ReGeo ISSN: 2177-3246

ESTUDO DA EXTRAÇÃO E REUTILIZAÇÃO DO CORANTE NATURAL DA CASCA DE CEBOLA (ALLIUM CEPA) PARA TINGIMENTOS EM TECIDO DE ALGODÃO VISANDO COR E PROTEÇÃO UV

STUDY OF THE EXTRACTION AND REUSE OF NATURAL DYE FROM ONION PEEL (ALLIUM CEPA) FOR DYEING COTTON FABRICS AIMING AT COLOR AND UV PROTECTION

ESTUDIO SOBRE LA EXTRACCIÓN Y REUTILIZACIÓN DE TINTE NATURAL DE LA CÁSCARA DE CEBOLLA (ALLIUM CEPA) PARA TEÑIR TEJIDOS DE ALGODÓN CON EL OBJETIVO DE OBTENER COLOR Y PROTECCIÓN CONTRA LOS RAYOS UV

https://doi.org/10.56238/revgeov17n7-144

Data de submissão: 07/06/2026 **Data de publicação:** 22/07/2026

Silgia Aparecida da Costa
Doutora
Instituição: Escola de Artes, Ciências e Humanidades - Universidade de São Paulo (EACH/USP)
E-mail: silgia@usp.br
Orcid: https://orcid.org/0000-0001-8331-538X
Lattes: http://lattes.cnpq.br/8121489511788009

Ana Carolina Zanin Costa
Graduanda
Instituição: Escola de Artes, Ciências e Humanidades - Universidade de São Paulo (EACH/USP)
E-mail: anazanincosta@usp.br
Lattes: http://lattes.cnpq.br/9584536798303639

Sophia Ribeiro Santos
Graduada
Instituição: Escola de Artes, Ciências e Humanidades - Universidade de São Paulo (EACH/USP)
E-mail: sophiaribeiro@usp.br
Orcid: https://orcid.org/0009-0003-0865-5976
Lattes: http://lattes.cnpq.br/9857615612155401

Rayana Santiago de Queiroz
Doutora
Instituição: Unidade de Negócios de Bionanomanufatura - Laboratório de Tecnologia Têxtil e Produtos de Proteção - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
E-mail: rayanasq@ipt.br
Orcid: https://orcid.org/0000-0003-1148-5595
Lattes: http://lattes.cnpq.br/6423421495115977

Jordana Rodrigues de Castro
Mestra
Instituição: Unidade de Negócios de Bionanomanufatura, Laboratório de Tecnologia Têxtil e Produtos de Proteção, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
E-mail: jordana@ipt.br
Lattes: http://lattes.cnpq.br/8320704163043405

ReGeo
ISSN: 2177-3246

Sirlene Maria da Costa
Doutora
Instituição: Escola de Artes, Ciências e Humanidades - Universidade de São Paulo (EACH/USP)
E-mail: sirlene@usp.br
Orcid: https://orcid.org/0000-0003-0522-0611
Lattes: http://lattes.cnpq.br/3653275277718256

RESUMO
A aceleração do ciclo produtivo da moda e o elevado impacto ambiental decorrente dos efluentes gerados pelo tingimento sintético demandam alternativas pautadas na economia circular. Este estudo investigou a valorização de resíduos agroindustriais por meio da utilização da casca de cebola (Allium cepa) como fonte de corante natural e agente de funcionalização para substratos têxteis de algodão. A inovação da pesquisa consistiu em avaliar o esgotamento da biomassa por meio de três extrações aquosas sucessivas (decocção a 70 °C), associadas à reutilização sequencial dos banhos de tingimento (até três reusos) sem adição extra de mordentes (sulfato de alumínio e potássio; sulfato ferroso). Os resultados colorimétricos (CIEL*a*b*) revelaram que a segunda extração da casca foi mais eficiente na transferência de massa e intensidade de cor, fato atribuído à hidratação prévia do material celular e à remoção parcial das ceras hidrofóbicas superficiais. Quanto à funcionalização protetora UV, após os tingimentos (sem mordente), o FPU elevou-se significativamente, atingindo valores de 34,47 (1ª Ext), 44,41 (2ª Ext) e 37,20 (3ª Ext). A aplicação de mordentes otimizou os resultados, com destaque para o sulfato ferroso, que alcançou a classificação de proteção excelente (FPU até 54,87). O processo de reuso dos banhos demonstrou viabilidade técnica, mantendo níveis de fotoproteção adequados (FPU > 15) na maioria dos primeiros ciclos de reuso, consolidando a estratégia como uma rota sustentável para o beneficiamento têxtil.

Palavras-chave: Tingimento Natural. Casca de Cebola (Allium Cepa). Resíduo Agroindustrial. Sustentabilidade. Fator de Proteção Ultravioleta (FPU).

ABSTRACT
The acceleration of the fashion production cycle and the high environmental impact resulting from effluents generated by synthetic dyeing demand alternatives based on the circular economy. This study investigated the valorization of agro-industrial waste using onion peel (Allium cepa) as a source of natural dye and functionalizing agent for cotton textile substrates. The innovation of the research consisted of evaluating the depletion of biomass through three successive aqueous extractions (decoction at 70 °C), associated with the sequential reuse of dyeing baths (up to three reuses) without the extra addition of mordants (aluminum and potassium sulfate; ferrous sulfate). The colorimetric results (CIEL*a*b*) revealed that the second peel extraction was more efficient in mass transfer and color intensity, a fact attributed to the prior hydration of the cellular material and the partial removal of surface hydrophobic waxes. Regarding UV protective functionalization, after dyeing (without mordant), the UPF increased significantly, reaching values of 34.47 (1st Ext), 44.41 (2nd Ext), and 37.20 (3rd Ext). The application of mordants optimized the results, especially ferrous sulfate, which achieved an excellent protection rating (UPF up to 54.87). The reuse process of the baths demonstrated technical viability, maintaining adequate photoprotection levels (UPF > 15) in most of the first reuse cycles, consolidating the strategy as a sustainable route for textile finishing.

Keywords: Natural Dyeing. Onion Peel (Allium Cepa). Agro-industrial Waste. Sustainability. Ultraviolet Protection Factor (UPF).

