

Tecnologia sustentável de tingimento de tecidos visando o controle de resíduos tóxicos, considerando a avaliação de estratégias para a geração de renda**Sustainable textile tanning technology with the goal of controlling toxic residues taking into consideration strategies for income generation**

DOI:10.34117/bjdv6n9-177

Recebimento dos originais: 10/08/2020

Aceitação para publicação: 09/09/2020

Rita de Cássia dos Reis Schmidt

Graduanda em Química Medicinal pela Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre

Instituição: Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre

Endereço: Rua Sarmiento Leite, 245, Centro, Porto Alegre, RS, Brasil

e-mail: ritars@ufcspa.edu.br

Henrique Carvalho de Andrade

Graduando em Química Medicinal pela Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre

Instituição: Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre

Endereço: Rua Sarmiento Leite, 245, Centro, Porto Alegre, RS, Brasil

e-mail: henriqueda@ufcspa.edu.br

Pedro Henrique Mirapalheta Jacques

Graduando em Química Medicinal pela Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre

Instituição: Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre

Endereço: Rua Sarmiento Leite, 245, Centro, Porto Alegre, RS, Brasil

e-mail: pedroh@ufcspa.edu.br

Helga Judith Martez Esquirre Nogueira

Graduanda em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Instituição: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Endereço: Av. Bento Gonçalves, 9500, Agronomia, Porto Alegre, RS, Brasil

e-mail: helga.nogueira8@gmail.com

Ana Cristina Borba da Cunha

Doutora em Química Analítica pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Instituição: Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre

Endereço: Rua Sarmiento Leite, 245, Centro, Porto Alegre, RS, Brasil

e-mail: anacb@ufcspa.edu.br

RESUMO

O tingimento natural de tecidos é definido como o processo químico da modificação de cor da fibra têxtil, através da aplicação das matérias coradas. Esse processo é uma prática milenar de forma manufaturada, sendo o primeiro meio utilizado de colorir tecidos; e ainda muito utilizado no século XIX. A aplicação de corantes químicos pelas indústrias têxtil, levaram as práticas

artesanais dos corantes naturais caírem em desuso. Sabe-se que juntamente com os corantes sintéticos, surgiram também preocupações ambientais devido ao grande consumo de água e a grande carga poluidora a partir de efluentes, principalmente referente aos metais pesados responsáveis pela coloração. Em vista disso, o presente trabalho é desenvolvido com o objetivo de resgatar essas práticas de tingimento natural, tendo a química analítica como meio de estudo para o controle de resíduos e também para a otimização das técnicas visando um produto de qualidade para a inserção no mercado, e fazendo o uso adequado dos recursos naturais. O açafrão foi o corante escolhido para o desenvolvimento do trabalho, onde foi possível realizar o estudo de sua interação com diferentes fibras (algodão, linho e seda) e observar a interação de diferentes fixadores: acetato de cobre, acetato de ferro e cloreto de sódio. Métodos analíticos e instrumentais foram utilizados para o processo de realização do trabalho, sendo esses o método de Absorção atômica para análise de resíduos e planejamento fatorial para otimização do tingimento. As técnicas de tingimento apresentaram-se eficazes, corroboradas pelo estudo de planejamento fatorial que possibilitou a otimização do tingimento através da análise da interação dos efeitos, e a partir da análise dos resíduos, foi possível a certificação de um método ambientalmente adequado.

Palavras chaves: tingimento natural, açafrão, sustentabilidade.

ABSTRACT

The natural dyeing of fabrics is defined as the chemical process of changing the color of the textile fiber through the application of colored materials. This process is an ancient manufacturing practice, being the first means used to color fabrics, and still widely used in the 19th century. However, the application of chemical dyes by the textile industries has led the artisanal practices of natural dyes to fall into disuse. Together with synthetic dyes, environmental concerns have also arisen, due to the large consumption of water and the large polluting load from effluents, mainly regarding heavy metals, responsible for coloring. The present paper is developed with the objective of rescuing these natural dyeing practices, using analytical chemistry as a means of study for the control of residues and also for the optimization of techniques aiming at a quality product for insertion in the market and the appropriate use of natural resources. The saffron was the dye chosen for this research, where it was possible to study its interaction with different fibers (cotton, linen and silk), and to observe the interaction of different fixatives: copper acetate, iron acetate and chloride sodium. Analytical and instrumental methods were used for the process of carrying out the research, these being the Atomic Absorption method for residue analysis and factorial planning for dyeing optimization. The dyeing techniques were effective, corroborated by the study of factorial planning, which made it possible to optimize dyeing through the analysis of the interaction of the effects, as well as from the analysis of the residues, being possible to certify an environmentally appropriate method.

Keywords: natural dyeing, saffron, sustainability.

1 INTRODUÇÃO

Tingimento natural de tecidos é a arte desenvolvida para a reprodução de cores da natureza nos tecidos, a partir da coloração de fios como de algodão, seda, ou linho por meio da utilização de corantes extraídos de bens naturais, que pertencem ou foram produzidos pela natureza. É uma técnica capaz de não causar impacto no meio ambiente além de usufruir dos bens naturais. O

tingimento é definido como o processo químico da modificação de cor da fibra têxtil ou do tecido através da aplicação de matérias coradas (SENAI,1998). É uma prática milenar muito utilizada de forma manufaturada. O mais antigo indício da existência de têxteis na história, data de mais de 24 mil anos. Segundo Olga Soffer, professora da Universidade de Illinois e antropóloga, foi encontrado em países do leste europeu registros acerca da presença de tecelagem no Período Paleolítico. As primeiras fibras têxteis eram feitas de materiais grosseiros, tais como gramíneas, juncos e canas, e tinham como finalidade nos tempos pré-históricos fazer telas, cestos, redes de pesca, tapetes e cordas (PEZZOLO, 2009). O tingimento natural veio perdendo força ao longo da história com o surgimento de corantes químicos. Isso se deu muito pela padronização e uniformidade das cores (COSTA; CRUZ, 2012) além da exigência do mercado da moda por paletas de cores difíceis de serem alcançadas de forma natural.

