{Sil}) \cdot 10^{-2}] \quad (\text{Eq. 5})$$

Onde:

$Qt' = L \cdot kg^{-1}$ (consumo em litros por quilograma de substrato processado)

4.5. Procedimentos

Os tingimentos foram efetuados seguindo-se as especificações dos fornecedores e os processos realizados nas dependências da Donacor, conforme procedimentos descritos a seguir.

4.5.1. Tingimento com corante direto por esgotamento

Na Tabela 2, a receita do tingimento efetuado com corante direto em relação de banho igual a 1:10, seguida pelo gráfico do respectivo processo (Figura 15) e a descrição detalhada do mesmo.

Tabela 2. Receita do tingimento com o C.I. Direct Red 23

Etapa	Insumos	Quantidade
A	Umectante não iônico (g.L ⁻¹)	1,00
B	Igualizante (g.L ⁻¹)	1,00
C	C.I. Direct Red 23 (%)	1,00
D	Cloreto de Sódio (g.L ⁻¹)	15,00
E	Resina Reactante (g.L ⁻¹)	1,80
F	Amaciante Catiônico (%)	4,00

Figura 15. Gráfico de tingimento com o C.I. Direct Red 23

4.5.1.1. Processo de tingimento

- Calcular e pesar todos os produtos descritos na receita (Tabela 2);
- Carregar a máquina e encher com RB 1:10
- Subir rapidamente à 60 °C;
- Adicionar o umectante e o igualizante (AB);
- Manter 5 min x 60 °C;
- Adicionar o corante (C);
- Manter 5 min x 60 °C;
- Subir a temperatura para 90 °C em 15 min;
- Adicionar 1/3 de Cloreto de Sódio (D), manter 5 min x 90 °C;
- Adicionar 1/3 de Cloreto de Sódio (D), manter 5 min x 90 °C;
- Adicionar 1/3 de Cloreto de Sódio (D), manter 30 min x 90 °C;
- Soltar o banho.
- Encher com RB 1:10 e enxaguar a frio durante 5 min;
- Soltar o banho.

- Encher com RB 1:10 e adicionar a resina reactante (E);
- Subir a temperatura para 40°C e manter por 10 min x 40 °C;
- Soltar o banho.
- Encher com RB 1:10, adicionar o amaciante (F) e tratar durante 5 min a frio;
- Soltar o banho

4.5.2. Tingimento com pigmento urucum por esgotamento

Na Tabela 3, a receita do tingimento efetuado com pigmento urucum em relação de banho igual a 1:20, seguida pelo gráfico do respectivo processo (Figura 16) e a descrição detalhada do mesmo.

Tabela 3. Receita do tingimento com o Urucum

Etapa	Insumos	Quantidade
A	Detergente não-iônico (g.L ⁻¹)	1,00
	Metassilicato de Sódio (g.L ⁻¹)	1,00
	Hidróxido de Sódio 50° Bé (g.L ⁻¹)	2,00
	Peróxido de Hidrogênio 35% (g.L ⁻¹)	4,00
B	Resina Reactante (%)	4,00
C	Pigmento Urucum (%)	1,00
D	Cloreto de Sódio (g.L ⁻¹)	10,00
E	Resina Acrílica (%)	4,00
F	Amaciante (%)	4,00

Figura 16. Gráfico de tingimento com o Urucum

5.3.2.1. Processo de tingimento

Calcular e pesar todos os produtos descritos na receita (Tabela 3);

Carregar a máquina e encher com RB 1:20

Adicionar o detergente, o metassilicato, o hidróxido de sódio e o peróxido de hidrogênio (A);

Subir em 20 min até 80 °C, manter 10 min a 80 °C;

Soltar o banho.

Encher com RB 1:20, adicionar a resina reactante (B) e tratar durante 10 min a frio;

Soltar o banho.

Encher com RB 1:20

Adicionar 1/2 do Pigmento Urucum (C), manter 5 min x frio;

Adicionar 1/2 do Pigmento Urucum (C), manter 5 min x frio;

Subir até 60 °C em 10 min;

Adicionar 1/2 de Cloreto de Sódio (D), manter 5 min x 90 °C;

Adicionar 1/2 de Cloreto de Sódio (D), manter 15 min x 90 °C;

Soltar o banho.

