

Pre-alveamento de materiais têxteis com ozônio e avaliação de suas propriedades de superfície, físicas e tintoriais

Vera Lucia Vogel Faustino dos Santos¹, Ivonete Oliveira Barcellos²,
Heiderose Herpich Piccoli³

¹Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial – SENAI - Rua São Paulo, 1147 - Victor Konder - 89012-001–Blumenau–SC – verasantos@sc.senai.br

²Universidade Regional de Blumenau – FURB - R. Antônio da Veiga, 140 - Itoupava Seca, Blumenau - SC, 89012-900 - iob@furb.br

³Instituto Federal de Santa Catarina – IFSC - Av. Getúlio Vargas, 830 - Centro, Jaraguá do Sul - SC, 89251-000 - heide@ifsc.edu.br

RESUMO

A inovação dos processos de beneficiamento de materiais têxteis é cada vez mais importante para possibilitar a redução no consumo de água e nos tempos de processo na indústria têxtil. O consumo de fibras têxteis no Brasil em 2014 foi de 13,3 kg por habitante, e para beneficiar estes tecidos são utilizados em média 80 litros de água para cada quilograma de substrato tratado. Este estudo visou aprimorar o processo de pré-alveamento para tecidos têxteis utilizando o ozônio com o objetivo de reduzir o consumo de água, de aditivos químicos, de tempo e bem como de energia. O potencial de redução do ozônio (2,07 V) é maior que o potencial de redução do peróxido de hidrogênio (1,77 V), o que faz com que o ozônio seja um excelente agente oxidante. A avaliação dos resultados de resistência física (estouro e tração), propriedades tintoriais (K/S, FC % e DE) e do grau de branco do tecido, indicam que o processo de pré-alveamento com ozônio a frio é promissor na indústria têxtil, pois além de eliminar a utilização de peróxido de hidrogênio e hidróxido de sódio, reduz o tempo de processo em 60% e diminui o consumo de água em 50%.

Palavras-chave: Materiais têxteis. Algodão. Poliéster. Pré-alveamento. Ozônio.

ABSTRACT

The innovation of the processes of the textile materials is becoming more and more important to reduce the amount of water and the use of machinery time in the textile industry. The consumption of textile fibers in Brazil in 2014 was 13,3 kilograms per capita and to produce these fabrics with 80 liters of water on average are used to each kilo of treated substract. This study aims to improve the pre-bleaching process for textile fabrics using the ozone with the objective to reduce the consumption of water, chemical products, time as well as energy. The potential for reducing ozone (2.07 V) is greater than the reduction potential of hydrogen peroxide (1.77 V), which makes the ozone is an excellent oxidising agent. The evaluation of results in resistance (strength and traction), dyeing properties (K/S, FC % and DE) and the whiteness degree of pre-bleached fabrics using cold ozone indicates that this is a promising process for the textile industry, since it not only eliminates the use of hydrogen peroxide and sodium hydroxide but also allows eliminating the process in at least 60% also reducing water consumption in 50%.

Keywords: Textile materials. Cotton. Polyester. Pre-bleaching process. Ozone.

1. INTRODUÇÃO

A inovação dos processos de beneficiamento de substratos têxteis é cada vez mais importante para possibilitar a competitividade da indústria têxtil. O Brasil beneficiou em 2014 aproximadamente 296.105 toneladas de fios, 929.274 toneladas de tecidos planos e 467.972 toneladas de malha, distribuídos em 62,9% de fibra de

algodão, 25,8% de fibras de poliéster e o restante em outras fibras o que correspondeu a 10,8 kg/habitante. Porém o consumo nacional atingiu 13,3 kg/habitante, maior que a média mundial, e esta diferença foi suprida pelas importações do setor [1].

O fluxograma de uma indústria têxtil pode ser muito variado, dependendo do produto final a ser produzido. Após o processo de fiação, todas as etapas desde a engomagem, preparação, tinturaria e/ou estamparia e finalmente o acabamento, consomem grandes volumes de água gerando elevados volumes de efluentes; e para tanto necessitam em média de 70 a 250 litros de água para cada quilograma de substrato tratado [2,4]. Esse consumo depende da natureza do substrato têxtil, do tipo de máquina e da relação de banho utilizada, dos tipos de processos e tempos utilizados na preparação e lavagem dos tingimentos. Essas características em cada empresa vão gerar um número maior ou menor de efluente têxtil [5,6].

Aproximadamente 97,5% da água do mundo correspondem à massa líquida dos oceanos, mares e lagos salgados, sendo, portanto, imprópria para o consumo humano. A água doce corresponde aproximadamente 2,5% do total de água do planeta. Desse total 99% estão nos mananciais subterrâneos e presos em geleiras, e apenas 0,007% estão na superfície em lagos e rios. Desse montante, a nível mundial, aproximadamente 70% é utilizado na agricultura, 8% para uso doméstico e 22% se consome na atividade industrial [7]. Atualmente mais de um bilhão de pessoas vivem em regiões com escassez de água e a previsão é que até 2025 esse contingente aumente para 3,5 bilhões [8,9].

O pré-alvejamento é uma operação que tem por objetivo remover as ceras e graxas, substâncias solúveis e a coloração amarelada natural das fibras do algodão, aumentando a sua brancura, a fim de preparar o substrato têxtil para os tratamentos subsequentes, como tingimento de cores claras e ou estamparia. O pré-alvejamento é feito na presença de peróxido de hidrogênio, surfactante, silicatos, álcalis e agentes complexantes, dando ao algodão as propriedades necessárias para as etapas seguintes, o que pode ser a tinturaria, estamparia ou simplesmente para a comercialização de "pronto para tingir" [10].