A utilização de corantes químicos veio acontecer no fim do século XIX, quando estes começaram a abastecer o mercado mundial. Os corantes químicos no mercado têxtil levaram as práticas artesanais a caírem em desuso, pois com tingimentos naturais não era possível obter produções em larga escala, o que se tornou viável com o advento dos corantes sintetizados. (LUNA; JÚNIOR; SILVA, 2005). Esse método consiste em fixar o corante sobre a fibra crua ou sobre a fibra já tecida, modificando a cor conforme explicam John Gillow e Bryam Sentance (PEZZOLO, 2009), portanto, a tintura depende da qualidade da fibra e da composição química do corante.

Juntamente com a padronização e uniformização dos corantes sintéticos, surgiram as preocupações ambientais, as quais no presente momento tomaram força, devido ao grande consumo de água durante a produção têxtil, assim como a grande carga poluidora gerada a partir dos efluentes, os quais carregam 90% dos produtos químicos utilizados durante o beneficiamento têxtil (COSTA, 2008; SILVA FILHO, 1994) alavancando comercialmente os tingimentos naturais. A indústria têxtil é uma das áreas de produção com maior intensidade de uso de produtos químicos e é considerada uma efetiva poluidora da água potável na terra. Isso se deve aos enormes volumes de químicos complexos que são liberados nos efluentes em muitas fases do processamento têxtil (VERMA; DASH; BHUNIA, 2012).

Considerando sua biodegradabilidade e baixa toxicidade, os corantes naturais têm ganho cada vez mais espaço na indústria têxtil, podendo ser empregados tanto em fibras naturais como sintéticas, minimizando os impactos causados pelos corantes sintéticos – A substituição dos corantes sintéticos pelos naturais é indicada sempre que possível. (LOBATO, MALDONADO, PÉREZ; 2001). A carcinogenicidade e a toxicidade dos corantes artificiais faz com que seu uso

seja restrito e isso tem contribuído para pesquisas com pigmentos naturais com a finalidade de substituir os corantes sintéticos (BOO, et al, 2012, p. 129).

No que se refere ao processo de tingimento, observa-se que muitas vezes há dificuldade na interação e posteriormente na fixação das moléculas dos corantes naturais juntamente às fibras do tecido. Esse fato ocorre devido às baixas afinidades químicas, necessitando o uso de mordentes, a fim de acarretar uma melhor aderência do corante (DA COSTA, 2010). Os mordentes (agentes fixadores) são geralmente sais de elementos inorgânicos, como o cloreto de sódio (NaCl), ferro ou cobre; que agem complexando moléculas do corante, fazendo com que suas estruturas fibrilares se modifiquem de modo que fixe as cores no tecido. (ARAÚJO, 2005), (SILVA, 2018).

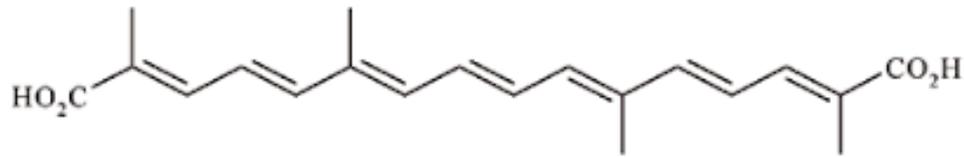
Quando utiliza-se metais como agentes fixadores, mesmo que em menores quantidades quando em relação a corantes sintéticos, é necessário o tratamento desses resíduos, conforme Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011, do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), capítulo II, seção II (Das Condições e Padrões de Lançamento de Efluentes), art. 16, são definidos como valores máximos de lançamento de efluentes, 15,0 mg/L de Ferro (Fe) dissolvido e 1,0 mg/L de Cobre (Cu) dissolvido, utilizados como mordentes no presente artigo.

Dentre os corantes naturais, o açafrão é uma especiaria originada de regiões da Ásia e é obtida através da secagem da raiz da cúrcuma (*Crocus sativo* L.), uma planta da família do gengibre, que após a secagem é moída, apresentando a forma comumente utilizada do açafrão (pó). O pó é muito utilizado como tempero e como corante na culinária em diversos cantos no mundo (DINIZ et al., 2011) (MARCHI, 2016).

Além do uso do açafrão como corante têxtil nos dias de hoje, há relatos de que este foi muito utilizado também na Europa da Renascença, com a mesma finalidade, sendo cobiçado para tingir tecidos sofisticados, como a seda, a qual quando tingida com açafrão adquire tonalidades de amarelos magnificas (MELO et al., 2006).