Encher com RB 1:20

Adicionar a resina acrílica e (E) manter por 10 min a frio;

Soltar o banho.

Encher com RB 1:20, tratar durante 5 min a frio;

Encher com RB 1:20, adicionar o amaciante (F) e tratar durante 5 min a frio;

Soltar o banho

4.5.3. Tingimento com pigmento urucum por processo especial

Na Tabela 5, a receita do tingimento especial efetuado com pigmento urucum, com relação de banho igual a 1:10 somente na etapa de amaciamento, seguida pelo gráfico do respectivo processo (Figura 17) e a descrição detalhada do mesmo.

Tabela 4. Receita do tingimento especial com o Urucum

Etapa	Insumos	Quantidade
A	Resina Acrílica (%)	10,00
	Pigmento Urucum (%)	1,00
	Emulsão Silicone (%)	2,00
B	Amaciante (%)	4,00

Figura 17. Gráfico de tingimento especial com o Urucum

4.5.3.1. Processo de tingimento

Calcular e pesar todos os produtos descritos na receita (Tabela 5);

Adicionar o substrato previamente impregnado com 45% de água em relação à sua massa e 1/3 da mistura (A) ligante, pigmento e silicone, manter por 5 minutos a frio;

Adicionar 1/3 da mistura (A) ligante, pigmento e silicone, manter por 5 minutos a frio;

Adicionar 1/3 da mistura (A) ligante, pigmento e silicone, manter por 20 minutos a frio;

Colocar no secador à 70 °C durante 50 minutos;

Carregar a máquina e encher com RB 1:10;

Encher com RB 1:10, adicionar o amaciante (B) e tratar durante 5 min a frio;

Soltar o banho.

4.5.4. Índices de solidez da cor

Foram executados ensaios de solidez da cor à água segundo norma ABNT NBR ISO 105-E01:2011 e de solidez ao suor, segundo norma ABNT NBR ISO 105-E04:2009.

Os itens transferência e alteração foram obtidos por leitura espectrofotométrica (Datacolor SF 650 Plus), sob iluminante D65, 10°, com notas de escala 1 a 5, sendo 1 o pior resultado e 5, o melhor.

Os testes de solidez à luz foram executados pela empresa CHT Bezema, em ensaio baseado na NBR ISO 12997.

A avaliação também foi executada por espectrofotometria, utilizando-se o mesmo procedimento anterior, para os ensaios de solidez à água forte e ao suor.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste tópico estão descritos os resultados dos tingimentos efetuados com o corante direto, com o pigmento pelo processo convencional e com o pigmento efetuado pelo processo especial. Também estão descritos os resultados dos ensaios de solidez, juntamente com a discussão de todos eles.

5.1. Tingimentos

Após leitura efetuada por espectrofotometria, foram obtidos os resultados de $K \cdot S^{-1}$, os valores dos desvios parciais Da^* , Db^* , DL^* e os desvios totais DE. Os valores de a^* , b^* e L^* correspondem ao sistema CIELab, sendo a^* em relação ao eixo amarelo-azul, b^* em relação ao eixo verde-vermelho e L^* em relação ao eixo branco-preto. Os desvios totais DE são calculados pela Equação 6.

$$DE = [(Da^*)^2 + (Db^*)^2 + (DL^*)^2]^{1/2} \quad (\text{Eq. 6})$$

Todos os valores, $K \cdot S^{-1}$ e desvios, estão dispostos na Tabela 5 e o gráfico das intensidades colorísticas dos tingimentos, ilustrados na Figura 18. O ponto “zero”, com o qual as amostras tintas foram comparadas, refere-se à cor do tecido PT.

Tabela 5. Valores comparativos entre as amostras

Processo	$K \cdot S^{-1}$ em 520 nm	Da^*	Db^*	DL^*	DE
Direto Esgotamento	16,56	52,40	22,17	-50,83	76,29
Urucum Especial	5,56	53,16	19,02	-37,97	68,04
Urucum Esgotamento	1,91	33,37	6,87	-31,83	46,63

A intensidade colorística conseguida com a aplicação de 1% de corante sobre o peso do substrato tecido de malha algodão mostrou que o processo Direto Esgotamento foi 2,98 vezes maior que o Urucum Especial e foi 8,67 vezes maior que o Urucum Esgotamento. O processo Urucum Especial apresentou intensidade colorística 2,91 vezes maior que o Urucum Esgotamento.