Os processos sustentáveis estão se tornando essenciais para a indústria têxtil. Os pesquisadores vêm desenvolvendo novos métodos tornando os tratamentos enzimáticos mais eficientes e viáveis substituindo os produtos químicos mais agressivos nos processos de pré-alvejamento e purga das fibras celulósicas. Novos processos de alvejamento estão sendo desenvolvidos como, por exemplo, branqueamento de fibras com enzimas, plasma, microondas, ultrassom e ozônio como agente oxidante [11,12,13,14].

O ozônio foi reconhecido pela primeira vez em 1840 pelo químico alemão Christian Friedrich Schönbein (1799-1868) ao fazer experimentos sobre a eletrólise da água onde percebeu um cheiro acentuado que caracterizava um novo gás. O termo "ozônio" deriva da palavra grega "ozein", que significa "cheirar". Vinte anos mais tarde a nova substância foi revelada como um alótropo triatômico de oxigênio. Em 1856 Thomas Andrews mostrou que o ozônio foi formado apenas por oxigênio e Soret em 1863 estabeleceu a relação entre o oxigênio e o ozônio ao declarar que três volumes de oxigênio produzem dois volumes de ozônio [3]. O potencial de redução do ozônio (2,07 V), em meio ácido, é maior que o potencial de redução do peróxido de hidrogênio (1,77 V), o que faz com que o ozônio seja um excelente agente oxidante. O ozônio é capaz de participar de um grande número de reações com compostos orgânicos e inorgânicos. Desde o início do século XX, o poder desinfetante de ozônio é conhecido, porém, nas suas duas últimas décadas este agente químico tem sido utilizado para a purificação da água e no tratamento de efluentes têxteis [3,15,16,17,18].

Em estudos aplicando o ozônio em tecidos planos, após a desengomagem enzimática a 75°C, foi obtida uma remoção de amido satisfatória sem perda de resistência [19]. Em 2012 estes mesmos autores desenvolveram um novo método de aplicação de ozônio para substituir o banho redutivo do tingimento de poliéster reduzindo desta forma o consumo de água [20].

Estudos mostram que o melhor grau de branco obtido por ozonização em tecido de algodão por impregnação ocorre em pH 6,5-7,5, em pick-up de 60%, em temperatura ambiente com 5 minutos de exposição foi de 33,62 pela fórmula Stensby no espectrofotômetro Minolta modelo 3600d (Konica Minolta, Toquio, Japão) [21, 22].

Foi obtido um grau de branco similar ao processo convencional de pré-alvejamento utilizando o ozônio no branqueamento de tecidos de lã em temperatura ambiente e com uma redução de 75% no tempo de processo diminuindo também o consumo de água e energia [23].

O processo de desbotamento com ozônio é considerado uma tecnologia limpa, pois reduz o nível de impacto ambiental pela possibilidade de minimizar o consumo de água quente e eliminar o uso de produtos químicos e pedras pomes utilizadas no processo convencional. Foi realizado o desbotamento do jeans utilizando uma máquina da empresa Plus da Jeanologia (Valência, Espanha). Esta máquina de acabamento está equipada com um gerador de energia elétrica que capta o oxigênio do ar para gerar ozônio. O ozônio resultante é injetado diretamente no tambor contendo os tecidos, previamente desengomados para serem desbota-

dos com ozônio [24,25].

Foi mostrado que o ozônio aplicado numa máquina de tingimento é capaz de reduzir o consumo de água em 57% e o tempo de processo em 40% na lavagem do corante hidrolisado sem comprometer a qualidade do tingimento [26].

A influência de vários aditivos (ácido peracético, peróxido de hidrogênio e agente tensoativo) foram estudados para determinar a eficiência de um processo otimizado de pré-alveijamento com ozônio em escala piloto em máquina de tingir Mini-soft (Mini-soft E, Thies, Alemanha) na relação de banho 1:10. Os resultados encontrados revelam que o tecido alvejado somente com o ozônio apresenta um índice de brancura CIE 41,52 inferior aos testes com os aditivos. A adição do ácido peracético aumentou o grau de branco para 50,52 CIE, ao contrário, da adição de H₂O₂ que reduziu o grau de branco para 19,98 CIE. A adição do tensoativo aumentou consideravelmente a eficiência do processo, resultando em um grau de branco de 63,79 CIE e uma hidrofiliabilidade de 10 segundos. As condições de trabalho otimizadas utilizaram a adição de um tensoativo em 2 g/l, dosagem de ozônio em 50 g/h, pH 5, num tempo de tratamento de 45 minutos em temperatura ambiente numa relação de banho de 1:10 [27].

Foram determinadas as condições de trabalho com o ozônio para o processo de pré-alveijamento em tecido meia malha 100% algodão combinando a impregnação do tecido com a aplicação do ozônio em meio gasoso, numa câmara de ozonização adaptada. O estudo obteve os seguintes parâmetros de trabalho: pH neutro, pick-up de impregnação de 55%, concentração de 0,5 g/L de umectante, tempo de 7 min de ozonização e alimentação de 12 g/h de ozônio na câmara de ozonização. Após a aplicação do ozônio, foi necessário um banho de 5 min em 100 ml de água destilada a 60°C para remover os resíduos de impurezas solúveis que não foram oxidadas. Nestas condições a faixa média do grau de branco obtida foi de 54,88 WI CIE e os desvios padrões foram baixos caracterizando uma boa qualidade de reprodução e homogeneidade de pré-alveijamento nas amostras [28].