RESUMEN
La aceleración del ciclo de producción de la moda y el alto impacto ambiental derivado de los efluentes generados por los tintes sintéticos exigen alternativas basadas en la economía circular. Este estudio

investigó la valorización de residuos agroindustriales mediante el uso de la cáscara de cebolla (Allium cepa) como fuente de tinte natural y agente funcionalizante para sustratos textiles de algodón. La innovación de la investigación consistió en evaluar el agotamiento de la biomasa mediante tres extracciones acuosas sucesivas (decocción a 70 °C), asociadas a la reutilización secuencial de los baños de teñido (hasta tres reutilizaciones) sin la adición de mordientes (sulfato de aluminio y potasio; sulfato ferroso). Los resultados colorimétricos (CIEL*a*b*) revelaron que la segunda extracción de la cáscara fue más eficiente en la transferencia de masa y la intensidad del color, un hecho atribuido a la hidratación previa del material celular y a la eliminación parcial de las ceras hidrofóbicas superficiales. En cuanto a la funcionalización con protección UV, tras el teñido (sin mordiente), el UPF aumentó significativamente, alcanzando valores de 34,47 (1.ª Ext.), 44,41 (2.ª Ext.) y 37,20 (3.ª Ext.). La aplicación de mordientes optimizó los resultados, especialmente el sulfato ferroso, que logró un excelente índice de protección (UPF de hasta 54,87). El proceso de reutilización de los baños demostró viabilidad técnica, manteniendo niveles adecuados de fotoprotección (UPF > 15) en la mayoría de los primeros ciclos de reutilización, consolidando la estrategia como una vía sostenible para el acabado textil.

Palabras clave: Teñido Natural. Cáscara de Cebolla (Allium Cepa). Residuos Agroindustriales. Sostenibilidad. Factor de Protección Ultravioleta (UPF).

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas duas décadas, a produção mundial de vestuário duplicou, paralelamente, o volume médio de peças adquiridas anualmente pelo consumidor apresentou um aumento de 60% (Costanzo *et al*., 2026). A aceleração do ciclo produtivo, somada à oferta de preços mais baixos, permitiu que os consumidores comprassem mais roupas e as tratassem como descartáveis, mesmo após pouco uso (Nguyen *et al*., 2021). Esse cenário constitui um dos principais fatores que impulsionam tanto a degradação ambiental quanto às mudanças climáticas.

O processo de produção, engloba várias etapas desde a preparação das fibras até a confecção das peças, passando pela transformação em fios, tecidos e beneficiamento, exige, em cada fase, matérias-primas e procedimentos distintos. Consequentemente, cada etapa gera efluentes com características muito específicas e variadas (Ramos *et al.,*2021*)*.

Na etapa de beneficiamento, o tingimento, é o processo que depende de vários fatores, como pré-tratamento das fibras, corante para cada tipo de fibra, pH, relação de banho, temperatura e utilização de agentes auxiliares (Mendes *et al.,* 2026). Por ocorrer em meio úmido e demandar uso excessivo de produtos químicos, tais quais substâncias ácidas e alcalinas, peróxidos, corantes sintéticos, solventes, entre outros, essa operação gera efluentes de elevada toxicidade e potencial poluente (Younis *et al*., 2024). No caso, por exemplo do algodão que é uma fibra natural, são gasto um volume de água de 250–350 L/kg de tecido (Samanta *et al*., 2019), nestes dados não estão contabilizados o consumo no plantio. A água utilizada gera efluentes, e cerca de 54% de todos os efluentes contaminados com corantes libertados no ambiente têm origem nas indústrias têxteis, uma fábrica têxtil média produz cerca de 1,6 milhões de litros de águas residuais diariamente. Isto se traduz em cerca de 280.000 toneladas de corantes têxteis que entram em corpos d'água em todo o mundo a cada ano (Alves, Jorge, Pereira, 2024). Os corantes sintéticos são os que apresentam melhores solidez e cores vibrantes, mas são em sua maioria derivados do petróleo, tóxicos e alergênicos (Chakraborty, 2014; Mussak; Bechtold, 2009), e cerca de 40% destes corantes contém substâncias cancerígenas.

A urgência em diminuir os impactos ambientais do setor têxtil tem impulsionado a busca por estratégias sustentáveis e pautadas na economia circular (Alves; Jorge; Pereira, 2024). Nesse cenário, a utilização de corantes naturais ressurge como uma alternativa “eco-friendly”, caracterizada pela baixa toxicidade, biodegradabilidade e ausência de potencial carcinogênico (Vankar, Shukla, 2019). Devido a essas questões as investigações recentes buscam aliar o desenvolvimento tecnológico ao tingimento natural, integrando esses insumos a acabamentos funcionais que conferem às propriedades têxteis como proteção UV, ação antimicrobiana, repelência a insetos e efeito desodorizante (Danila, 2024; Otaviano *et al*., 2023; Santiago *et al*., 2023).

O expressivo potencial agrícola brasileiro posiciona o país como um dos principais geradores de resíduos agroindustriais, cujo descarte atinge cerca de um terço do volume total produzido (Aguiar *et al*., 2021). A valorização desses subprodutos reduz o desperdício dessa biomassa vegetal, rica em compostos fitoquímicos bioativos (como antioxidantes, fenóis e pigmentos). Consequentemente, tais resíduos consolidam-se como matrizes sustentáveis de baixo custo para a extração de insumos aplicáveis na indústria têxtil, conferindo propriedades funcionais e agregando valor aos artigos produzidos (Islam *et al*., 2013; Otaviano *et al*., 2023).