Para valores DL^* positivo(+) a cor está mais clara e DL^* negativo (-) a cor está mais escura. Então temos o processo Direto Esgotamento mais escuro ($DL=-50,83$) que o Urucum especial ($DL=-37,97$) e este mais escuro que o Urucum Esgotamento ($-31,83$).

Para valores Da^* = Tonalidade, positivo (+) a cor está mais vermelha e Da^* negativo (-) a cor está mais verde, então o processo Urucum especial a cor ficou mais vermelha (53,16) que a cor obtida no processo Direto Esgotamento (52,40) e este mais vermelha que a cor obtida no processo Urucum Esgotamento (33,37).

Para valores Db^* = Tonalidade, positivo (+) a cor está mais amarela e Db^* negativo (-) a cor está mais azul, então a cor obtida no processo Direto Esgotamento a cor ficou mais amarela (22,17) que a cor obtida no processo Urucum Especial (19,02) este mais amarela que a cor obtida no processo Urucum Esgotamento (6,87).

Na Figura 18 são apresentadas as intensidades colorísticas das amostras, sendo a do processo Direto por esgotamento mais intensa que o processo Urucum

especial que, por sua vez, apresentou-se mais intensa que a do Urucum por esgotamento.

Figura 18. Intensidade colorísticas das amostras ($K \cdot S^{-1}$)

5.2. Consumo de água

O consumo de água relativo aos três processos foram calculados aplicando-se as equações 4 e 5. Os resultados estão dispostos na Tabela 6, a seguir.

Tabela 6. Consumo de água, em $L \cdot kg^{-1}$, nos três processos de tingimento

Processo	Equação	Consumo ($L \cdot kg^{-1}$)
Direto Esgotamento	$Q_t = RB_1 + RB_2 + RB_3 + RB_n$	50,00
Urucum Esgotamento		160,00
Urucum Especial	$Q_t' = RB + 1,45 - [(qR_{Ac} + qR_{Pig} + qR_{Sil}) \cdot 10^{-2}]$	11,32

Na Tabela 6 observa-se que o consumo de água obtido com a aplicação do processo Urucum Especial apresentou o menor consumo de água quando comparado com os demais processos analisados, sendo 11,32 litros por quilo no processo Urucum Especial, 50 litros por quilo no processo com Direto por Esgotamento e 160 litros por quilo no processo Urucum por Esgotamento.

5.3. Ensaio de solidez

O resultado dos ensaios efetuados, água e suor ácido e alcalino, estão dispostos nas Tabelas 7 e 8. Na Tabela 7, os resultados referem-se às avaliações de alteração e transferência do corpo de prova e a testemunha de algodão 100% alvejado, os resultados foram obtidos com notas de 1 a 5, sendo que 1 significa baixa e 5 alta solidez.

Tabela 7. Avaliações de alteração e transferência, corpo-de-prova e testemunha CO 100%

Tingimento	Ensaio	Alteração	Transferência
Pigmento - Esgotamento	Água	4/5	4/5
	Alcalino	5	5
	Ácido	4	4/5
Pigmento - Especial	Água	4	3/4
	Alcalino	4/5	3/4
	Ácido	4/5	3/4
Direto - Esgotamento	Água	4	4/5
	Alcalino	5	5
	Ácido	4/5	4/5

Na Tabela 8 observa-se que as notas de alteração e transferência de cor para ensaios água alcalino e ácido em corpo de prova e testemunha 100% algodão, não apresentaram diferenças significativas quando comparados os processos Direto Esgotamento, Urucum Esgotamento, Urucum Especial. Os resultados apresentaram no mínimo nota 4 para Alteração de cor (Pouquíssima alteração) e mínimo nota 3 / 4 para Transferência de cor (Pouca alteração).

Na Tabela 8, as avaliações de transferência na testemunha de tecido multifibra.