A classe de moléculas responsável pelo amarelo brilhante e vivo encontrado no açafrão são os carotenoides, em específico um cromóforo da crocetina, representado molecularmente pela Figura 1. A crocetina, encontrada no açafrão em sua forma glicosilada; ou seja, os ácidos carboxílicos livres (representados nas extremidade da molécula na figura 2) encontram-se na forma de éster, sendo um grupo constituinte de açúcar (MELO et al., 2006) (RIZZO, 2014).

Figura 1 – Representação molecular da crocetina, carotenoide responsável pelo pigmento amarelo do açafrão.



No Brasil, as atividades artesanais são desenvolvidas por núcleos familiares artesanais, majoritariamente situadas em regiões mais pobres, e cuja produção artesanal apresenta uma grande variedade de expressões e quantidade de matérias-primas disponíveis. Ao longo dos últimos anos, essa atividade tem apresentado um ritmo de expansão acelerado, constituindo-se como uma atividade econômica com grande potencial de crescimento, atuando, inclusive, como fonte geradora de emprego e renda. (FILGUEIRAS, 2015) (LEMOS, 2011, p.14).

Visando o fato de que os núcleos familiares mais vulneráveis são majoritariamente os principais desenvolvedores das práticas artesanais, nosso grupo de trabalho buscou unir neste projeto a utilização de técnicas analíticas no tingimento natural tendo como base a sustentabilidade, empreendedorismo e inclusão social, multiplicando os conhecimentos de tingimento para que a população em vulnerabilidade tenha um meio de complementação de sua renda, ou até mesmo que esse trabalho seja a principal fonte. Sendo assim a integração ensino, pesquisa e extensão se torna completa com a multiplicação do conhecimento e em meio a diversos cenários nacionais (político, saúde pública e econômico), a pretensão é ensinar a arte do tingimento natural com oficinas, workshops e afins para as comunidades mais vulneráveis.

Levando em consideração a temática levantada de integração entre técnicas de tingimento natural avançadas, economia solidária e sustentabilidade, esse trabalho teve como objetivo apresentar metodologias de tingimento quimicamente adequadas ao meio ambiente, livres de produtos nocivos ao meio ambiente e também fazendo o uso adequando dos recursos naturais, bem como água e energia. Trabalhando a sustentabilidade em todos seus âmbitos: ambientalmente, economicamente e socialmente. Sendo possível também utilizar a química como o estudo para melhorias e explorar metodologias de química analítica para o melhor desenvolvimento dos métodos e também a solidificação de um produto de qualidade proveniente do tingimento natural, para a inserção no mercado.

2.METODOLOGIA

2.1. PREPARO DO TECIDO

Para o experimento foram utilizadas amostras de tecido de algodão cru, linho cru e seda orgânica. A figura 2 apresenta o tecido em sua aparência natural antes do tingimento.

Figura 2 – Tecidos cru, em sua forma natural.



Os tecidos foram cortados em tamanhos iguais de 12 cm x 12 cm. Cada um deles foi devidamente identificado e inserido em um béquer de 500 mL, contendo 300 mL de água e 30 mL de sabão neutro de glicerina; ficando em repouso por 24 horas. Após o repouso os tecidos foram enxaguados em água corrente e colocados para secagem em temperatura ambiente.

2.2. FIXADORES UTILIZADOS

Para melhor abranger e explorar tonalidades do amarelo do açafreão utilizado no tingimento natural, foram usados três diferentes fixadores (indicados pela literatura):

Acetato de Cobre – Usado para explorar colorações mais vivas de amarelo. O acetato de cobre foi devidamente preparado de forma convencional e limpa. Foram misturados 500 gramas de fio de cobre desencapado, 150 mL de água à 50 °C, 250 mL de vinagre de álcool, 20 gramas de açúcar refinado e 40 gramas de amido de milho; a mistura foi deixada em repouso em um vidro com tampa por 7 dias, sendo agitada uma vez ao dia. Após o tempo estimado foi possível notar a formação de um líquido de coloração azul ciano, o líquido foi filtrado e devidamente armazenado.

Acetato de Ferro – Usado para explorar os tons mais escuros do amarelo advindos do açafreão, uma vez que o ferro presente no acetato de ferro auxilia no escurecimento do corante. O fixador de ferro foi preparado da mesma forma convencional e limpa, como preparado o acetato de cobre: foram misturados 500 gramas de pregos enferrujados, 150 mL de água à 50 °C, 250 mL de vinagre de álcool, 20 gramas de açúcar refinado e 40 gramas de amido de milho; a mistura foi deixada em repouso por 7 dias em um vidro com tampa, sendo agitada uma vez por dia. Após o

