

**ESTUDO SOBRE O IMPACTO AMBIENTAL NO PROCESSO DE  
TINGIMENTO DE UMA CAMISETA DE MALHA DE ALGODÃO 100%**DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/conresol.5.22.XV-008>

Ismael S. Oliveira (\*), Vanessa S. G. Garcia, Sueli I. Borrely, Jorge M. Rosa, Renata Colombo

\* Escola de Artes, Ciências e Humanidades USP; Instituto SENAI de Tecnologia Têxtil, Moda e Confeção.

**RESUMO**

Analisou-se um processo de tingimento de tecido de malha de algodão, utilizado na confecção de camisetas. Foram abordados os consumos de água, energia elétrica e térmica, emissão de dióxido de carbono na atmosfera e a toxicidade aguda (CE<sub>50</sub>) para *Daphnia similis*. O tingimento apresentou um consumo de água de 17,5 litros, consumo das energias elétrica e térmica em  $6,47 \times 10^5$  Joules, com emissão de  $8,72 \times 10^{17}$  moléculas de CO<sub>2</sub> na atmosfera, apresentando alta toxicidade para o microrganismo testado. O consumo de água foi equivalente a um banho com duração de 6 minutos e o consumo de energia compara-se a utilização de um microondas doméstico durante aproximadamente 15 minutos no aquecimento de um prato pronto.

**PALAVRAS-CHAVE:** Toxicidade aguda; Energia térmica; Energia elétrica; Tingimento têxtil; Consumo de água.**ABSTRACT**

A cotton knitted fabric dyeing process, used in the making of t-shirts, was analyzed. The consumption of water, electrical and thermal energy, emission of carbon dioxide in the atmosphere and acute toxicity (EC<sub>50</sub>) for *Daphnia similis* were addressed. The dyeing presented a water consumption of 17.5 liters, consumption of electrical and thermal energy in  $6.47 \times 10^5$  Joules, with emission of  $8.72 \times 10^{17}$  molecules of CO<sub>2</sub> in the atmosphere, presenting high toxicity for the tested microorganism. Water consumption was equivalent to a bath lasting 6 minutes and energy consumption compared to using a domestic microwave for approximately 15 minutes to heat a lunch.

**KEY WORDS:** Acute toxicity; Thermal energy; Electricity; Textile dyeing; Water consumption.**INTRODUÇÃO**

A atividade têxtil no Brasil representa aproximadamente US\$ 45 bilhões, o equivalente a 7% do valor total da produção da indústria de transformação brasileira. Os empregos gerados pela cadeia têxtil atingiram 1,5 milhão em 2017 cerca de 18,7% do total da produção industrial (Prado, 2020). Apesar da importância para os países em desenvolvimento, a fabricação de têxteis é uma questão complexa em relação ao meio ambiente, uso da água e consequente poluição dos sistemas receptores de água. O processamento têxtil consiste em várias operações, como lavagem, desengomagem, lavagem, branqueamento, tingimento e estamparia. Portanto, o efluente têxtil industrial real possui uma matriz extremamente complexa contendo muitos ingredientes químicos além de corantes (Aziz et al., 2018; Bilińska et al., 2019). O monitoramento da carga tóxica de efluentes é uma ação quase que obrigatória nos dias atuais para a proteção dos recursos hídricos. Como exemplo, três tipos de corantes reativos foram avaliados quanto à toxicidade por Duarte Baumer et al., (2018). Os autores aplicaram um sistema oxidativo incluindo sistemas enzimáticos como alternativa para o tratamento de efluentes têxteis. Seus estudos com processos oxidativos foram capazes de degradar produtos orgânicos, entretanto a toxicidade não foi reduzida em efeitos agudos e crônicos para os microrganismos *D. magna* e *V. fischeri*. Portanto, o objetivo do presente trabalho foi analisar fatores relacionados aos custos ecológicos: consumo de água, emissão de dióxido de carbono, consumo de energia elétrica e térmica durante o processo de tingimento de algodão (CO) para a confecção de uma camiseta.