Foi estudado o alveijamento da fibra de urtiga com ozônio e foi concluído que este processo poderia ser utilizado como uma alternativa viável para a substituição do processo convencional com peróxido de hidrogênio, não só devido à sua eficiência, mas também pelo menor tempo de aplicação a temperatura ambiente, tornando-se assim um processo menos agressivo [29].

O presente estudo teve como objetivo geral aprimorar o processo de pré-alveijamento de materiais têxteis (algodão e mescla algodão/poliéster) tanto para tecidos em malha quanto para tecidos planos com a utilização do ozônio, reduzindo o consumo de água, tempo e energia e também avaliar a influência das características físico-químicas desse método de preparação no processo de tingimento com corantes reativos e dispersos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais têxteis utilizados nesse trabalho foram: tecido de malha 100% algodão (CO), tecido de malha com fio de mistura íntima 50% poliéster e 50% algodão (PES/CO) e tecido plano percal 180 fios 100% algodão (CO). Na execução dos ensaios de pré-alveijamento para a preparação do substrato têxtil foi utilizado um aparato adaptado que compreende o gerador de ozônio (marca Ozonebras modelo Z400, Brasil), o cilindro de oxigênio industrial (CAS: 7782-44-7, Linde gases), o foulard (modelo 450 P V, Metal Working, Brasil) e a rama de secagem (modelo MD 350, Metal Working, Brasil). O tecido foi impregnado em foulard com pick-up de 50% e colocado na câmara de ozônio por 7 minutos para as malhas e 14 minutos para o tecido plano. Após foi lavado por 5 minutos a 60°C em relação de banho 1:10 e secado em rama a 100°C. Os ensaios e a técnica de avaliação dos materiais obtidos após o pré-alveijamento proposto, estão apresentados no **Quadro 1**.

Todos os ensaios foram realizados pelos autores nos laboratórios da FURB - Universidade Regional de Blumenau e laboratórios do SENAI – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial de Blumenau.

Quadro 1: Análises das propriedades físicas, físico-químicas, análise da superfície dos tecidos, análises colorimétricas e ensaios de solidez.

Avaliação das Propriedades Físicas		
Determinação da Gramatura dos Tecidos	norma ABNT NBR 10591:2008	balança analítica SHIMADZU mod AY-220 – cap 220g x 0,1mg, Brasil
Determinação da Resistência ao Estouro	norma ABNT NBR 13384:1995	Mullen Tester modelo REG-MED MTA 2000, Brasil
Determinação da Resistência à Tração e Alongamento pelo Ensaio GRAB	norma NBR 14727:2001	EMIC DL2000, Instron, Brasil
Avaliação das Propriedades Morfológicas da Superfície dos Tecidos		
Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	Microscópio eletrônico de varredura modelo PHENON Pro X SEM (<i>Scanning Electron Microscope</i>) com EDS (<i>Energy Dispersive X-Ray Detector</i>) (Anacom Científica, importado Phenom World Holanda)	
Análise de Raio X		
Avaliação das Propriedades Físico-Químicas		
Determinação da Hidrofilidade de Tecidos	norma ABNT NBR 13000	
Determinação da Hidrofilidade por capilaridade vertical	norma JIS L1907	
Determinação da Remoção de Amido	norma NBR 13350/95	
Determinação da Dureza dos Tecidos	método Golden/FURB	
Determinação do pH em Artigos Têxteis	norma NBR 13433:2007	
Avaliação das Propriedades Colorimétricas		
Determinação do Esgotamento de Banho	Corantes reativos: 418 nm Amarelo; 541 nm Vermelho; 604 nm Azul. Corantes dispersos: 495 nm Amarelo; 529 nm Rubi; 606 nm Marinho	Espectrofotômetro Shimadzu UV-1800, Japão
Determinação do Grau de Branco	Grau de Brancura WI CIE D65/10° pela equação: $WCIE = Y + 800(xn - x) + 1700(y - y)$	Espectrofotômetro de remissão, modelo CM-3610d, marca Minolta, Estados Unidos.
Determinação do K/S	Equação de Kubelka e Munke: $\frac{K}{S} = \frac{(1-R)^2}{2R}$	
Determinação da Força Colorística (FC%)	Pela equação: $Força = 100 \cdot \frac{[(K/S)_{Amostra} @ Max abs / (K/S)_{Padrão} @ Max abs]}$	
Determinação da Diferença de Cor	(DE) CMC (2:1)	
Ensaio de Solidez		
Solidez da cor a lavagem doméstica e comercial a 60°C.	norma ABNT NBR ISO 105-C06:2010	Wash tester, Mathis, Brasil
Determinação da Solidez a Fricção	norma ABNT NBR ISO 105-X12:2007	Crockmeter eletrônico, Mathis, Brasil

Foram testadas algumas formulações de pré-alvejamento, conforme mostra a **Tabela 1**, para identificar a formulação que apresente resultados de grau de branco e hidrofilidade similares ao processo convencional, sem comprometer a resistência, bem como as propriedades tintoriais do material têxtil. Para os tecidos planos foram avaliadas formulações sem a desengomagem prévia (formulação 4), com a desengomagem por impropriação (formulação 5) e com a desengomagem por esgotamento (formulações 6 e 7).

Tabela 1: Formulações para os Pré-alvejamentos com o Processo Ozônio e Convencional dos diferentes Tecidos.