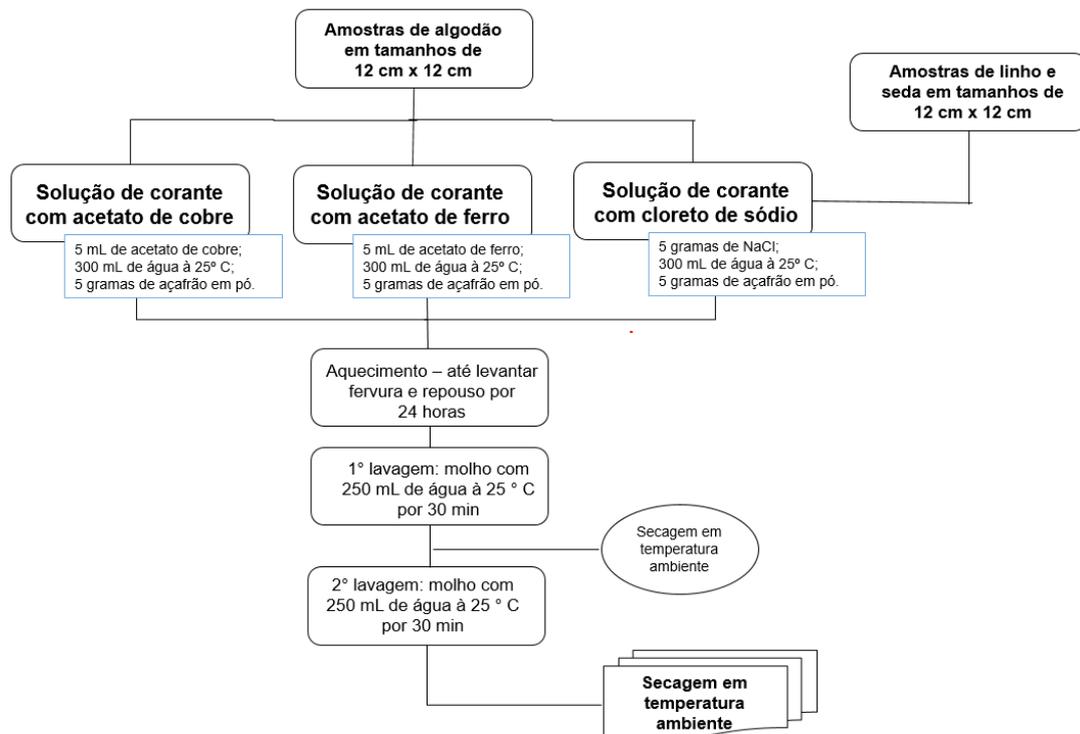
tempo determinado, líquido formado apresentou uma coloração marrom avermelhado, bem característico de ferrugem; e então o líquido foi devidamente filtrado e armazenado.

Cloreto de Sódio (NaCl) – Esse sal é muito utilizado como fixador de corantes em tecidos, tanto em tingimentos naturais, como em tingimentos químicos feitos até mesmo em casa. Portanto, o cloreto de sódio foi utilizado, por ser eficaz na fixação, sendo que esse não modifica o tom do corante como os outros dois fixadores. Nesse caso foi utilizado cloreto de sódio P.A., da marca Neon com peso molecular de 58,44 g/mol, sendo esse com alto grau de pureza.

2.3. MÉTODO DE TINGIMENTO

As amostras de algodão foram submetidas a testes com os três fixadores selecionados (acetato de cobre, acetato de ferro e cloreto de sódio). As amostras de linho e seda foram submetidas a testes de tingimento utilizando somente cloreto de sódio como fixador. A metodologia totalizou cinco ensaios distintos. Os ensaios foram realizados em triplicata. Para o algodão, considerando os três fixadores foram realizados 9 (nove) ensaios e para seda e linho foram realizados 6 (seis) ensaios para cada tecido, considerando que foi utilizado somente cloreto de sódio como fixador. A figura 3 apresenta o fluxograma da metodologia utilizada para o tingimento das amostras.

Figura 3 – Fluxograma da metodologia de tingimento utilizada para as amostras de algodão, linho e seda.



Para cada lavagem das amostras tingidas com acetato de cobre e ferro, assim como as soluções de corante, foi armazenadas uma pequena amostra de seus resíduos, para análises realizadas posteriormente.

2.4. ANÁLISE DOS RESÍDUOS

Foram separadas aproximadamente 5 mL das soluções de tingimento contendo os fixadores acetato de cobre e ferro e da solução das lavagens para quantificação da concentração dos metais presente nos resíduos.

As análises dos resíduos foram realizadas por Espectrofotometria de Absorção Atômica. O Espectrofotômetro utilizado foi da marca SHIMADZU, modelo AA-7000F versão chama (Central Analítica-UFCSPA). As análises foram realizadas com as seguintes especificações: As análises de cobre foram realizadas em comprimento de onda de 324.8 nm e com chama Ar-C₂H₂. E as análises de ferro foram realizadas em comprimento de onda 248.8 nm e com chama Ar-C₂H₂.

A partir de padrões analíticos de cobre e ferro (concentração de 1000 mg/L), foram preparados padrões intermediários de 100 mg/L de cobre e ferro para preparação da curva analítica. A curva de calibração utilizada para as análises de cobre foi: 0,0 mg/L, 0,2 mg/L, 0,4 mg/L, 0,6 mg/L, 0,8 mg/L e 1 mg/L. Para as análises de ferro a curva de calibração utilizada foi: 0,0 mg/L, 0,250 mg /L, 0,500 mg/L, 1 mg/L e 2 mg/L.

As amostras de cobre e ferro foram filtradas, para que não ficasse resíduo de sólido para não comprometer o equipamento.

2.5. PLANEJAMENTO FATORIAL

Foi realizado um planejamento fatorial com o objetivo de avaliar as quantidades de corante, fixador e água utilizados no processo de tingimento e para avaliar a resposta, considerando o rendimento do corante aplicado no tecido.

O planejamento fatorial utilizado foi o 2³. As variáveis foram corantes (açafraão), fixador (NaCl) e água. Foram realizados 8 ensaios em duplicata, totalizando 16 amostras de tecido. Para o planejamento fatorial, foram utilizados tamanhos menores de tecido, 5 cm x 5 cm. A tabela 1 apresenta a distribuição dos valores para o desenvolvimento dos ensaios realizados, onde o sinal (+) representa os níveis superiores e o sinal (-) representam os níveis inferiores dos parâmetros estudados: (1) corante, (2) fixador e (3) água.