Tabela 8. Avaliações de transferência em testemunha tecido multifibra.

Tingimento	Ensaio	CA	CO	PES	PA	PAC	WO
Pigmento - Esgotamento	Água	5	5	5	5	5	5
	Ácido	5	5	5	5	5	5
	Alcalino	5	5	5	4/5	4/5	4/5
Direto - Esgotamento	Água	5	4	4/5	4/5	5	4/5
	Ácido	5	4	5	4/5	5	5
	Alcalino	5	5	5	4/5	4/5	4/5
Pigmento - Especial	Água	5	5	5	5	5	5
	Ácido	4/5	5	5	5	5	5
	Alcalino	4/5	4/5	5	4/5	5	5

Na Tabela 9 observa-se que as notas de transferências de cor para as fibras Acetato (CA), Algodão (CO), Poliéster (PES), Poliamida (PA), e Lã (WO) obtiveram no mínimo nota 4 / 5 (Pouquíssima alteração).

Na Tabela 9, os resultados das avaliações dos ensaios de solidez a luz, o processo Direto Esgotamento obteve a menor nota e Urucum por esgotamento e Urucum Especial notas superiores a 4.

Tabela 9. Resultados de solidez à luz

Solidez à luz			
Ensaio	24h	48h	72h
Direto Esgotamento	3/4	2/3	1/2
Urucum Especial	5	4/5	4
Urucum Esgotamento	5	5	5

Segundo Picolli (2008) para os padrões de notas mínimas exigidas ainda não se tem legislação ou publicação oficial no Brasil. Há somente procedimentos de testes e avaliação do resultados de acordo com uma escala padronizada baseado nas normas NBR. Sendo a aplicação do produto, necessidade dos usuários e critérios de qualidade os critérios para estabelecer os valores das notas a serem aplicadas.

5.4. Avaliação do tempo de processamento.

Quando analisa-se os tempos de processamento a partir das figuras 15, 16 e 17, é possível observar que o tempo de processamento do processo Urucum

Especial totalizou 85 minutos, o processo Direto 95 minutos e o Urucum tradicional 110 min. O ganho de tempo foi 10 minutos por processamento no processo direto e 25 minutos no processo Urucum tradicional. Percentualmente, obteve-se ganhos de 11,7 % e 29,4 %.

6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Se considerarmos a água potável como um direito humano essencial, visto que é um bem natural, vital e insubstituível. A regra de sustentabilidade pautada nos 5 R (reduzir, reusar, reciclar, respeitar e reflorestar), se tornou não só uma bandeira defendida na academia, mas no âmbito de toda sociedade. É imperioso que toda população do planeta, além do direito ao acesso, tenha o dever de cuidar da água de maneira consciente.

Fica claro que o Brasil, detentor de 16% da água potável do planeta, deve ter a obrigação moral e ética de uma legislação que sirva de exemplo para o mundo, demonstrando o cuidado com esse bem precioso.

Ainda há muito por ser feito. Esse trabalho concluiu que é possível reduzir o consumo de água em uma atividade tão presente nas vidas das populações do mundo todo, o tingimento de roupas. A roupa e sua cor traduzem na indumentária, o estado de espírito e o *status quo* daqueles que a vestem nas mais diversas partes do planeta. Uma atividade tão abrangente, com um consumo de água tão alto, nos estimulou a estudar métodos que contribuam para reduzir o consumo de água, assim como foi obtido por este trabalho.

A pesquisa proposta neste trabalho atendeu a redução preconizada pela prática sustentável e certamente servirá de ponto de partida para outros trabalhos, não só no campo de aplicação dos corantes naturais, bem como na busca do aperfeiçoamento na redução do consumo de água nos processo de coloração.

Este trabalho demonstrou que o processo Especial Urucum pode ser utilizado industrialmente como um método alternativo, no qual o consumo de água é menor do que no método tradicional utilizado atualmente. A redução no consumo de água foi de 38 litros por quilograma de roupa tingida em relação ao processo utilizando-se corante direto e 148,68 litros por quilograma quando comparado ao processo para pigmento efetuado atual e tradicionalmente.