TECIDO	FORMULAÇÃO	ADITIVO QUÍMICO	QUANTIDADE	PROCESSO	
Malhas 100% CO e PES/CO	Convencional Esgotamento 1	Detergente ML 8770 (Hanier)	0,80 g/L	Banho 1 - RB 1:10 30 min a 98°C	
		Umectante DI 5610 (Hanier)	0,35 g/L		
	Ozônio Impregnação 2	H ₂ O ₂ 50% (Buschle & Lepper)	1,50 %	0,16 ml/L 0,08 g/L	Banho 2 - RB 1:10; 10 min a 60°C
		NaOH 50% (Buschle & Lepper)	2,50 ml/L		
Malhas 100% CO e PES/CO	Ozônio Impregnação 3	Compound de enzimas e tensoativo (Akmey Brasil)	2,00 g/L	Impregnação pH 6,90 10 min a 50°C Pick-up 50% 7 min ozonização	
	Ozônio Impregnação 4	Dispersante DP FE 5061 (Hanier) Umectante TS 1023 (Hanier)	1,00 g/L 1,00 g/L		
Plano 100% CO	Ozônio Impregnação 5	Compound de enzimas e tensoativo (Akmey Brasil)	2,00 g/L	Impregnação pH 6,50 10 min a 50°C Pick-up 50% 14 min ozonização	
	Ozônio Impregnação 6	Compound de enzimas e tensoativo (Akmey Brasil) Amilase EZ 9030 (Hanier) Sequestrante DP FE 5061 (Hanier)	3,00 g/L 2,00 g/L 0,50 g/L		
	Ozônio Esgotamento 7	Compound de enzimas e tensoativo (Akmey Brasil) Amilase EZ 9030 (Hanier)	2,00 g/L 2,00 g/L	RB 1:10 pH 6,60 15 min a 60°C 14 min ozonização	
	Ozônio Esgotamento 8	Compound de enzimas e tensoativo (Akmey Brasil) Amilase EZ 9030 (Hanier)	2,00 g/L 2,00 g/L		
		Convencional Esgotamento 8	Umectante TS 1023 (Hanier) Lubrificante SF 6086 (Hanier) Amilase EZ 9030 (Hanier)	1,00 g/L 1,00 g/L 2,00 g/L	Banho 1 - RB 1:10 15 min 60°C
	Lubrificante SF 6086 (Hanier) Sequestrante DP FE 5061 (Hanier) Umectante TS 1023 (Hanier)		1,00 g/L 0,50 g/L 1,00 g/L	Banho 2 - RB 1:10 45 min 95°C	
	H ₂ O ₂ 50% (Buschle & Lepper) NaOH 50% (Buschle & Lepper)		4,00 ml/L 1,60 %		Banho 3 - RB 1:10 10 min a 55°C
	Arostid POX BR Liq (Archroma) Ácido Acético Glacial (Buschle & Lepper)		1,80 % 0,20 ml/L		

Obs.: CO = algodão, PES = poliéster; RB=Relação de Banho.

Os tecidos tratados com ozônio e pelo processo convencional foram submetidos ao tingimento em máquina de tingimento HT (modelo AT1-SW, Kimak, Brasil) com corantes dispersos (malha 50/50% PES/CO) e corantes reativos bifuncionais (Malha 100% CO e Tecido Plano 100% CO) conforme **Tabela 2**.

Tabela 2: Formulações para o Tingimento.

TECIDO	ADITIVO QUÍMICO	QUANTIDADE	PROCESSO
Malha 100% CO e Plano 100% CO	Amarelo colorsupra CQ-RL conc. (color index yellow 145, Color química do Brasil)	0,30 %	30 min a 60°C
	Vermelho colorsupra CQ-4BL (color index red 195, Color química do Brasil)	0,11 %	
	Azul colorsupra CQ-BF (color index blue 222, Color química do Brasil)	0,10 %	
	Cloreto de Sódio (Buschle & Lepper)	30 g/L	
	Carbonato de Sódio (Buschle & Lepper)	10 g/L	
Malha 50/50% PES/CO	Rubi colorpes S-EGFL 250% (color index red 73, Color química do Brasil)	0,085 %	30 min a 130°C
	Marinho colorpes EX-SF 300% (mix, Color química do Brasil)	0,037 %	
	Amarelo colorpes 4GN 200% (color index yellow 211, Color química do Brasil)	0,032 %	
	Colorperse DI 650 (dispersante Color química do Brasil)	1,00 g/L	
	Amarelo colorsupra CQ-RL conc. (color index yellow 145, Color química do Brasil)	0,30 %	30 min a 60°C
	Vermelho colorsupra CQ-4BL (color index red 195, Color química do Brasil)	0,11 %	
	Azul colorsupra CQ-BF (color index blue 222, Color química do Brasil)	0,10 %	
	Cloreto de Sódio (Buschle & Lepper)	30 g/L	
	Carbonato de Sódio (Buschle & Lepper)	10 g/L	

Fonte: Fornecedor de corantes Color química do Brasil.

Os tingimentos das amostras de malha com fibra de poliéster foram realizados com corante disperso a 130°C (**Figura 1a**) e as fibras de algodão, dos tecidos de malha e plano, foram tintos a 60°C com corantes reativos bifuncionais, nas respectivas curvas de tingimento (**Figura 1b**).