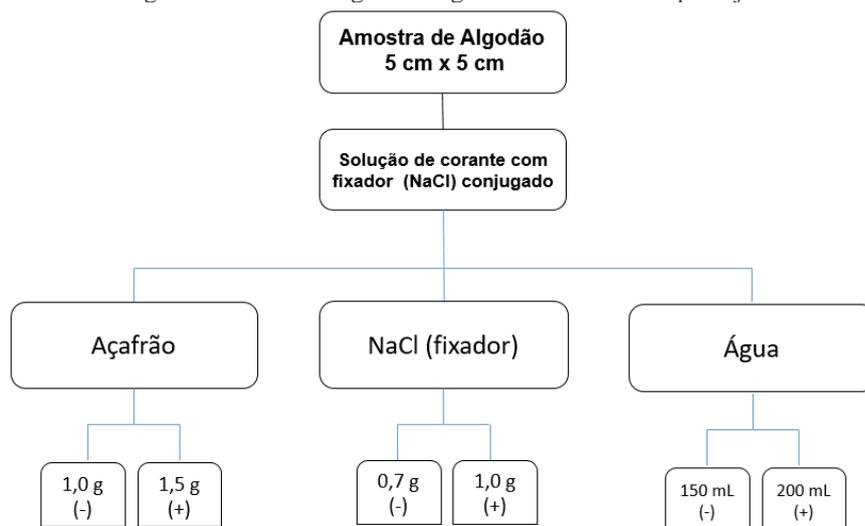
- (1) Corante: 1 grama (-) e 1,5 gramas (+).
- (2) Fixador: 0,7 (-) gramas e 1 grama (+).
- (3) Água: 150 mL (-) e 200 mL (+)

Tabela 1 – Matriz de distribuição dos oito ensaios realizados no planejamento fatorial 2³.

Ensaio	1	2	3
1	-	-	-
2	+	-	-
3	-	+	-
4	-	-	+
5	+	+	-
6	+	-	+
7	-	+	+
8	+	+	+

O método de tingimento utilizado nesse planejamento fatorial foi realizado conforme o fluxograma apresentado na figura 4 (considerando duplicata para todos os ensaios), totalizando 16 ensaios.

Figura 4 – Fluxograma da metodologia de tingimento utilizada no planejamento fatorial.



As amostras permaneceram em solução de corante por 30 minutos; após o repouso foram lavadas em água corrente e secadas em temperatura ambiente.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. TINGIMENTO NATURAL DAS AMOSTRAS DE ALGODÃO

Para as amostras de algodão tingidas utilizando diferentes fixadores (acetato de cobre, acetato de ferro e cloreto de sódio), foi possível observar êxito na metodologia aplicada. A variação dos fixadores possibilitou evidenciar a diferença na tonalidade do corante de açafrão, assim como representado na figura 5:

Figura 5 – Amostras de algodão tingidas com açafrão utilizando fixadores distintos.



Como é possível observar na figura 5, na amostra 1 onde foi utilizado acetato de cobre como agente fixante, foi possível obter o amarelo com tonalidade mais viva que as demais. Para a amostra 2, onde o fixador utilizado foi acetato de ferro houve escurecimento na coloração, o que apresentou um amarelo com tonalidade mais escura. Na amostra 3 tingida com o fixador NaCl foi possível observar a presença de uma tonalidade de amarelo mais claro comparada as demais amostras. Portanto, através do estudo e dos resultados apresentados pela metodologia é possível observar que diferentes metais tem a capacidade de modificar a tonalidade que o corante apresentará no tecido de algodão, corroborando com estudos anteriores que traz o acetato de ferro como um fixador que ajuda no escurecimento do corante no tecido e o acetato de cobre como um modificador suave de tonalidade, deixando as cores mais vivas (FERREIRA, 2005), assim pode ser possível obter diferentes nuances de um mesmo corante.

As amostras de algodão após serem tingidas, foram lavadas, com o objetivo de identificar visualmente a mudança na coloração do tecido e certificar-se da qualidade do tingimento. A qualidade do tingimento é verificada quando o tecido não apresenta mais resíduo do corante. A

figura 6 apresenta o resultado antes e depois das duas lavagens que cada uma as amostras foram submetidas:

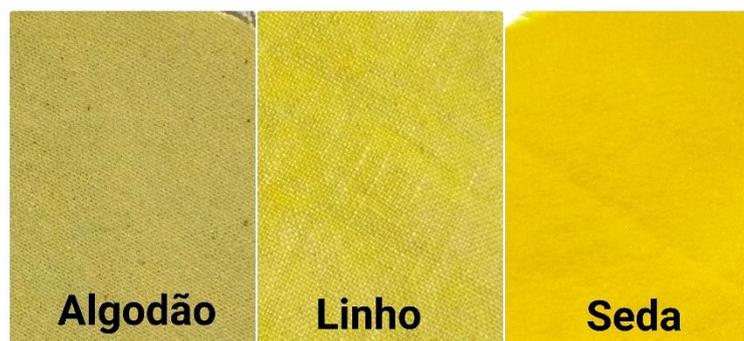


Como pode ser verificado na figura 6, as amostras 1 e 2 apresentaram visualmente um pequena perda de corante no tecido na segunda lavagem. Essa perda de corante foi possível identificar pelo enfraquecimento da tonalidade e não pelo desbote do tecido, pois o tingimento continuou uniforme por toda a superfície do tecido. A amostra 3, visualmente comparada com as demais, foi a que apresentou menor perda do corante no tecido. Concluiu-se, então que o fixador que apresentou melhor interação com o corante e com a fibra foi o cloreto de sódio, apresentando menor ou nenhuma perda de corante após as lavagens.