A cebola, formalmente conhecida como *Allium* cepa, é um dos vegetais mais cultivados no planeta. Devido às suas vantagens culinárias e para a saúde, é frequentemente utilizada em diversas culinárias. Com uma produção anual de 93,23 milhões de toneladas. Entre os subprodutos importantes das indústrias de processamento da cebola estão bulbos estragados, cascas, folhas e raízes. O descarte desses subprodutos prejudica o ecossistema e custa dinheiro às indústrias. Anualmente são gerados 0,6 milhões de toneladas somente nos países europeus. Notadamente, a casca da cebola contém uma concentração mais elevada de flavonoides, principalmente quercetina, em comparação com outras partes da cebola. Isso pode ser devido ao papel protetor da casca da cebola contra microrganismos do solo e a uma síntese aumentada de flavonoides pela proteção contra a exposição à luz UV. Ácidos fenólicos como os ácidos protocatequico e p-cumárico, bem como flavonoides como o kaempferol e a isorhamnetina e vários glicosídeos de quercetina (quercetina-3-O-glicosídeo, quercetina-4′-O-glicosídeo e quercetina-3,4′-O-diglicosídeo), também são encontrados. Esses compostos são documentados por seus impactos benéficos na saúde humana, exibindo propriedades antioxidantes, anticancerígenas, antidiabéticas, antiplaquetárias, anti-inflamatórias, antibacterianas e neuroprotetoras (Trigueros *et al*., 2024).

A casca de cebola (*Allium cepa*) vem sendo estudada para extração de corantes naturais e tingimentos têxteis. Bartolini *et al*., (2024) realizaram tingimentos de tecidos de algodão, linho, bambu, cânhamo e urtiga com corantes naturais extraídos da casca da cebola (*Allium cepa L*.), e os resultados foram relevantes em termos de fator de proteção (FPU).

No presente estudo, o extrato obtido a partir da casca da cebola (*Allium cepa*) foi empregado no tingimento de substratos têxteis de algodão. O caráter inovador da pesquisa reside no processo de extrações sucessivas da biomassa e na subsequente reutilização dos banhos de tingimento, visando o aproveitamento integral desse resíduo agroindustrial até o seu efetivo esgotamento (exaustão). A seleção do algodão justifica-se por se tratar de uma fibra natural de ampla aplicabilidade, reconhecida por suas propriedades intrínsecas de conforto térmico e vestibilidade.

2 METODOLOGIA

2.1 MATERIAIS

Neste estudo foi utilizado casca de cebola *Allium cepa*, doada gentilmente pelo Oba Hortifruti. O tecido plano de composição 100% algodão, estrutura tipo tela, na cor branca, pronto para tingir, gramatura de 118,0 ± 1,0 (g/m²), espessura média 0,269 ± 0,02 (mm), densidade de fios - média Trama 27,6 ± 0,7 (N° de fio/cm), densidade de fios - média urdume 38,3 ± 1,0 (N° de fio/cm), densidade de fio - média área total 65,9 ± 1,2 (N° de fio/cm²), título de fios - média trama 16,2 ± 0,3 (tex), título de fios - média urdume 15,9 ± 0,3 (tex), é 5.267FPU (Fator de Proteção UV), e coordenadas da cor L* 93,54, a* -0,17, b* 2,82, C* 2,83, hº 93,43.

2.2 EXTRAÇÃO

Foram utilizadas 20g de cascas de cebola seca a 45ºC por 24 horas, que foram colocadas em um béquer de 4000 mL com 2000 mL de água deionizada. Os béqueres foram colocados sobre uma chapa de aquecimento até atingir a temperatura de 70 ºC e mantidos nessa temperatura por 10 minutos. Após este período, os béqueres foram tampados e deixados esfriar por uma hora. Em sequência foi realizada a filtragem das amostras de extrato utilizando um tecido voil de poliéster, por não reter os corantes. Posteriormente foi realizada a etapa de aquecimento e de extração por mais duas vezes. Após cada extração as cascas eram retiradas dos tecidos *voil*, secas e utilizadas para nova extração por decocção, nas mesmas condições já descritas, foram realizadas mais 2 extrações das mesmas cascas para esgotar ao máximo os compostos corantes presentes.

2.2.1 Processo de tingimento

Os tingimentos foram realizados em uma relação de banho 1:20 (m/v) com extrato da casca de cebola em pH =5,14 (sem ajuste) em triplicata em tecido de algodão, e com 6 (%) (m/m) dos mordentes sulfato de alumínio e potássio ($KAl(SO_4)_2.12H_2O$) e sulfato ferroso ($FeSO_4.7H_2O$). Todas as amostras tingidas foram de tecido de algodão de 3 g de massa e tamanho (15x15) cm. Os banhos resultantes dos tingimentos foram recolhidos e reutilizados para novos tingimentos, e não foram utilizados mais mordentes sulfato de alumínio e potássio ($KAl(SO_4)_2.12H_2O$) e sulfato ferroso ($FeSO_4.7H_2O$), somente o que já estava presente no banho e não fixou a fibra. Na primeira e segunda extração os banhos foram reutilizados por 3 vezes, e na terceira extração o banho foi utilizado por mais uma vez.

2.2.2 Análise colorimétrica

As propriedades colorimétricas dos tecidos foram determinadas utilizando um espectrofotômetro Konica Minolta cm-26d, disponível no Laboratório de Pesquisa em Têxteis Técnicos (LPTT-EACH-USP), projeto FAPESP 2023/15419-9, sob iluminante D65, ângulo de observação de 10°, com medição de reflexão especular incluída, filtro UV e o software OnColor. As coordenadas CIEL*a*b* e seus respectivos ΔE* foram coletados, a intensidade da cor (K/S) também foi determinada.

2.2.3 Avaliação do fator de proteção UV do têxtil

Para avaliação do FPU dos tecidos sem tingir e tingidos foi utilizado espectrofotômetro T391 UV Protectin Tester – Sataton Instruments Technology Co., Ld, e software UV anti-Ultraviolet property tester. Os ensaios foram baseados nas normas "Sun Protective Clothing-evaluation and Classification – AS/NZS 4399-2017 e Vestuário – Fator de Proteção Ultravioleta – Requisitos e métodos de ensaio – ABNT NBR 16695:2018. Na Tabela 1 estão apresentadas as faixas de FPU e as categorias para classificação de FPU.