**MATERIAIS E MÉTODOS**

O tecido foi tingido em uma cor específica, Pantone 19-1619, selecionada do Caderno de Tendências do SENAI-SP Outono/Inverno 2020. A toxicidade aguda do efluente real obtido do tingimento foi testada através do microcrustáceo *Daphnia similis*. A fibra de algodão foi selecionada para avaliação por ser a fibra mais utilizada na indústria da confecção nacional (Prado, 2020).

Insumos: *Reactive Yellow 145*, RY145; *Reactive Red 239*, RR239; *Reactive Blue 222*, RB222 (Golden Tecnologia), ácido sulfúrico 98%, hidróxido de sódio 98%, metassilicato de sódio, carbonato de sódio 98%, peróxido de hidrogênio 50% e



cloreto de sódio 98% (Labsynth); sequestrante, detergente não iônico e catalase (Golden Tecnologia), todos utilizados sem purificação prévia.

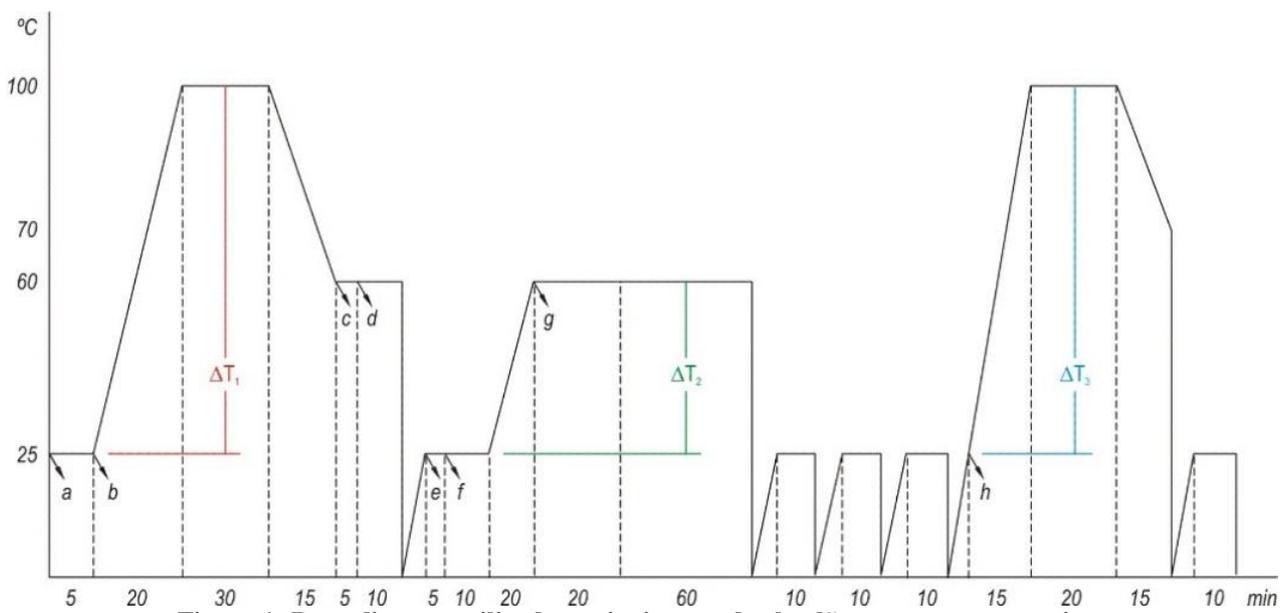
Substrato: malha de CO 100% produzida em circular Orizio, modelo John/C, 3,0 alimentadores por polegada, diâmetro de 30 polegadas, finura 28, operando em 30 RPM, utilizando-se fio cardado 30/1 Ne, gramatura final igual a 142 g m<sup>-2</sup> e 0,90 m de largura, com rendimento de 3,90 m kg<sup>-1</sup>.