3.2. TINGIMENTO NATURAL DAS AMOSTRAS DE LINHO E SEDA

Na figura 7 é apresentada uma comparação do tingimento dos tecidos algodão, seda e linho utilizando NaCl como agente fixante.

Figura 7 – Tingimento das amostras 1,2 e 3 de tecido de algodão, compradas com tecidos de linho e seda respectivamente, tingidas.



O linho e principalmente a seda, por serem tecidos usados em alta costura apresentam uma qualidade superior comparadas com as fibras de algodão, além de maior qualidade na costura (SOUSA, 2018). As amostras de linho e seda (figura 7) apresentaram amarelos mais vibrantes

comparadas à amostra de algodão, uma vez que foi utilizado o mesmo fixador para todas as amostras.

As amostras de linho e seda também foram submetidas as lavagens, com o objetivo de identificar a mudança de coloração nessas fibras. A figura 8 apresenta os resultados após as duas lavagens que as amostras foram submetidas.

Figura 8 – Amostras de linho e seda após as lavagens.



Na análise visual feita nas amostras de linho e seda como mostrado na figura 8, foi possível identificar que após as duas lavagens não ocorreu alteração na coloração ou tonalidade das fibras. Observou-se também que a seda e o linho são tecidos com características adequadas para o tingimento quando utilizado açafrão como corante natural e cloreto de sódio como fixador. Também observou-se que a seda não apresentou diferença na coloração do tecido antes e depois da lavagem e o tingimento permaneceu uniforme.

3.3. ANÁLISE DOS RESÍDUOS

O coeficiente de correlação obtido para a curva de calibração do cobre foi de 0,9990 e para o ferro foi 0,9998; indicando a tendência de uma curva linear. Resultados de coeficientes de correlação tendendo a 1,0 indicam menor dispersão do conjunto de pontos experimentais e menor a incerteza dos coeficientes de regressão estimados (RIBANI et al., 2004).

Através das análises dos resíduos de tingimento pelo método de absorção atômica, foi possível quantificar cobre e ferro descartados após todo o processo de tingimento na água de lavagem residual. A tabela 2 apresenta os resultados das análises dos resíduos e os Limites permitidos para esse metal (CONAMA,2011).

Tabela 2 – Concentrações obtidas através da análise dos resíduos de cobre e ferro, respectivamente.

Amostra 1 (contendo cobre)	Concentração (mg/L)	Limite de Cu permitido (mg/L) (CONAMA,2011)	Amostra 2 (contendo ferro)	Concentração (mg/L)	Limite de Fe permitido (mg/L) (CONAMA,2011)
Solução de corante	0,640	1,0 mg/L	Solução de corante	6,703	15,0 mg/L
Lavagem 1	Abaixo do LOQ		Lavagem 1	0,0223	
Lavagem 2	Abaixo do LOQ		Lavagem 2	Abaixo do LOD	

Como pôde ser observado na tabela 2, as lavagens das amostras 1 e 2 contendo resíduos de cobre e ferro respectivamente apresentaram concentrações abaixo do limite permitido pelo CONAMA para lançamento de efluentes. Para cobre dissolvido a quantidade permitida por lei tem que estar abaixo de 1,0 mg/L e para ferro dissolvido 15,0 mg/L (CONAMA, 2011). Considerando que os valores residuais de cobre e ferro se encontram abaixo dos limites exigidos pelo CONAMA, conclui-se que praticamente todo o cobre e ferro utilizados como fixador foram absorvidos pelo tecido, resultando resíduos com valores de metais pesados abaixo do exigido pela legislação.

3.4. PLANEJAMENTO FATORIAL

Através do planejamento fatorial realizado foi possível estudar o rendimento da cor presente no tecido para cada um dos experimentos, bem como a possível economia de corante, fixador e água. A tabela 3 apresenta o resultado do planejamento fatorial 2³ aplicado para açafreão. A última coluna contém os valores médios dos rendimentos obtidos nos ensaios. O rendimento no presente trabalho foi calculado em relação ao corante fixado no tecido.

Tabela 3 – Resultado do planejamento fatorial 2^3 por cor. A última coluna contém os valores médios dos rendimentos obtidos nos ensaios

Ensaio	1	2	3	Rendimentos		Média
1	-	-	-	1,5	0,5	1
2	+	-	-	4	4	4
3	-	+	-	2	3,3	2,65
4	+	+	-	1	3,5	2,25
5	-	-	+	2,5	2,3	2,4
6	+	-	+	3,5	3,7	3,6
7	-	+	+	0,5	1,5	1
8	+	+	+	3	3,8	3,4

A tabela 4 apresenta o coeficiente de contraste para um planejamento fatorial 2^3 , e a interação entre os efeitos. A última coluna apresenta a média do rendimento dos ensaios.