Tabela 1. Faixa FPU segundo ABNT NBR 16695:2018

Faixa FPU	Categoria de proteção RUV	Transmissão efetiva de RUV (%)	Coeficiente de variação
15 a 24	Proteção adequada	6,7 a 4,2	15, 20
25 a 39	Proteção Média	4,1 a 2,6	25, 30, 35
40 a 50, 50+	Proteção alta	≤ 2,5	40, 45, 50, 50+

Fonte: ABNT NBR 16695:2018

2.2.4 Permeabilidade ao ar, dos tecidos sem tingir e tingidos com extratos de cebola nas três extrações e com reuso dos banhos

Os ensaios de permeabilidade ao ar, nos tecidos sem tingir, e tingidos com extratos de cebola nas três extrações e com reuso dos banhos, foram realizados seguindo a norma ISO 9237:1995 - Têxtil - Determinação da permeabilidade ao ar de tecidos. Os corpos de prova medindo 15 x 15 cm foram avaliados utilizando um medidor de permeabilidade ao ar com controle eletrônico de fluxo FX 3300-III - Textest, com cabeçote de fixação de 20 cm² e 5 range. A pressão programada foi de 100 Pa e os resultados foram obtidos em L/m²/s como unidade de medida. O ensaio foi realizado no Laboratório de Tecnologia Têxtil do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (LTT - IPT).

2.2.5 Avaliação da solidez da cor

As propriedades de solidez da cor dos tecidos tingidos foram avaliadas quanto à resistência à transpiração ácida e alcalina, à lavagem e à exposição à luz artificial, de acordo com as seguintes normas: ABNT NBR ISO 139:2008; ISO 105-E04:2013; ISO 105-C06:2010 e ISO 105-A03:1993, respectivamente.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 encontra-se a cartela de cores obtida após os tingimentos com e sem mordentagem nas três extrações sucessivas das cascas de cebola e dos reusos dos banhos.

Figura 1. Imagem dos tecidos tingidos.



Ext= extração, SM= sem mordente, AL= mordente $KAl(SO_4)_2.12H_2O$), Fe= sulfato ferroso ($FeSO_4.7H_2O$)
Fonte: Elaborado pelos autores

A casca da cebola é rica em ceras naturais que protegem a planta contra a desidratação. Essas ceras são hidrofóbicas, o que significa que, no início da primeira extração, a água tem dificuldade em penetrar profundamente nas camadas internas da casca seca. Na primeira extração: a água gasta grande parte do tempo "lavando" apenas a superfície e tentando penetrar essa camada de cera. Na segunda extração: Como o material já passou por um ciclo de imersão (e possivelmente aquecimento), ele está completamente hidratado e a barreira cerosa foi fisicamente amolecida ou parcialmente removida. A água agora entra livremente no tecido vegetal, acessando as células onde o pigmento (principalmente a quercetina) está concentrado (Pucciarini *et al*., 2019; Jeffree, 2006).

O processo de extração funciona como uma lixiviação. Durante a primeira fervura ou imersão, a estrutura celular da casca sofre um estresse térmico e osmótico. Isso causa a ruptura das paredes celulares (lise). Na segunda extração, você não está mais extraindo pigmento de uma estrutura rígida e

intacta, mas de uma estrutura que já está "aberta" e porosa. A transferência de massa do pigmento para a água ocorre de forma muito mais eficiente.

Os pigmentos da cebola não são uma substância única, mas uma mistura de vários flavonoides. Alguns desses compostos são mais facilmente solúveis em água quente do que outros (Pucciarini *et al*., 2019; Jeffree, 2006). É possível que os pigmentos que conferem a cor mais intensa e profunda só conseguem ser liberados da matriz vegetal após um tempo de "amolecimento" prévio. A primeira extração remove os componentes mais leves e prontamente solúveis, enquanto a segunda extração "limpa" os componentes mais profundos e densos.

As coordenadas da análise colorimétrica do tecido de algodão tingida com extrato de cebola foram L*= 78,96, a*=4.12, b*= 18.27, C*= 18.73, h= 77.29 (Rahman, Koh, Hong, 2022), próximo aos encontrados neste trabalho para o tingimento sem mordente 1ª ExtSM foram L*=75,67, a* =9,99, b* =16,96, C*= 19.62 (Tabela 1). Em relação aos valores de força coloristica o melhor resultado foi 6,86 para a 1ª Ext KAl $(SO_4)_2.12H_2O$ (Tabela 1).

Tabela 2. Leituras colorimétricas no espaço CIEL*a*b* das amostras de tecido controle (sem tingir) e tingidos com extrato de casca de cebola e banhos de reuso, o ΔE foi calculado utilizando o tecido controle, e K/S foi determinado em 400 nm.

BT	Tecidos	Leitura colorimétrica					
		L*	a*	b*	C	ΔE*	K/S
-	Sem tingir (controle)	92,29	-0,23	3,41	3,42	-	-
1ª Extração casca de cebola	1ª ExtSM	75,67	9,99	16,96	19,62	13,55	2,24
	1ª Ext KAl $(SO_4)_2.12H_2O$	66,50	11,70	41,94	43,55	38,53	6,86
	1ªExt $FeSO_4.7H_2O$	55,96	0,91	14,30	14,33	10,89	3,15
Reuso utilizando banhos da 1ª Extração da casca de cebola	1º Reuso 1ª Ext SM	77,81	7,04	13,68	15,34	19,15	1,04
	1º Reuso 1ª Ext $(SO_4)_2.12H_2O$	84,99	1,85	25,73	25,80	23,58	1,27
	1º Reuso 1ª Ext $FeSO_4.7H_2O$	67,96	2,43	9,99	10,28	25,34	0,97
	2º Reuso 1ª Ext SM	77,22	7,66	12,98	15,07	19,52	1,08
	2º Reuso 1ª Ext $(SO_4)_2.12H_2O$	81,33	4,48	24,61	25,02	24,34	0,87
	2º Reuso 1ª Ext $FeSO_4.7H_2O$	70,59	2,19	9,83	10,07	22,76	1,13
	3º Reuso 1ª Ext SM	82,26	2,57	10,86	11,16	12,80	0,47
	3º Reuso 1ª Ext $(SO_4)_2.12H_2O$	88,53	1,76	10,75	10,89	8,48	0,26
	3º Reuso 1ª Ext $FeSO_4.7H_2O$	83,09	1,87	10,31	10,49	11,60	0,39
2ª Extração casca de cebola	2ª ExtSM	74,34	9,80	22,20	24,27	27,85	4,47
	2ª Ext KAl $(SO_4)_2.12H_2O$	72,38	9,54	55,46	56,28	56,58	6,79
	2ªExt $FeSO_4.7H_2O$	56,18	0,50	14,20	14,21	37,69	1,90
Reuso utilizando banhos da 2ª Extração da casca de cebola	1º Reuso 2ª Ext SM	76,81	7,13	13,38	15,16	19,83	1,04
	1º Reuso 2ª Ext $(SO_4)_2.12H_2O$	82,64	3,14	28,79	28,96	27,36	1,15
	1º Reuso 2ª Ext $FeSO_4.7H_2O$	68,13	2,17	9,591	9,83	25,05	1,08
	2º Reuso 2ª Ext SM	81,94	2,98	10,89	11,29	13,16	0,47
	2º Reuso 2ª Ext $(SO_4)_2.12H_2O$	87,64	1,64	13,26	13,36	11,05	0,36
	2º Reuso 2ª Ext $FeSO_4.7H_2O$	77,22	1,79	9,20	9,37	16,27	0,57