A redução de água obtida pelo processo de Tingimento Especial Urucum representou 77% do consumo de água quando comparado ao processo de Tingimento Direto, ou seja, uma redução de 38,38 litros por quilo, e 93% quando comparado ao processo Tingimento por Esgotamento com Pigmento Urucum, ou seja, 148,68 litros por quilo.

Considerando a redução de água obtida no processo especial e levando-se em conta a produção de tecidos de algodão e viscose no ano de 2012, podemos inferir que se toda essa produção fosse tingida com o processo Direto, o potencial de economia estaria próximo a 40.000 m³ de água, volume este que poderia ser destinado ao consumo humano. Com base no consumo médio de 75 litros por dia por pessoa considerado pela ONU como ideal (*GLOBAL ISSUES*, 2015), esta economia representaria o consumo de um ano para uma população de 520 mil habitantes.

Os ensaios de solidez a água e ao suor nos três processos testados não apresentaram valores significativos, enquanto que os ensaios de solidez à luz do

processo Urucum Especial pelo método proposto demonstraram valores próximos da nota máxima.

A intensidade colorística do processo Urucum Especial ficou 3,65 unidades maiores do que o processo Urucum Esgotamento, apresentando melhor rendimento tintorial e demonstrando que o processo Especial pode ser executado como alternativa ao processo convencional, com otimização no rendimento do pigmento natural.

7. REFERÊNCIAS

ABNT NBR ISO 105-E01:2011. *Tests for colorfastness. Part E01: Colorfastness to water.*

ABNT NBR ISO 105-E04:2009. *Tests for colorfastness. Part E04: Colorfastness to perspiration.*

ABRAHART, E.N.: **Dyes and Their Intermediates**, 2nd Edition, Edward Arnold Publishers Ltd, Hill Street, London, 265 p., 1977.

ALVES, R.W.: Extração de Corantes de Urucum por Processos Adsorptivos Utilizando Argilas Comerciais e Colloidal Gas Aphrons. **Tese**. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2005.

ARAUJO, M.E.M.: Corantes naturais para têxteis – da Antiguidade aos tempos modernos. *Conservar Patrimônio*, n. 3 e 4, Universidade de Lisboa, 2007.

BABAN, A.; YEDILER, A.; CILIZ, N.K.; KETTRUP, A.: *Biodegradability oriented treatability studies strenght segregated wastewater of a woolen textile dyeing plant*. *Chemosphere*, V.57, p.731-738, 2004.

BILLMEYER JR, F.W.; SALTZMAN, M.: **Principles of Color Technology**. Ed. John Wiley & Sons, Second Edition, New York, USA, 240 p., 1981.

CHAPAGAIN, A.K., HOEKSTRA, A.Y., SAVENIJE, H.H.G., GAUTAM, R. *The water footprint of cotton consumption: An assessment of the impact of worldwide consumption of cotton products on the water resources in the cotton producing countries*. *Ecological Economics*, v. 60, p.186-203, 2006.

CURI, W. F.; SANTOS, V. S.: A nova gestão de recursos hídricos no Brasil. In: AGRA, João Tertuliano Nepomuceno; AGUIAR, José Otávio. *Água, Solo e Educação Ambiental: história e memória, planejamento e gestão*. Campina Grande: EDUEFCG, 2008.

FAVERE, V.I.; RIELLA, H.G.; ROSA, S.: Cloreto de n-(2-hidroxil) propil-3-trimetil amônio quitosana como adsorvente de corantes reativos em solução aquosa. In: **Química Nova**, v.33, p.1476-1481, n.7, 2010.

GUN, A.D.; TIBER, B.: *Color, color fastness and abrasion properties of 50/50 bamboo/cotton blended plain knitted fabrics in three different stitch lengths*. In: **Textile Research Journal**, v. 81, p. 1903-15, 2011.

HARDER, M.E.N.; CANNIATTI-BRAZACA, S.G.; ARTHUR, V. Avaliação quantitativa por colorímetro digital da cor do ovo de galinhas poedeiras alimentadas com urucum (*Bixa orellana*). **Revista Portuguesa de Ciências Veterinárias**, Lisboa, n. 102, p. 339-342, 2007.