Tabela 4 – Interação entre efeitos e média do rendimento dos ensaios

1	2	3	12	13	23	123	\bar{y}
-	-	-	+	+	+	-	1
+	-	-	-	-	+	+	4
-	+	-	-	+	-	+	2,65
+	+	-	+	-	-	-	2,25
-	-	+	+	-	-	+	2,4
+	-	+	-	+	-	-	3,6
-	+	+	-	-	+	-	1
+	+	+	+	+	+	+	3,4

O cálculo do efeito (Estimador) foi realizado a partir do uso adequado dos sinais de cada efeito (tabela 4) somando as médias e dividindo-as por 4. Através dos cálculos de variância total e variância dos efeitos, foi calculada a estimativa de erro obtendo valor igual à 0,333. Para a análise de significâncias dos cálculos dos efeitos, foi empregado teste t, considerando um nível de confiança de 95% e graus de liberdade 8. O valor de t corresponde à 2,306. Para o referido trabalho foi considerado estatisticamente significativo o valor absoluto maior que $(0 + 2,306 \times 0,333) = 0,767$. A tabela 5 apresenta os resultados de cada efeito estudado.

Tabela 5 – Resultado dos efeitos do planejamento fatorial 2^3 por rendimento da cor.

Efeito	Estimador	Erro
1	1,55	0,333
2	-0,425	0,333
3	0,125	0,333
12	-0,55	0,333
13	0,25	0,333
23	-0,375	0,333
123	1,075	0,333

Como é possível observar na tabela 5, apenas dois efeitos são considerados significativos: o efeito 1 (relacionado ao corante) e o efeito 123 (relacionado a interação do corante com a água e o fixador). Os efeitos foram considerados significativos porque apresentaram valores maiores que o valor da estimativa de erro (0,767). Na análise da tabela 3 que apresenta os rendimentos obtidos é observado que o efeito 1 (açafração), quando utilizado seu nível superior (+) apresentou rendimentos mais altos, independente das outras variáveis. Também foi possível comprovar essa afirmação através do cálculo do efeito principal: $\text{Efeito 1} = \frac{1}{4}(3 - 0,4 + 1,2 - 2,4) = 1,55$, que faz medidas individuais das diferenças dos rendimentos, Esse efeito mostra que quando a quantidade de açafração é alterada do nível inferior (1g) para o nível superior (1,5 g), resulta em um aumento de rendimento da cor em média 1,55 o que corrobora também com os resultados apresentados na tabela 5. Outro efeito estatisticamente significativo no experimento foi o efeito 123, que trata da interação dos três efeitos estudados (açafração, cloreto de sódio e água); com essa observação é possível concluir que apesar do efeito 2 (cloreto de sódio) e 3 (água) não serem primordiais na significância do rendimento quando estudados individualmente, assim como o efeito 1 (açafração), as interações dos três efeitos e suas quantidades apresentam grande significância para o processo de tingimento, como mostrado no estimador do efeito 123 na tabela 5.

4 CONCLUSÃO

Com a execução do presente estudo pode-se concluir que os métodos de tingimento foram satisfatórios nos âmbitos de qualidade e sustentabilidade. Também foi possível observar nos testes de lavagem, através da análise visual, que o método de tingimento natural proposto apresentou eficácia, perdendo pouca ou nenhuma autenticidade da cor apresentada no tecido, bem como a obtenção de tonalidades vibrantes para as fibras de algodão, linho e seda. Essa afirmação é presente também nos testes e estudos de diferentes fixadores, onde foi possível obter diferentes tons para a mesma fibra e mesmo corante (açafraão), possibilitando abrangentes variações de tons sem modificar a metodologia nem o corante. As técnicas de tingimento natural seguem protocolos responsável de cuidados com os recursos naturais e o controle dos resíduos. Na metodologia apresentada os resíduos de ferro e cobre apresentaram concentrações abaixo do permitido pela legislação CONAMA, 2011 mostrando-se uma metodologia “ambientalmente amigável” A qualidade e otimização da técnica apresentada pelo planejamento fatorial, além de auxiliar no uso responsável dos recursos, otimizou a qualidade do tingimento, sendo uma ferramenta muito importante para a inserção de um novo produto “de qualidade” no mercado. A partir do procedimento estudado, foi possível elaborar um método qualificado para a inserção de novos produtos no mercado que visam sustentabilidade, empreendedorismo e inserção social; minimizando problemas socioeconômicos e socioambientais.