Tingimento: O processo de tingimento foi realizado utilizando-se relação de banho (RB) igual a 1:10. A formulação com os produtos químicos utilizados no tingimento encontra-se descrita no Tabela 1. O procedimento foi conduzido de acordo com as recomendações dos fornecedores de insumos.

**Tabela 1. Quantidade de insumos químicos utilizados no tingimento**

Insumos químicos	Unid.	Quant.	Insumos químicos	Unid.	Quant.
Dispersante	g L <sup>-1</sup>	1,00	<i>e</i> Cloreto de sódio	g L <sup>-1</sup>	40,00
Detergente não-iônico	g L <sup>-1</sup>	1,00	RY145	% (sms)	0,91
<i>a</i> Metassilicato de sódio	g L <sup>-1</sup>	0,50	<i>f</i> RR239	% (sms)	1,22
Hidróxido de sódio	mL L <sup>-1</sup>	2,00	RB222	% (sms)	0,76
<i>b</i> Peróxido de hidrogênio	mL L <sup>-1</sup>	4,00	Carbonato de sódio	g L <sup>-1</sup>	5,00
<i>c</i> Ácido sulfúrico	mL L <sup>-1</sup>	0,14	<i>g</i> Hidróxido de sódio	mL L <sup>-1</sup>	1,00
<i>d</i> Catalase	g L <sup>-1</sup>	0,50	<i>h</i> Dispersante	g L <sup>-1</sup>	1,00

O processo de tingimento encontra-se demonstrado graficamente na Figura 1. No gráfico encontram-se o tempo de processamento têxtil, utilizado para determinar o consumo de energia elétrica, a sequência de adição de produtos químicos e a temperatura de aquecimento, para o cálculo da quantidade necessária de energia térmica e eventual quantidade de CO<sub>2</sub> liberada na atmosfera.



**Figura 1: Procedimento utilizado no tingimento de algodão com corantes reativos**

As coordenadas da cor Pantone 19-1619 no sistema CIELab ( $\Delta L^*$ ,  $\Delta a^*$  e  $\Delta b^*$ ) obtidas no tingimento foram determinadas por espectrofotometria sob iluminante D<sub>65</sub>, 10° (Konica Minolta CM-3600d).

### Custos ecológicos

Para determinar o consumo de energia elétrica para tingimento, foram utilizados os parâmetros da Jet HT Riviera Eco Metalwork, considerando a capacidade de 50 kg e potência instalada de 7,4 kWh. O consumo teórico para cada quilograma de substrato processado foi determinado pelo tempo do processo, em minutos, aplicando a equação 1 (Rosa *et al.*, 2014).

$$Q_E = \frac{t \times P_I \times 6.00 \times 10^4}{C_E} \quad (\text{equação 1})$$

Onde:  $Q_E = J \text{ kg}^{-1}$ ;  $t = \text{tempo de processo em min}$ ;  $P_I = \text{potência instalada}$ ;  $C_E = \text{capacidade do equipamento}$   
Para a quantidade de energia térmica necessária para cada quilograma de substrato, aplicou-se a equação 2

$$Q_T = (\Delta T_1 + \Delta T_2 + \Delta T_3) \times C_{p_{H_2O}} \times m_{H_2O} \times 10^{-3} \quad (\text{equação 2})$$



Onde:  $J \text{ kg}^{-1}$ ;  $T = K$ ;  $C_p = J \text{ kg}^{-1} K^{-1}$ ,  $m = g$ , adotando massa específica da água =  $1.0 \text{ g cm}^{-3}$  e relação de banho 1:10 (10 L para cada 1 kg de banho)