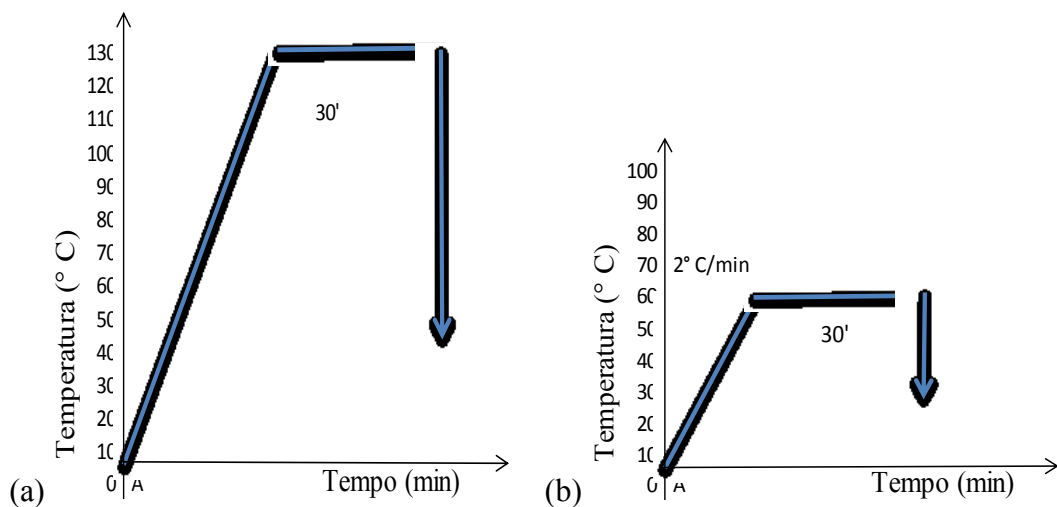


Figura 1: Curva de tingimento de poliéster (a) e curva de tingimento de algodão (b). Fonte: Fornecedor de corantes Color química do Brasil.

3. RESULTADOS

Os resultados dos testes físicos e químicos das amostras testadas pelo processo de pré-alveamento com ozônio estão apresentados nas Tabelas 3 e 4.

Na Tabela 3 são apresentados os resultados dos testes físicos do pré-alveamento quanto à gramatura e resultados de resistência ao estouro para os tecidos de malha e a resistência à tração para os tecidos planos.

Tabela 3: Resultados dos Testes Físicos

TECIDO	FORMULAÇÃO PRÉ-ALVEJAMENTO	GRAMATURA	ESTOURO	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO	
		g/m^2 ^{dp}	Kgf/cm^2 ^{dp}	TRAMA Kgf^{dp}	URDUME Kgf^{dp}
Malha 100% CO	Sem Tratamento	147,85 ^{0,36}	7,10 ^{0,02}		
	Convencional 1	166,38 ^{0,08}	8,83 ^{0,23}		
	Ozônio 2	160,21 ^{0,19}	6,45 ^{0,14}		
	Ozônio 3	153,24 ^{0,15}	6,74 ^{0,40}		
Malha PES/CO 50/50%	Sem Tratamento	132,41 ^{0,40}	10,54 ^{0,14}		
	Convencional 1	154,74 ^{0,20}	9,51 ^{0,17}		
	Ozônio 2	143,37 ^{0,11}	9,81 ^{0,16}		
	Ozônio 3	146,76 ^{0,36}	9,34 ^{0,13}		
Plano 100% CO	Sem Tratamento	130,42 ^{0,44}		32,80 ^{0,24}	37,50 ^{0,34}
	Convencional 8	138,03 ^{0,29}		33,68 ^{0,33}	44,76 ^{0,47}
	Ozônio 4	139,38 ^{0,16}		30,49 ^{0,48}	38,53 ^{0,45}
	Ozônio 5	143,19 ^{0,32}		31,50 ^{0,50}	38,93 ^{0,50}
	Ozônio 6	132,07 ^{0,33}		30,75 ^{0,39}	37,84 ^{0,31}
	Ozônio 7	133,43 ^{0,47}		28,61 ^{0,36}	41,47 ^{0,46}

dp = desvio padrão (todos os testes foram realizados em triplicata)

Na Tabela 4 pode-se observar a remoção de goma obtida pelos processos de pré-alveamento com ozônio comparando com a remoção de goma do tecido submetido ao processo convencional. A engomagem do tecido plano contém em sua formulação amido e foram utilizadas enzimas (amilase) no processo de pré-alveamento com ozônio para promover a sua degradação. O processo de pré-alveamento convencional além da utilização das enzimas, conta com a presença do peróxido de hidrogênio e hidróxido de sódio para promover a dissolução do amido.

Tabela 4: Resultados de Residual de Goma

TECIDO	FORMULAÇÃO PRÉ-ALVEJAMENTO	TEGEWA*	% GOMA
Plano 100% CO	Sem Tratamento	1	> 2,5
	Convencional 8	9	< 0,10
	Ozônio 4	2	1,5 a 2,5
	Ozônio 5	2	1,5 a 2,5
	Ozônio 6	5	0,3 a 0,5
	Ozônio 7	6	0,2 a 0,3

* Escala Violeta de degradação de amido TEGEWA utilizada para avaliação do grau de desengomagem, (Manual da Merck).

As Figuras 2, 3 e 4 mostram as imagens do MEV da avaliação da superfície dos materiais das amostras tratadas pelo processo convencional e pelo processo de ozônio de pré-alveamento. Nessas imagens é

possível constatar como os processos de pré-alveamento convencional e a proposta com o ozônio promoveram a remoção do amido no tecido plano e sua influência nas torções dos filamentos das fibras de algodão nos tecidos.