	3º Reuso 2ª Ext SM	86,37	1,27	8,77	8,68	8,13	0,24
	3º Reuso 2ª Ext $(SO_4)_2.12H_2O$	85,09	1,21	8,53	8,62	8,95	0,26
	3º Reuso 2ª Ext $FeSO_4.7H_2O$	74,78	2,07	9,13	9,37	15,49	0,67
3ª Extração casca de cebola	3ª ExtSM	76,69	7,00	23,81	24,81	26,68	3,00
	3ª Ext KAl $(SO_4)_2.12H_2O$	75,87	8,20	59,68	60,24	59,22	5,72
	3ªExt $FeSO_4.7H_2O$	60,32	8,84	13,99	14,11	33,73	1,94
Reuso banhos 3ª extração	1º Reuso 3ª Ext SM	83,36	3,07	11,06	11,48	12,21	0,45
	1º Reuso 3ª Ext $(SO_4)_2.12H_2O$	85,83	0,09	37,65	37,65	34,84	1,29
	1º Reuso 3ª Ext $FeSO_4.7H_2O$	71,76	4,51	19,76	20,97	26,74	1,77

BT= Banhos de tingimentos, Ext= extração, SM= sem mordente, AL= mordente KAl $(SO_4)_2.12H_2O$), Fe= sulfato ferroso ($FeSO_4.7H_2O$)
Fonte: Elaborado pelos autores

Os melhores resultados de fator de proteção foram para as amostras em que foram utilizados o sulfato ferroso como mordente. O primeiro reuso de todas das 1ª e 2ª extrações mantiveram o fator de proteção acima de 15, enquanto para terceira extração a amostra 1º Reuso 3ª Ext SM apresentou um fator de proteção de 11,06, segundo a norma ABNT NBR 16695:2018 Tabela 2, não apresenta proteção fator de proteção.

Bartolini *et al.*, (2024) realizaram tingimentos com extrato de casca de cebola, os resultados mostraram um aumento relevante do FPU em todos os tecidos investigados, elevando a categoria de proteção de insuficiente (FPU < 15) para boa no linho (FPU = 21–26), e para muito boa e excelente no algodão (FPU = 35–66) e no bambu (FPU = 48–56), respectivamente.

Na Tabela 2, também é possível observar que fator de proteção foi mais influenciado pela cor, ou seja, menor L* (luminosidade) do que a permeabilidade, nas condições estudadas.

Tabela 3. Fator de proteção e permeabilidade ao ar, dos tecidos sem tingir e tingidos com extratos de cebola nas três extrações e com reuso dos banhos.

Tecidos	FPU	Permeabilidade ao ar ($l/m^2/s$)
Sem tingir (controle)	5,26	307
1ª Extração casca de cebola		
1ª ExtSM	34,47	231
1ª Ext$KAl(SO_4)_2.12H_2O$	44,02	257
1ªExt $FeSO_4.7H_2O$	48,98	217
Reuso utilizando banhos da 1ª Extração casca de cebola		
1º Reuso 1ª Ext SM	20,84	214
1º Reuso 1ª Ext $KAl(SO_4)_2.12H_2O$	20,96	216
1º Reuso 1ª Ext$FeSO_4.7H_2O$	28,32	242
2º Reuso 1ª Ext SM	19,53	237
2º Reuso 1ª Ext$KAl(SO_4)_2.12H_2O$	18,40	241
2º Reuso 1ª Ext $FeSO_4.7H_2O$	36,52	233
3º Reuso 1ª Ext SM	14,07	212
3º Reuso 1ª Ext $KAl(SO_4)_2.12H_2O$	10,20	218
3º Reuso 1ª Ext$FeSO_4.7H_2O$	14,06	219
2ª Extração da casca de cebola casca resultante da 1ª Extração		
2ª ExtSM	44,41	230
2ª Ext$KAl(SO_4)_2.12H_2O$	52,24	199
2ª Ext $FeSO_4.7H_2O$	38,98	225
Reuso utilizando banhos da 2 º Extração casca de cebola		
1º Reuso 2ªExt SM	21,78	261
1º Reuso 2ª Ext $KAl(SO_4)_2.12H_2O$	18,45	246
1º Reuso 2ª Ext $FeSO_4.7H_2O$	30,02	220
2º Reuso 2ª Ext SM	12,32	234
2º Reuso 2ªExt $KAl(SO_4)_2.12H_2O$	9,59	247
2º Reuso 2ª Ext $FeSO_4.7H_2O$	20,08	254
3º Reuso 2ª Ext SM	8,89	245