De acordo com o fornecedor de gás combustível em São Paulo (Comgás), o gás é composto por uma mistura gasosa contendo 89,0 % de metano, 6,0 % de etano e 1,8 % de propano. Com base nos padrões de poder calorífico inferior (PCI) estabelecidos pela ASTM D 3588-98 como sendo  $3,70 \times 10^7 \text{ J m}^{-3}$  para metano,  $7,00 \times 10^7 \text{ J m}^{-3}$  para etano e  $9,23 \times 10^7 \text{ J m}^{-3}$  para propano. Um PCI de  $4,02 \times 10^7 \text{ J m}^{-3}$  foi calculado para a mistura gasosa (Silva e Bianchini, 2021). Para calcular o volume de gás necessário para aquecer a quantidade de água para tingir um quilograma de substrato, utilizando-se um gerador de vapor Etna GHV-2000 com capacidade de produção de  $5,56 \times 10^{-1} \text{ kg s}^{-1}$ , pressão operacional máxima permitida (POMP) igual a 1,0 MPa, e operando com 85% de eficiência como parâmetro, foi utilizada a equação 3.

$$V_1 = \frac{Q_T}{4,02 \times 10^7 \times E_{SG}} \quad (\text{equação 3})$$

Onde:  $V_1 = \text{m}^3 \text{ kg}^{-1}$ ,  $Q_T = J \text{ kg}^{-1}$ ;  $E_{SG} = \text{Eficiência do gerador de vapor}$

Para calcular a massa de emissões de CO<sub>2</sub> durante o fornecimento de energia térmica, assumindo que o gás é ideal e está em condições normais de pressão e temperatura, foi utilizada a equação 4 (Faloppa et al., 2021).

$$mCO_2 = \frac{P \times V_1 \times 4,40 \times 10^{-2} \times 2,66}{R \times T} \quad (\text{equação 4})$$

Onde:  $mCO_2 = \text{kg}$ ,  $P = 101,3 \text{ kPa}$ ,  $V_1 = \text{m}^3$ ,  $R = 8314 \text{ m}^3 \text{ kPa mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ,  $T = 273,15 \text{ K}$

O consumo de água, adotando relação de banho de 1:10, foi determinado pela equação 5.

$$C_{H_2O} = RB_1 + RB_2 + RB_3 + RB_n \quad (\text{equação 5})$$

Onde:  $C_{H_2O} = L \text{ kg}^{-1}$ , utilizado em cada etapa do processo

### Toxicidade do efluente

Ensaio de ecotoxicidade foram realizados com dafnídeos seguindo normas da ABNT (ABNT, 2016), utilizando uma diluição seriada dos efluentes e vinte organismos foram expostos a cada concentração de efluente. A concentração letal efetiva foi o ponto final (EC<sub>50</sub>), significando a concentração em que 50% dos indivíduos foram danificados após um período de exposição especificado: 48 h para *D. similis*, o que significa imobilização.

## RESULTADOS

### Tingimento

As coordenadas obtidas no tingimento foram comparadas com as coordenadas da cor Pantone 19-1619. Os valores de  $\Delta L^*$ ,  $\Delta a^*$  e  $\Delta b^*$ , além do valor da Distância Euclidiana ( $\Delta E^*$ ) no espaço CIELab, estão descritos na Tabela 2.

**Tabela 2. Quantidade de insumos químicos utilizados no tingimento**

Eixos	Pantone 19-1619	Cor no CO	Desvios parciais	Desvio total ( $\Delta E^*$ )
$L^*$	44,57	45,01	-0,44	
$a^*$	14,92	14,12	0,80	1,06
$b^*$	-13,56	-13,02	-0,54	

O valor de  $\Delta E^*$  entre o tingimento e o padrão (Pantone) ficou em 1,06 e não excedendo 1,5 ponto. Esse dado é aceitável quando comparado aos padrões utilizados no setor brasileiro de confecção.

### Custos ecológicos

Os Valores dos consumos de água, energia elétrica, energia térmica e emissão de CO<sub>2</sub> encontram-se demonstrados na Tabela 3.