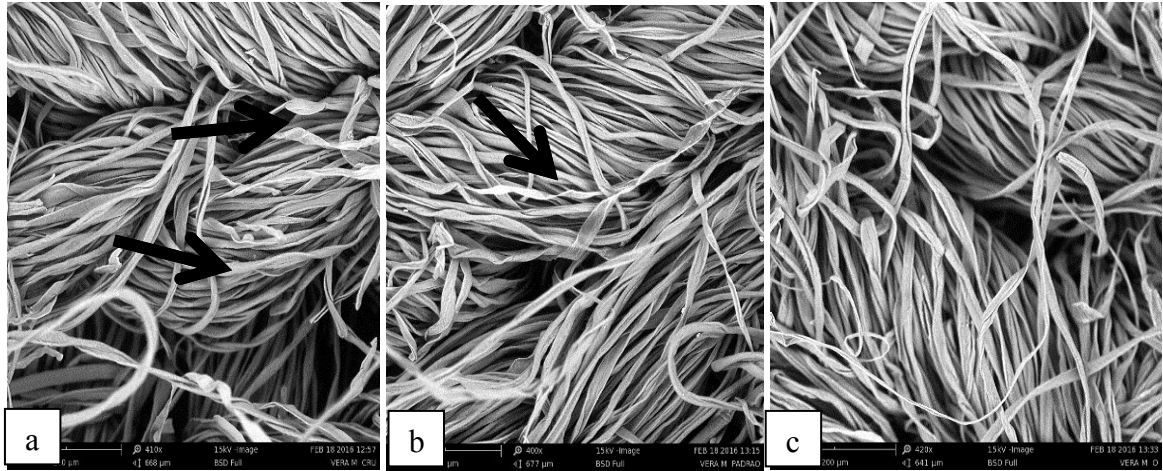


Figura 2: Imagem MEV da malha 100% CO sem tratamento (a); pré-alveado convencional (b) e pré-alveado com ozônio(c).

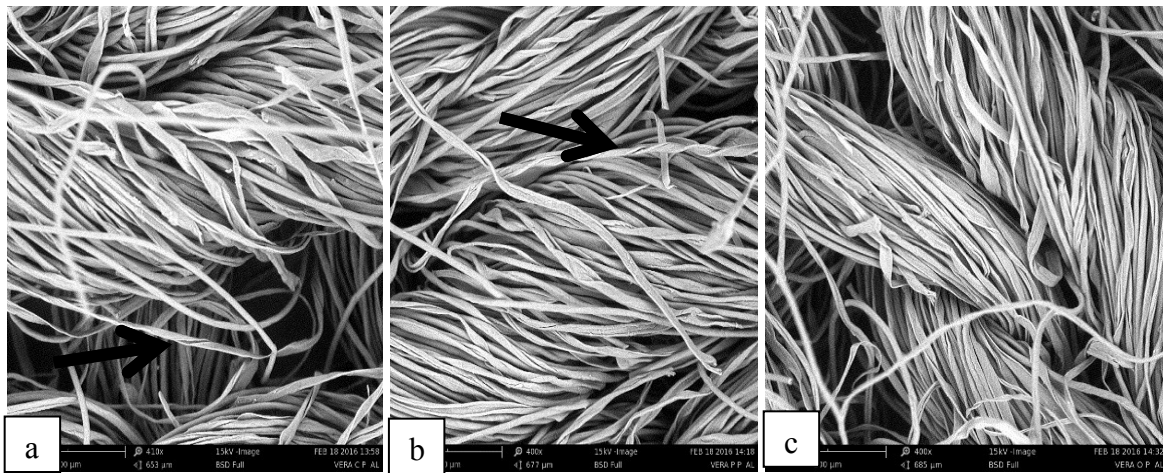


Figura 3: Imagem MEV da malha PES/CO sem tratamento (a); pré-alveado convencional (b) e pré-alveado com ozônio(c).

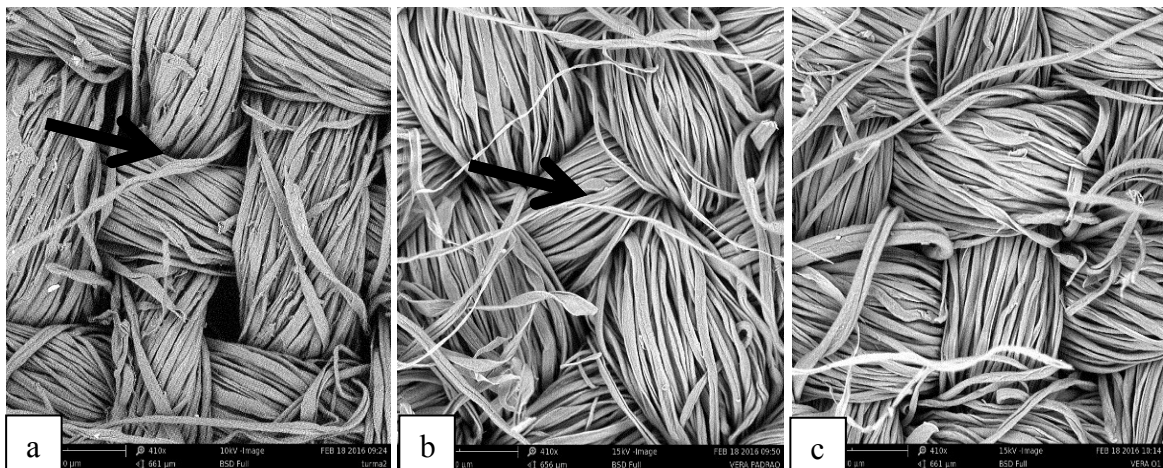


Figura 4: Imagem MEV do tecido plano sem tratamento (a); pré-alveado convencional (b) e pré-alveado com ozônio(c).

A **Tabela 5** apresenta os resultados das propriedades físico-químicas das amostras comparando o de-

sempenho dos testes entre o processo de pré-alveijamento convencional e o processo com ozônio em relação aos tecidos sem tratamento.