3º Reuso 2ª Ext$KAl(SO_4)_2.12H_2O$	9,64	244
3º Reuso 2ª Ext$FeSO_4.7H_2O$	23,16	231
3 º Extração da casca de cebola casca resultante da 2ª Extração		
3º ExtSM	37,20	202
3º Ext$KAl(SO_4)_2.12H_2O$	36,70	234
3º Ext $FeSO_4.7H_2O$	54,87	211
Reuso utilizando banhos da 3 º Extração casca de cebola		
1º Reuso 3º Ext SM	11,06	245
1º Reuso 3º Ext$KAl(SO_4)_2.12H_2O$	16,22	229
1º Reuso 3º Ext$FeSO_4.7H_2O$	49,58	237

Ext= extração, SM= sem mordente, AL= mordente $KAl(SO_4)_2.12H_2O$), Fe= sulfato ferroso ($FeSO_4.7H_2O$)
Fonte: Elaborado pelos autores

Foram realizados ensaios de solidez ao suor ácido e alcalino e a lavagem doméstica (Tabela 4 e 5) para avaliar a resistência da cor a estas soluções. Os ensaios de solidez ao suor demonstraram que o complexo corante-fibra-mordente possui maior estabilidade química. De forma geral, os tecidos avaliados mantiveram notas altas (entre 3 e 4), o que é considerado muito bom para corantes naturais. Não houve discrepância nas notas atribuídas para o suor ácido e alcalino, sugerindo que o pH do suor humano não degrada facilmente a ligação do corante de cebola com a fibra de algodão.

A maioria das notas de transferência ficaram em 3/4 e 4, indicando baixa propensão a manchar outras peças durante o uso úmido. Os resultados para o algodão (CO) e a lã (WO) demonstraram foram bons. Leves quedas nas notas (2 ou 3) foram atribuídas pontualmente em tecidos como o acetato (CA) ou poliamida (PA) em banhos de reuso sem mordente.

Tabela 4. Resultado de solidez ao suor ácido e alcalino dos tecidos tingidos com extratos de cebola nas três extrações e com reuso dos banhos.

Tecidos	Mudança de cor	Transferência de cor Suor ácido						Mudança de cor	Transferência de cor Suor alcalino					
		CA	CO	PA	PES	PAC	WO		CA	CO	PA	PES	PAC	WO
1ª Extração casca de cebola														
1ª ExtSM	3	4	3/4	4	4	4	3	3/4	3/4	3/4	3/4	3/4	4	3

1ª Ext$KAl(SO_4)_2.12H_2O$	3	4	4	4	4	4	3	3/4	3	4	4	4	4	4
1ªExt $FeSO_4.7H_2O$	3	4	4	4	4	4	4	3/4	3	4	4	4	4	4
Reuso utilizando banhos da 1ª Extração casca de cebola														
1º Reuso 1ª Ext SM	3	4	3/4	4	4	4	3	2	3/4	3/4	3/4	3/4	4	3
1º Reuso 1ª Ext $KAl(SO_4)_2.12H_2O$	3	4	4	4	4	4	3	2	3	4	4	4	4	4
1º Reuso 1ª Ext$FeSO_4.7H_2O$	3	4	4	4	4	4	4	3/4	3	4	4	4	4	4
2º Reuso 1ª Ext SM	3	4	3/4	4	4	4	3	3/4	3/4	3/4	3/4	3/4	4	3
2º Reuso 1ª Ext$KAl(SO_4)_2.12H_2O$	3	4	4	4	4	4	3	3/4	3	4	4	4	4	4
2º Reuso 1ª Ext $FeSO_4.7H_2O$	3	4	4	4	4	4	4	3/4	3	4	4	4	4	4
3º Reuso 1ª Ext SM	3	4	3/4	4	4	4	3	2	3/4	3/4	3/4	3/4	4	3
3º Reuso 1ª Ext $KAl(SO_4)_2.12H_2O$	3	4	4	4	4	4	3	3	3	4	4	4	4	4
3º Reuso 1ª Ext$FeSO_4.7H_2O$	3	4	4	4	4	4	4	3/4	3	4	4	4	4	4
2ª Extração da casca de cebola casca resultante da 1ª Extração														
2ª ExtSM	3	4	3/4	4	4	4	3	3/4	3/4	3/4	3/4	3/4	4	3
2ª Ext$KAl(SO_4)_2.12H_2O$	3	4	4	4	4	4	3	3/4	3	4	4	4	4	4
2ª Ext $FeSO_4.7H_2O$	3	4	4	4	4	4	4	3/4	3	4	4	4	4	4
Reuso utilizando banhos da 2 º Extração casca de cebola														
1º Reuso	2	4	3/4	4	4	4	3	3/4	3/4	3/4	3/4	3/4	4	3

2ªExt SM														
1º Reuso 2ª Ext KAl $(SO_4)_2.12H_2O$	3	4	4	4	4	4	3	3/4	3	4	4	4	4	4
1º Reuso 2ª Ext $FeSO_4.7H_2O$	3	4	4	4	4	4	4	3/4	3	4	4	4	4	4
2º Reuso 2ª Ext SM	2	4	3/4	4	4	4	3	3/4	2	3/4	3/4	3/4	4	3
2º Reuso 2ªExt KAl $(SO_4)_2.12H_2O$	3	4	4	4	4	4	3	3/4	3	4	4	4	4	4
2º Reuso 2ª Ext $FeSO_4.7H_2O$	3	4	4	4	4	4	4	3/4	3	4	4	4	4	4
3º Reuso 2ª Ext SM	3	4	3/4	4	4	4	3	3/4	2	3/4	3/4	3/4	4	3
3º Reuso 2ª ExtKAl $(SO_4)_2.12H_2O$	2	4	4	4	4	4	3	3/4	3	4	4	4	4	4
3º Reuso 2ª Ext$FeSO_4.7H_2O$	3	4	4	4	4	4	4	3/4	3	4	4	4	4	4
3 º Extração da casca de cebola casca resultante da 2ª Extração														
3º ExtSM	3	4	3/4	4	4	4	3	3/4	3/4	3/4	3/4	3/4	4	3
3º ExtKAl $(SO_4)_2.12H_2O$	3	4	4	4	4	4	3	3/4	3	4	4	4	4	4
3º Ext $FeSO_4.7H_2O$	3	4	4	4	4	4	4	3/4	3	4	4	4	4	4
Reuso utilizando banhos da 3 º Extração casca de cebola														
1º Reuso 3º Ext SM	2	4	3/4	4	4	4	3	3/4	3/4	3/4	3/4	3/4	4	3
1º Reuso 3º ExtKAl $(SO_4)_2.12H_2O$	3	¾	3/4	4	4	4	3	3/4	3	4	3/4	3/4	3/4	3/4