**Tabela 3. Custos ecológicos do tingimento de CO**

Variáveis estudadas por kg de algodão tingido		
Consumo de água (L)	70	
Energia	Elétrica ( $Q_E$ )	$2,58 \times 10^6 \text{ J}$
	Térmica ( $Q_T$ )	$7,73 \times 10^3 \text{ J}$
Consumo de combustível ( $V_1$ )	$1,63 \times 10^{-4} \text{ m}^3$	
Massa de CO <sub>2</sub> ( $mCO_2$ )	$6,37 \times 10^{-5} \text{ kg}$	

Foram necessários 70 L de água para o tingimento de um quilograma de tecido, uma quantidade considerada é alta levando-se em consideração a escassez de água potável em todo o mundo (Ozturk e Cinperi, 2018; Shiwanthi, Lokupitiya e Peiris, 2018).

As quantidades de energia elétrica e térmica necessária para o tingimento foram de  $2,58 \times 10^6 \text{ J kg}^{-1}$  e  $7,73 \times 10^3 \text{ J kg}^{-1}$ , respectivamente. A quantidade de energia térmica exigiu um volume de  $1,63 \times 10^{-4} \text{ m}^3$  de combustível, cuja queima foi



responsável pela emissão de uma massa de CO<sub>2</sub> igual a  $6,37 \times 10^{-5} \text{ m}^3$ , emitindo um montante igual a  $8,72 \times 10^{17}$  moléculas de CO<sub>2</sub> na atmosfera.

Toxicidade do efluente

Os valores de toxicidade aguda para *D. similis* estão descritos na Tabela 4, a seguir.

**Tabela 4. Média da toxicidade aguda**

Ensaio	CE <sub>50</sub> (%)
1	4,71
2	4,35
3	4,67
<b>Média</b>	<b>4,58</b>

Atualmente, a toxicidade em têxteis, ou apresentada em efluentes de tingimento, tem sido monitorada e pesquisada, sendo uma das principais preocupações ambientais (Liang et al., 2017; Oliveira et al., 2018). Além disso, a crescente demanda de corantes na indústria têxtil o torna uma das principais fontes de problemas de poluição da água e, na última década, a remoção de corantes azo de águas residuais tem atraído considerável atenção devido aos danos que causa aos organismos aquáticos, e danos à saúde pública de curto prazo (Meireles et al., 2014; Rocha et al., 2017).

## CONCLUSÕES

Diante da preocupação mundial foi formado em 2018 um grupo denominado Laboratório de Moda Sustentável, com empresas brasileiras e instituições de pesquisa como C&A, Rhodia, Renner, SENAI-SP e FGV, dentre outras. O principal objetivo do grupo é criar uma forma de identificação em peças de vestuário, contendo informações sobre toxicidade, consumo de água e energia, além da emissão de CO<sub>2</sub> na atmosfera. Um kg do tecido contemplado neste estudo possibilita a produção de quatro camisetas, tamanho G (medida nacional).

Portanto, uma camiseta de CO tingida na cor Pantone 19-1619, apresentaria as seguintes informações:

- Consumo de água: 17,5 Litros;
- consumo de energia elétrica:  $6,45 \times 10^5$  Joules;
- consumo de energia térmica:  $1,93 \times 10^3$  Joules;
- emissão de CO<sub>2</sub>:  $8,72 \times 10^{17}$  moléculas e;
- toxicidade do efluente: alta.

Só para se ter uma ideia do consumo de água em litros para o tingimento de uma camiseta, poder-se-ia efetuar uma comparação com o consumo despendido em um banho de chuveiro. Segundo relatório da SABESP (2022), um banho de 15 minutos de chuveiro instalado em residência do tipo casa consome, em média, 45 litros de água. Portanto, o consumo em litros de uma camiseta seria o equivalente a um banho de aproximadamente 6 minutos de duração, e o consumo das energias somadas seria o equivalente ao uso de um microondas doméstico durante aproximadamente 15 minutos no aquecimento de um prato pronto.