HASSEMER, M.E.N.: Oxidação Fotoquímica - UV/H₂O₂ - para Degradação de Poluentes em Efluentes da Indústria Têxtil. **Tese de Doutorado**. UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.

IGNACHEWSKI F., FUJIWARA, S.T., CÓTICA, L.F., CARNEIRO, L.M., TAUCHERT E., PERALTA-ZAMORA, P.: *Degradation of reactive dyes by photo-Fenton process involving the use of molecular sieve 4A modified with Fe³⁺*. In: **Química Nova**, 338, 1640-1645, 2010.

IUPAC. *Compendium of Chemical Terminology*, 2nd Edition. *Gold Book*. Compiled by A. D. McNaught and A. Wilkinson. Blackwell Scientific Publications, Oxford (1997). XML on-line corrected version: <http://goldbook.iupac.org> (2006) created by M. Nic, J. Jirat, B. Kosata; updates compiled by A. Jenkins. ISBN 0-9678550-9-8. doi:10.1351/goldbook. Last update: 2009-09-07; version: 2.1.5. DOI of this term: doi:10.1351/goldbook.A00536.

JOHNSON, A. (Ed.): **The theory of coloration of textiles**. 2nd Edition. Perkin House: Society of Dyers and Colourists, 275 p., 1989.

KHALIL, H.P.S.A. BHAT, A.H. YUSRA. A.F.I Green composites from sustainable cellulose nanofibrils: A review, *Carbohydrate Polymers* pp. 963-979, 87, 2012.

KOMBOONCHOO, Sunsanee. BECHTOLD, Thomas. Natural dyeing of wool and hair with indigo carmine (C.I. Natural Blue 2), a renewable resource based blue dye, *Journal of Cleaner Production* pp. 1487–1493, 17, 2009. (corante híbrido)

LIVINGSTONE, R.: 'Anthocyanins, Brazilin and Related Compounds', *Natural Product Reports* 4, p.25-33, 1987.

MACHADO, E.L.; LOPEZ, D.A.R.; KIST, L.T.; HOELTZ, J.M.; JACHETTI, D.M.: Remediação mais limpa na indústria de tingimento têxtil. In: **Anais**. XXX Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Punta del Este, V.1, p.1-6, 2006.

MCDONOUGH, W.; BRAUNGART, M.: *Cradle to cradle: remaking the way we make things*. New York: North Point Press, 2002.

MCDONOUGH, W.; BRAUNGART, M.: *Cradle to cradle: criar e recitar ilimitadamente*. São Paulo: G. Gili, 2013.

MANZINI, E.; VEZZOLI, C.: *O desenvolvimento de produtos sustentáveis: os requisitos ambientais dos produtos industriais*. São Paulo: EDUSP /Editora da Universidade de São Paulo, 2002.

MARTINEZ-HUITLE, C.A.; BRILLAS, E.: *Decontamination of wastewaters containing synthetic organic dyes by electrochemical methods: a general review*. In: **Applied Catalysis B: Environmental**, 87, pp. 105-145, 2009.

MINOLTA, K. Comunicação precisa da cor: controle de cor da percepção à instrumentação. Asaka: Konica Minolta Sensing, 2007.

NEAMTU, M. et al. "Kinetics of decolorization and mineralization of reactive azo dyes in aqueous solution by the UV/H₂O₂ oxidation". **Dyes and Pigments**, v.53, p. 93-99, 2002.

OBARA, H.; ONODERA, J-I.: 'Structure of carthamin', *Chemistry Letters*, p.201-204, 1979.

OLIVEIRA, S.M.A.C.; VON SPERLING, M.: Avaliação de 166 ETEs em operação no país, compreendendo diversas tecnologias. Parte I - Análise de Desempenho. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, V.10, p.347-357, 2005.

PICCOLI, H.H.: Determinação do Comportamento Tintorial de Corantes Naturais em Substrato de Algodão. **Dissertação**. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2008.

PRADO, M.V.: **Relatório Setorial da Indústria Têxtil Brasileira**. ABIT/IEMI, V.8, n.8, 152 p., São Paulo, 2011.

RIERA-TORRES, M.; GUTIERREZ-BOUZAN, M.C.; MORELL, J.V.; LIS, M.J.; CRESPI, M.: Influence of electrochemical pre-treatment in dyeing wastewater reuse for five reactive dyes. In: **Textile Research Journal**, vol. 81, 18: pp. 1926-1939, 2011.