Tabela 5: Resultados das Avaliações Físico-químicas dos Tecidos

TECIDO	FORMULAÇÃO PRÉ-ALVEJAMENTO	HIDROFILIDADE (s)	pH ^{dp}	DUREZA ppm CaCO ₃ ^{dp}
Malha 100% CO	Sem Tratamento	> 60	6,92 ^{0,03}	3.187 ^{0,44}
	Convencional 1	> 60	7,11 ^{0,03}	985 ^{0,42}
	Ozônio 2	> 60	5,38 ^{0,17}	2.483 ^{0,15}
	Ozônio 3	> 60	5,04 ^{0,07}	2.276 ^{0,26}
Malha PES/CO 50/50%	Sem Tratamento	> 60	6,83 ^{0,04}	3.027 ^{0,21}
	Convencional 1	> 60	4,89 ^{0,09}	2.563 ^{0,26}
	Ozônio 2	> 60	5,95 ^{0,28}	1.143 ^{0,42}
	Ozônio 3	> 60	5,53 ^{0,29}	1.256 ^{0,50}
Plano 100% CO	Sem Tratamento	> 60	7,81 ^{0,07}	3.031 ^{0,46}
	Convencional 8	6,50 ^{0,50}	6,82 ^{0,07}	789 ^{0,40}
	Ozônio 4	> 60	5,67 ^{0,22}	2.349 ^{0,21}
	Ozônio 5	> 60	5,65 ^{0,43}	2.405 ^{0,45}
	Ozônio 6	> 60	5,06 ^{0,03}	2.204 ^{0,35}
	Ozônio 7	> 60	4,93 ^{0,03}	1.637 ^{0,35}

dp = desvio padrão (todos os testes foram realizados em triplicata)

Nas avaliações colorimétricas apresentadas na **Tabela 6** pode-se comparar a força colorística (FC%) bem como a intensidade colorística (K/S) e a diferença de cor residual (DE) entre as amostras tintas nos tecidos pré-alvejados pelo processo ozônio comparando com o tecido pré-alvejado pelo processo convencional que foi considerado como padrão. O grau de Branco CIE (Comissão Internacional de Iluminação) foi avaliado em todas as amostras para fazer a comparação entre os tecidos sem tratamento e os tecidos tratados pelos dois processos de pré-alveijamento.

Tabela 6: Resultados das Propriedades Colorimétricas.

TECIDO	FORMULAÇÃO PRÉ-ALVEJAMENTO	GRAU DE BRANCO CIE ^{dp}	FC (%) ^{dp}	K/S ^{dp}	DE ^{dp}
Malha 100% CO	Sem Tratamento	7,79 ^{0,22}			
	Convencional 1	69,44 ^{0,45}	100 ^{0,25}	1,8266 ^{0,01}	
	Ozônio 2	56,23 ^{0,49}	118 ^{0,27}	2,1532 ^{0,02}	2,35 ^{0,32}
	Ozônio 3	45,77 ^{0,25}	110 ^{0,33}	2,0128 ^{0,01}	1,26 ^{0,38}
Malha PES/CO 50/50%	Sem Tratamento	33,47 ^{0,46}			
	Convencional 1	60,77 ^{0,25}	100 ^{0,27}	3,8597 ^{0,25}	
	Ozônio 2	63,80 ^{0,26}	108 ^{0,30}	4,1616 ^{0,21}	1,10 ^{0,25}
	Ozônio 3	63,48 ^{0,42}	99 ^{0,46}	3,8538 ^{0,12}	0,54 ^{0,14}
Plano 100% CO	Sem Tratamento	15,89 ^{0,09}			
	Convencional 8	59,86 ^{0,10}	100 ^{0,30}	2,2441 ^{0,07}	
	Ozônio 4	39,62 ^{0,23}	111 ^{0,29}	2,5039 ^{0,02}	1,50 ^{0,21}
	Ozônio 5	47,63 ^{0,14}	107 ^{0,28}	2,3969 ^{0,21}	1,00 ^{0,09}
	Ozônio 6	46,81 ^{0,25}	105 ^{0,35}	2,343 ^{0,02}	0,91 ^{0,06}
	Ozônio 7	50,23 ^{0,43}	101 ^{0,47}	2,2692 ^{0,12}	0,48 ^{0,14}

dp = desvio padrão (todos os testes foram realizados em triplicata)

A Figura 5 apresenta as curvas de esgotamento (percentual de corante que migrou do banho de tingimento para a fibra) dos tecidos no tingimento do algodão com corantes reativos bifuncionais em temperatura de 60°C. Para determinar o esgotamento (%), alíquotas de banho inicial e final do tingimento foram lidas em espectrofotômetro UV Shimadzu 1800, Japão. A partir desses dados, o esgotamento foi calculado segundo equação 1:

$$\text{Esgotamento (\%)} = \frac{(\text{concentração de corante inicial no banho} - \text{concentração final}) \cdot 100}{\text{concentração de corante inicial no banho}} \quad (1)$$