## Agradecimentos

Os autores agradecem a Archroma, Golden Tecnologia e a Escola SENAI “Francisco Matarazzo”.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT. **NBR 12713: Aquatic ecotoxicology - Acute toxicity - Test with Daphnia spp (Clacedora, Crustacea)**. São Paulo.
2. AZIZ, H. A.; RAZAK, M. H. A.; RAHIM, M. Z. A.; KAMAR, W. I. S. W.; ABU AMR, S. S.; HUSSAIN, S.; LEEUWEN, J. VAN. *Evaluation and comparison the performance of titanium and zirconium(IV) tetrachloride in textile wastewater treatment*. **Data in Brief**, v. 18, p. 920–927, 2018.
3. BILIŃSKA, L.; BLUS, K.; GMUREK, M.; LEDAKOWICZ, S. *Coupling of electrocoagulation and ozone treatment for textile wastewater reuse*. **Chemical Engineering Journal**, v. 358, p. 992–1001, 15 fev. 2019.
4. DUARTE BAUMER, J.; VALÉRIO, A.; SOUZA, S. M. A. G. U. DE; ERZINGER, G. S.; FURIGO, A.; SOUZA, A. A. U. DE. *Toxicity of enzymatically decolorized textile dyes solution by horseradish peroxidase*. **Journal of Hazardous Materials**, v. 360, p. 82–88, 15 out. 2018.
5. FALOPPA, M. A.; CORREIA, J. B. F.; SILVA, T. S.; DANIEL, B. R.; ALMEIDA, R. S. R.; SPOTO, M. H. F.; ROSA, J. M.; BORRELY, S. I. *Study of the Water and Energy Consumptions in the Dyeing of Cotton with Curcuma Longa by Pad-Batch Process Using Response Surface Methodology*. **Journal of Natural Fibers**, p. 1–13, 29 jun. 2021.
6. LIANG, J.; NING, X.; KONG, M.; LIU, D.; WANG, G.; CAI, H.; SUN, J.; ZHANG, Y.; LU, X.; YUAN, Y. *Elimination and ecotoxicity evaluation of phthalic acid esters from textile-dyeing wastewater*. **Environmental Pollution**, v. 231, p. 115–122, 1 dez. 2017.



7. MEIRELES, G.; ABE, F.; ACCORONI, K.; ZANONI, M.; OLIVEIRA, D. *The commercial textile dye disperse red 73 induces toxicity in Danio rerio and Daphnia similis*. **Toxicology Letters**, v. 229, p. S112, 10 set. 2014.
8. OLIVEIRA, G. A. R. DE et al. *A test battery for assessing the ecotoxic effects of textile dyes*. **Chemico-Biological Interactions**, v. 291, p. 171–179, 1 ago. 2018.
9. OZTURK, E.; CINPERI, N. C. *Water efficiency and wastewater reduction in an integrated woolen textile mill*. **Journal of Cleaner Production**, v. 201, p. 686–696, 10 nov. 2018.
10. PRADO, M. V. *Sectorial Report of Brazilian Textile Industry*. São Paulo, 2020.
11. ROCHA, O. P.; CESILA, C. A.; CHRISTOVAM, E. M.; BARROS, S. B. DE M.; ZANONI, M. V. B.; OLIVEIRA, D. P. DE. *Ecotoxicological risk assessment of the “Acid Black 210” dye*. **Toxicology**, v. 376, p. 113–119, 1 fev. 2017.
12. ROSA, J. M.; TAMBOURGI, E. B.; SANTANA, J. C. C.; ARAUJO, M. C.; MING, W. C.; TRINDADE, N. B. *Development of colors with sustainability: A comparative study between dyeing of cotton with reactive and vat dyestuffs*. **Textile Research Journal**, v. 84, n. 10, 2014.
13. SABESP. *Dicas e testes*. Disponível em <https://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=184>. Acesso em: 11 mar. 2022.
14. SHIWANTHI, S.; LOKUPITIYA, E.; PEIRIS, S. *Evaluation of the environmental and economic performances of three selected textile factories in Biyagama Export Processing Zone Sri Lanka*. **Environmental Development**, v. 27, p. 70–82, 1 set. 2018.
15. SILVA, R. R.; BIANCHINI, V. K. *Estudo sobre custos ecológicos no tingimento de tecido utilizado em linha automotiva*. **Química Têxtil**, v. 141, p. 6–17, 2021.