1º Reuso 3º Ext$FeSO_4.7H_2O$	3	4	4	4	4	4	4	3/4	3	4	4	4	4	4

Ext= extração, SM= sem mordente, AL= mordente $KAl(SO_4)_2.12H_2O$), Fe= sulfato ferroso ($FeSO_4.7H_2O$)
CA – Acetate; CO – Cotton; PA – Polyamide; PES – Polyester; PAC – Acrylic; WO – Wool
Fonte: Elaborado pelos autores

Tabela 5. Resultado de solidez a lavagem dos tecidos tingidos com extratos de cebola nas três extrações e com reuso dos banhos.

Tecidos	Mudança de cor	CA	CO	PA	PES	PAC	WO
1ª Extração casca de cebola							
1ª ExtSM	3	4	3/4	4	4	4	3
1ª Ext$KAl(SO_4)_2.12H_2O$	3	4	4	4	4	4	3
1ªExt $FeSO_4.7H_2O$	3	4	4	4	4	4	4
Reuso utilizando banhos da 1ª Extração casca de cebola							
1º Reuso 1ª Ext SM	3	4	3/4	4	4	4	3
1º Reuso 1ª Ext $KAl(SO_4)_2.12H_2O$	3	4	4	4	4	4	3
1º Reuso 1ª Ext$FeSO_4.7H_2O$	3	4	4	4	4	4	4
2º Reuso 1ª Ext SM	3	4	3/4	4	4	4	3
2º Reuso 1ª Ext$KAl(SO_4)_2.12H_2O$	3	4	4	4	4	3/4	3
2º Reuso 1ª Ext $FeSO_4.7H_2O$	3	4	4	4	4	4	4
3º Reuso 1ª Ext SM	3	4	3/4	4	4	4	3
3º Reuso 1ª Ext $KAl(SO_4)_2.12H_2O$	3	4	3	4	4	4	3
3º Reuso 1ª Ext$FeSO_4.7H_2O$	3	4	4	4	4	4	4
2ª Extração casca de cebola							
2ª ExtSM	3	4	3/4	4	4	4	3
2ª Ext$KAl(SO_4)_2.12H_2O$	3	4	3	4	4	4	3
2ª Ext $FeSO_4.7H_2O$	3	4	4	4	4	4	4
Reuso utilizando banhos da 2 º Extração casca de cebola							
1º Reuso 2ªExt SM	2	4	3/4	4	4	4	3
1º Reuso 2ª Ext $KAl(SO_4)_2.12H_2O$	3	4	4	4	4	4	3
1º Reuso 2ª Ext $FeSO_4.7H_2O$	3	4	4	4	4	4	4
2º Reuso 2ª Ext SM	2	4	3/4	4	4	4	3
2º Reuso 2ªExt $KAl(SO_4)_2.12H_2O$	3	4	4	4	4	4	3
2º Reuso 2ª Ext $FeSO_4.7H_2O$	3	4	4	4	4	4	4

3º Reuso 2ª Ext SM	3	4	3/4	4	4	4	3
3º Reuso 2ª Ext$KAl(SO_4)_2.12H_2O$	2	4	4	4	4	4	3
3º Reuso 2ª Ext$FeSO_4.7H_2O$	3	4	4	4	4	4	4
3ª Extração casca de cebola							
3º ExtSM	3	4	3/4	4	4	4	3
3º Ext$KAl(SO_4)_2.12H_2O$	3	4	4	4	4	4	3
3º Ext $FeSO_4.7H_2O$	3	4	4	4	4	4	4
Reuso utilizando banhos da 3 º Extração casca de cebola							
1º Reuso 3º Ext SM	2	4	3/4	4	4	4	3
1º Reuso 3º Ext$KAl(SO_4)_2.12H_2O$	3	3/4	3/4	4	4	4	3
1º Reuso 3º Ext$FeSO_4.7H_2O$	3	4	4	4	4	4	4

Ext= extração, SM= sem mordente, AL= mordente $KAl(SO_4)_2.12H_2O$), Fe= sulfato ferroso ($FeSO_4.7H_2O$)
CA – Acetate; CO – Cotton; PA – Polyamide; PES – Polyester; PAC – Acrylic; WO – Wool
Fonte: Elaborado pelos autores

4 CONCLUSÃO

A casca de *Allium cepa* constitui um resíduo promissor, de baixo custo e ecologicamente viável para o tingimento funcional de fibras naturais de algodão. O método de extrações sucessivas provou que a biomassa residual não se esgota no primeiro ciclo; pelo contrário, a segunda extração demonstrou maior rendimento colorimétrico devido provavelmente à lise celular e porosidade adquiridas no tratamento térmico inicial.

A análise do Fator de Proteção UV evidenciou o sucesso da funcionalização do substrato, transpondo o tecido de algodão de uma condição ineficaz contra a radiação ultravioleta (FPU 5,26) para categorias de proteção média a alta (FPU > 40), alinhando-se aos requisitos das normas AS/NZS 4399-2017 e ABNT NBR 16695:2018. A mordentagem com sulfato ferroso potencializou os índices de fotoproteção, além de modificar as coordenadas cromáticas dos tecidos. De forma geral, os tecidos avaliados mantiveram notas altas (entre 3 e 4), o que é considerado muito bom para corantes naturais.

Por fim, a estratégia de reutilização dos banhos residuais atendeu aos preceitos da economia circular e da química verde, haja vista que os primeiros ciclos de reuso preservaram propriedades funcionais satisfatórias sem a necessidade da adição de químicos. Limitações no esgotamento foram observadas apenas a partir do terceiro ciclo de reuso da terceira extração, estabelecendo o limite operacional do processo. Em suma, o estudo valida um modelo de reaproveitamento integral de resíduos agrícolas, agregando valor técnico, comercial e ecológico ao setor têxtil.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) – Projeto 2023/15419-9.