REFERÊNCIAS

- CURSOS TÉCNICO. 1998. **Beneficiamento de Jeans e Tingimento de Peças Confeccionadas**. Recife: FIEPE/ SENAI, 1998. 52p.
- PEZZOLO, D.B. **Tecidos – História, Tramas, Tipos e Usos**. 2. ed. São Paulo: SENAC, 2009.
- COSTA, Andréa Fernanda de Santana; CRUZ, Anierly Moraes de Lima. **TINGIMENTO NATURAL UMA ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL PARA A ÁREA TÊXTIL**. VIII Colóquio de Moda: 5º Congresso Internacional, Rio de Janeiro - RJ, 2012.
- LUNA, S. V. S; JÚNIOR, A. I. D. O; SILVA, C. R. F. **Tingimentos naturais na fibra de bananeira: uma proposta sustentável para o artesanato do cariri cearense**. Ciência e Sustentabilidade: CeS, Juazeiro do Norte, CE, v. 3, n. 2, p. 46-63, dez./2005. Disponível em: <https://periodicos.ufca.edu.br/ojs/index.php/cienciasustentabilidade/article/view/198/198>. Acesso em: 14 mai. 2020.
- COSTA, A. F. S. **Aplicação de tratamentos biológico e físico-químico em fluentes de lavanderia e tinturaria industriais do município de Toritama no estado de Pernambuco**. 2008. 99f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais) – Universidade Católica de Pernambuco.
- SILVA FILHO, M.N. **Produtos químicos utilizados na indústria têxtil e a questão ecológica**. Química Têxtil, São Paulo: ABQCT, 3, 11-16, 1994.
- VERMA, A. K.; DASH, R. R.; BHUNIA, P. **A review on chemical coagulation/flocculation technologies for removal of colour from textile wastewaters**. Journal of Environmental Management, v. 93, n. 1, p. 154–168, 2012.
- LOBATO, MALDONADO, PÉREZ; 2001 - LOBATO, A. R.; MALDONADO, F.; PÉREZ, O. A. **Cinética y Extracción de colorantes Naturales**. In: XVI CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE QUÍMICA TÊXTIL. Quito, 2001.
- BOO, H.O., HWANG, S.J., BAE, C.S., PARK, S.H., HEO, B.G., GORINSTEIN, S., **Extraction and characterization of some natural plant pigments, Industrial Grops and Products**, 40, 2012,p.129-135.
- DA COSTA, Alice Souza. **TINGIMENTO DE CELULOSE PRODUZIDA DO PSEUDOCALÉ DA BANANEIRA (*Musa sp*) COM CORANTES NATURAIS**. Orientador: Prof. Dr. Azarias Machado de Andrade. 2010. Monografia (Bacharelado em Engenharia Florestal) - UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO, Seropédica - RJ, 2010.
- ARAÚJO, M.E.M. **Corantes naturais para têxteis - da antiguidade aos tempos modernos. Texto de apoio ao Curso de Mestrado em Química Aplicada ao Patrimônio Cultural**, p.4-8, Lisboa, 2005.
- SILVA, Márcia Gomes da. **Corantes Naturais no Tingimento e Acabamento Antimicrobiano e Anti-UV de Fibras Têxteis**. Orientador: Professor Doutor Jorge Gomes Santos. 2018. Tese (Doutoramento em Engenharia Têxtil) - Universidade do Minho - Escola de Engenharia, Braga, Portugal, 2018.
- CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. [S. l.], 2011.
- DINIZ, Juliana Furian; FRANCISCATTI, Patrícia; SILVA, Tais Larissa. **Tingimentos de tecidos de algodão com corantes naturais açafrão (curcúma) e urucum**. Iniciação Científica CESUMAR, [s. l.], v. 13, ed. 1, p. 53-62, 1 jul. 2011.
- MARCHI, Juliana Pelissari. **CURCUMA LONGA L., O AÇAFRÃO DA TERRA, E SEUS BENEFÍCIOS MEDICINAIS**. Arquivos de Ciências da Saúde da UNIPAR, Umuarama - PR, 2016.

- MELO, J. Seixas et al. **As moléculas da cor na arte e na natureza**. Química, [s. l.], n. 101, 1 jun. 2006.
- RIZZO, Roberta Ferreira. **PRODUÇÃO DE FICOBILIPROTEÍNAS POR *Arthrospira platensis* SOB DIFERENTES CONDIÇÕES DE ILUMINAÇÃO E AVALIAÇÃO DE SUA ESTABILIDADE, VISANDO APLICAÇÃO EM ALIMENTOS**. 2014. 133 f. Dissertação (PósGraduação em Ciências Aplicadas a Produtos para Saúde da Faculdade de Farmácia da Universidade Federal Fluminense) - Universidade Federal Fluminense - Faculdade de Farmácia, Niterói - RJ, 2014.
- FILGUEIRAS, Araguacy Paixão Almeida. **A PRODUÇÃO DO ARTESANATO NA QUALIDADE DE VIDA DO ARTESÃO CEARENSE: ESTUDO DE CASO**. 11º Colóquio de Moda – 8ª Edição Internacional, [S. l.], p. 1-13, 15 set. 2015.
- LEMONS, Maria Edny Silva. **O ARTESANATO COMO ALTERNATIVA DE TRABALHO E RENDA: Subsídios para Avaliação do Programa Estadual de Desenvolvimento do Artesanato no Município de Aquiraz-Ce**. Orientador: Prof. Dr. José Almir Farias. 2011. Dissertação (Mestrado Profissional em Avaliação de Políticas Públicas) - UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ, Fortaleza - CE, 2011.
- FERREIRA, Eber Lopes. **Tingimento Vegetal: Teoria e pratica sobre tingimento com corantes naturais**. 3. 1. ed. São Paulo: [s. n.], 2005. E-book. E- book (34 p).
- SOUSA, Sandra de Abreu. **Alta-costura e o objetivo de luxo**. Orientador: Gianni Montagna. 2018. Dissertação (Mestrado em Design de Moda) - Universidade de Lisboa, Lisboa, 2018.
- RIBANI, M; BOTTOLI, G. B. C; MELO, C. F. L; **Validação de métodos cromatográficos e eletroforéticos**. Química Nova, vol. 27, nº 5, p. 771-780, 2004.
- Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA); **Resolução RE nº 899, de 29/05/2003**.
- PEZON C. Intercommunalité et durabilité des services d'eau et d'assainissement en France et en Europe. Programme Politique Territoriale et Développement Durable 2003-2006. **Ministère de L'écologie et du Développement Durable. Rapport Final**, Décembre 2006.