ROSA, A.H.; FRACETO, L.F.; MOSCHINI-CARLOS, V. (ORG.): *Meio ambiente e sustentabilidade*. Bookman, Porto Alegre, 2012.

ROSA, J.M.: Sustentabilidade no Beneficiamento Têxtil: Produção de tingimentos com reuso de efluente tratado por fotocatalise via UV/H₂O₂. **Dissertação de Mestrado**, UNINOVE – Universidade Nove de Julho, 2010.

ROSA, J.M.; JORDÃO, E.; TAMBOURGI, E.B.; SANTANA, J.C.C.: Estudo de fotocatalises na degradação de efluente têxtil contendo azocorante reativo do tipo vinilsulfônico. **Química Têxtil**, Vol. 107, pp.69-76, São Paulo, SP, Brasil, 2012.

ROSA, J.M.; TAMBOURGI, E.B.; SANTANA, J.C.C.: A influência da desativação de enzimas celulases em peças confeccionadas de indigo. In: **XVIII Simpósio Nacional de Bioprocessos** (SINAFERM), Vol. 1, pp.1-3, Caxias, RS, Brasil, 2011.

_____: *Reuse of Textile Effluent Treated with Advanced Oxidation Process by UV/H₂O₂*. In: **Chemical Engineering Transaction**, 26: 207-212, 2012.

ROSA, J.M.: Efluentes no beneficiamento têxtil: reutilização do efluente tratado via fotocatalise homogênea UV/H₂O₂ no tingimento de tecidos 100% algodão. **Tese**. Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013.

ROSSI, T.: Estudo do potencial de uso do resíduo efluente gerado da destilação do óleo de folhas de eucalipto (*Corymbia citriodora* (Hook) Pryor e Johnson 1976), como corante natural para o tingimento têxtil de algodão. **Dissertação**. Universidade de São Paulo, ESALQ, Piracicaba, SP, Brasil, 2009.

RUSCHIONI, R.: *Finishing processes in wet opened knitted under ecological considerations and aspects of quality*. **Química Têxtil**, n.86, p.54-65, 2007.

SALEM, V.: **Tingimento Têxtil: Fibras, Conceitos e Tecnologias**. Ed. Blucher, São Paulo, p. 151-174, 2011.

SALCEDO, E.: *Moda ética para un futuro sostenible*. Barcelona: G Gili, 2014.

SCHULTE, N.K.; LOPES, L.D.: Sustentabilidade ambiental: um desafio para a Moda. *Modapalavra e-periódico*. Ano 1, n.2, pp. 30 – 42, ago./dez. 2008.

SERRANO, M.C.; LOPES, A.C.; SERUYA, A.I.: Plantas Tintureiras. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 31, n. 2, p. 3-21, 2008.

SOLANO, A.M.S.: Um dos problemas ambientais mais relevantes é a utilização de corantes sintéticos em diversos ramos da tecnologia de ponta, entre eles a indústria têxtil. **Dissertação**. Universidade do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2011.

SOUZA, M. N.: Direito fundamental a água potável. Disponível em ambito-juridico.com.br. Acessado em 07/2015.

TWARDOKUS, R.G.: Reuso de água no processo de tingimento da indústria têxtil. **Dissertação**. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2004.

VAVOLIZZA, R.; CHAVES, L. I.; HEEMANN, A.: Uma abordagem sustentável de design para a indústria têxtil. *E-Tech: Tecnologias para Competitividade Industrial*, Florianópolis, n. Especial Design, 2015.

ZOLLINGER, Z.: **Color Chemistry: Syntheses, Properties and Applications on Organic Dyes and Pigments**. 2nd Edition, New York, VCH Publishers, Inc, 496 p., 1991.

GLOBAL ISSUES: disponível em <http://www.un.org/en/globalissues/water/>. Acessado em 06/06/2015.

FLETCHER, Kate. *Slow fashion*. 2007 disponível em http://www.theecologist.org/green_green_living/clothing/269245/slow_fashion.html. Acessado em 10 de junho de 2015.