REFERÊNCIAS

Aguiar, A., Milessi, Suzane, T., Mulinari, D.R., Lopes, M.S., Costa, S.M. Candido, R. G. Sugarcane straw as a potential second-generation feedstock for biorefinery and white biotechnology applications. **Biomass & Bioenergy**. V. 144, 105896, 2021. https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105896

Alves, M.A.B.N., Jorge, A.M.S., Pereira, J.F.B. The biotechnology revolution in textile dyeing. **Trends in Biotechnology**. 1-4, 2024. https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2024.02.010

Bartolini, D., Pallottelli, L., Sgargetta, S., Varfaj, I., Macchiarulo, A., Galli, F., Romani, A., Sardella, R. Clementi, C. Natural cellulosic biofunctional textiles from onion (Allium cepa L.) skin extracts: A sustainable strategy for skin protection. **Industrial Crops and Products**. 118295, 2024.

Bechtold, T., Turcanu, A., E Ganglberger, E., Geissler, S. Natural dyes in modern textile dyehouses — how to combine experiences of two centuries to meet the demands of the future? **Journal of Cleaner Production**. v. 11, 5, 499-509, 2023. https://doi.org/10.1016/S0959-6526(02)00077-X.

Chakraborty, J.N**. Fundamentals and practices in colouration of textiles**. 2. ed. New Delhi: Woodhead Publishing, 2014.

Costanzo, A., Pascolini, P., Cordara, M., Niero, M., Brondi, C. Durability in fashion: A cross-domain review of definitions, measurements approaches, and environmental implications. **Cleaner Environmental Systems**. V. 21, 100448-100448, 2026. https://doi.org/10.1016/j.cesys.2026.100448.

Danila, A. Natural dyes and pigments in protective and healthcare textiles. Ed. Shahid Ul Islam. **Renewable Dyes and Pigments**. 253-269, 2024. https://doi.org/10.1016/B978-0-443-15213-9.00006-5.

Islam, S., Shahid, M., Mohammad, F. Perspectives for natural product-based agents derived from industrial plants in textile applications - a review. **Journal of Cleaner Production**. v. 57, 2 - 18, 2013. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.06.004.

Jeffree, C.E. **The Fine Structure of the Plant Cuticle.** In Annual Plant Reviews. Biology of the Plant Cuticle (eds M. Riederer and C. Müller), 23, 2006. https://doi.org/10.1002/9780470988718.ch2.

Mendes, F.D.P., Coelho, J.R.A., Fernandes, M.J.G., Fernandes, A.M., Silva, C.J.S., Gonçalves, M.S.T. Sustainable application of eugenol-derived azo dyes on cotton fabrics. **Dyes and Pigments**. V. 252, 113741, 2026. http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.6308726

Mussak, R., Bechtold, T. **Natural colorants in textile dyeing**. In: Bechtold, T., Mussak, R. (Eds.). Handbook of natural colorants. Chichester: John Wiley and Sons, 2009.

Nguyen, H.T., Le, D.M.D., Ho, T.T.M., Nguyen, P.M. Enhancing sustainability in the contemporary model of CSR: a case of fast fashion industry in developing countries. **Social Responsibility Journal**. V. 17. 4, 578–591, 2021. https://doi.org/10.1108/SRJ-03-2019-0108.

Otaviano, B.T.H., Sannomiya, M., De Lima, F.S., Tangerina, M.M.P., Tamayose, C.I., Pena F., M.J., Freeman, H.S., Flor, J.P., Da Costa, S.A, Costa. Pomegranate peel extract and zinc oxide as a source of natural dye and functional material for textile fibers aiming for photoprotective properties.

Materials Chemistry and Physics. V. 293, 126766, 2023. https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2022.126766.

Pucciarini, L., Ianni, F., Petesse, V., Pellati, F., Brighenti, V., Volpi, C., Gargaro, M., Natalini, B., Clementi, C., Sardella, R. Onion (*Allium cepa* L.) Skin: A Rich Resource of Biomolecules for the Sustainable **Production of Colored Biofunctional Textiles. Molecules**. v. 24, 634, 2019. https://doi.org/10.3390/molecules24030634.

Rahman, M.M., Koh, J., Hong, K.H. Coloration and multi-functionalization of cotton fabrics using different combinations of aqueous natural plant extracts of onion peel, turmeric root, and pomegranate rind. **Industrial Crops and Products.** V. 188, 115562, 2022. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115562.

Ramos, M.D.N., Lima, Pereira, J.P.P., De Aquino, S.F., Aguiar, A. A critical analysis of the alternative treatments applied to effluents from Brazilian textile industries. **Journal of Water Process Engineering**. V. 43, 102273, 2021. https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102273.

Samanta, K.K., Pratick, P.P., Samanta, P., Santanu Basak, S. **Water consumption in textile processing and sustainable approaches for its conservation.** Ed(s): Subramanian Senthilkannan Muthu, Water in Textiles and Fashion, Woodhead Publishing, v. 41-59, 2019.

Santiago, D., Cunha, J., Cabral, I. Chromatic and medicinal properties of six natural textile dyes: A review of eucalyptus, weld, madder, annatto, indigo and woad. **Heliyon**. V. 9, 11, 2023. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e22013.

Trigueros, E., Benito-Román, Ó., Oliveira, A. P., Videira, R. A., Andrade, P. B., Sanz, M. T., Beltrán, S. Onion (*Allium cepa* L.) Skin Waste Valorization: Unveiling the Phenolic Profile and Biological Potential for the Creation of Bioactive Agents through Subcritical Water Extraction. **Antioxidants.** V.13, 2, 205, 2024. https://doi.org/10.3390/antiox13020205.

Vankar, P. S., Shukla, D. **The textile institute book series**. Elsevier, 2019.

Younis, Sherif A.; Elshafie, Mohamed; Moustafa, Yasser M. **Textile effluent treatment and recycling**. In: Sustainable Innovations in the Textile Industry. [s.l.]: Elsevier, 505–539, 2024.