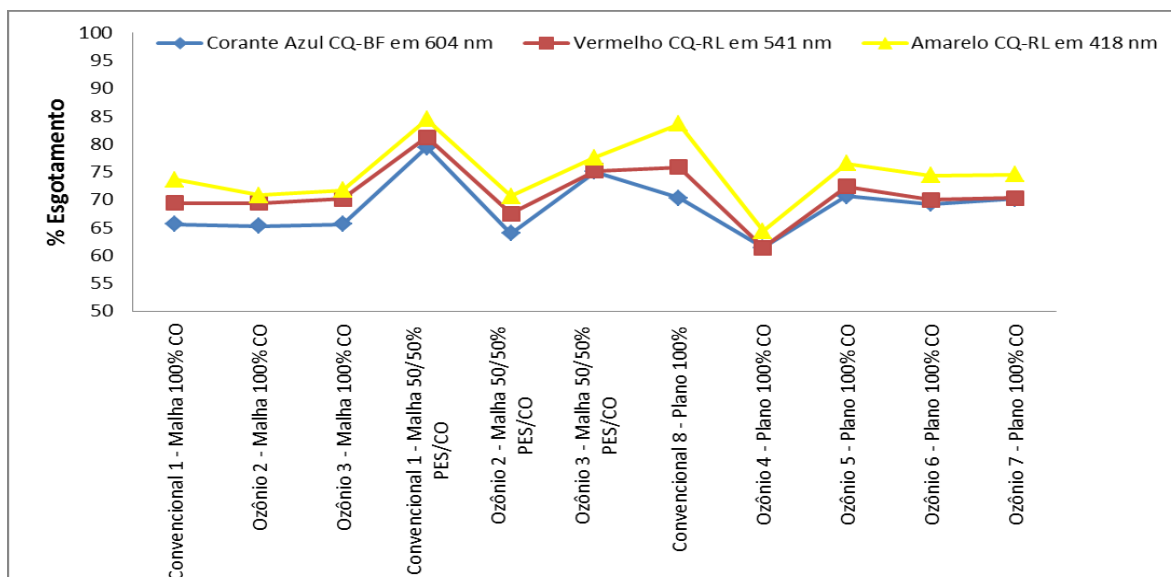


Figura 5: Resultados do esgotamento (%) dos banhos de tingimentos.

A Tabela 7 apresenta os resultados de solidez à lavagem caseira a 60°C e a fricção das amostras de tingimentos realizadas nos tecidos pré-alvejados. De acordo com a escala padrão de avaliação de cor as notas variam de 1 a 5, sendo 1 a pior nota e 5 a melhor nota.

Tabela 7: Solidez dos Tecidos

TECIDO	FORMULAÇÃO DO PRÉ-ALVEJAMENTO	SOLIDEZ A LAVAGEM		SOLIDEZ A FRICÇÃO	
		TRANSFERÊNCIA	ALTERAÇÃO	SECO	ÚMIDO
Malha 100% CO	Convencional 1	4-5	4	4-5	5
	Processo Ozônio 2	4-5	4-5	5	5
	Processo Ozônio 3	4-5	4-5	4	5
Malha PES/CO 50/50%	Convencional 1	4	4-5	5	4-5
	Processo Ozônio 2	4	4	5	4
	Processo Ozônio 3	4	4-5	5	4-5
Tecido Plano 100% CO	Convencional 8	4-5	4-5	5	4
	Processo Ozônio 4	4-5	4-5	5	5
	Processo Ozônio 5	4-5	4-5	5	4
	Processo Ozônio 6	4-5	4-5	5	4-5
	Processo Ozônio 7	4-5	4-5	5	4-5

4. DISCUSSÃO

A resistência ao estouro é definida pela pressão necessária para alongar a malha até a sua ruptura. A Tabela 3 mostra que os resultados da resistência ao estouro da malha 100% CO pelo pré-alvejamento convencional (8,83 Kgf/cm²) é maior do que a malha sem tratamento (7,10 Kgf/cm²) e da malha tratada com ozônio (6,45 e 6,74 Kgf/cm²). No caso da malha aplicada com ozônio os valores foram um pouco inferiores aos obtidos pelo método convencional com peróxido de hidrogênio. Este comportamento está associado com os valores de gramatura, pois, o tecido que sofreu maior encolhimento durante o processo, apresenta maior resistência ao estouro devido a maior quantidade de gramas de tecido por metro quadrado. O tecido de malha 100% algodão tratado pelo processo convencional apresenta maior gramatura (166,38 g/m²) e por consequência resiste maior pressão até romper comparando-se ao tecido tratado com ozônio (153 a 160 g/m²). Na literatura foram apresentados resultados da resistência ao estouro com 5 e 10 minutos de exposição ao ozônio, respectivamente de 7,1 e 6,5 Kgf/cm², valores similares aos obtidos nesse estudo [29]. Conforme conhecimento oriundo da prática industrial, um tecido de malha deve ter no mínimo 5 bar ou 5,10 Kgf/cm² para resistir aos processos posteriores de beneficiamento, portanto o processo de pré-alvejamento com ozônio não compromete a resistência dos tecidos, tanto de malha 100% algodão, quanto em mistura de 50% poliéster/50% algodão. A resistência à tração é uma característica de grande importância ao tecido plano, uma vez que determina a sua resistência aos tratamentos posteriores e a durabilidade durante o uso. Os resultados obtidos para os tecidos planos 100% algodão tratados com ozônio variam de 28 a 31,5 Kgf, pouco inferiores aos resultados do tecido tratado pelo método convencional (33,68 Kgf) e do tecido sem tratamento (32,8 Kgf) no sentido trama. Enquanto que os resultados obtidos no sentido urdume, em ambos os métodos (37,84 a 44,76 Kgf), foram superiores ao tecido sem tratamento (37,5 Kgf).

No tratamento dos tecidos planos percebe-se que a presença de goma interfere no pré-alvejamento com ozônio. Assim, o tecido plano foi submetido a 14 minutos de exposição e também foi necessário realizar um tratamento prévio para a remoção do amido antes da aplicação do ozônio. O tempo necessário para o pré-alvejamento do tecido plano neste método foi o dobro do necessário para os tecidos de malha isentos de goma, porém inferior aos 45 minutos utilizados na formulação de pré-alvejamento convencional, o que é uma grande vantagem do método proposto. Percebe-se que a remoção da goma depende do tratamento realizado antes da aplicação do ozônio. Na Tabela 4 constata-se que a formulação 7 com ozônio apresentou uma remoção de goma nota 6 na escala Tegewa (0,2 a 0,3% goma no tecido), enquanto que o tratamento convencional apresentou uma melhor remoção, nota 9 (menor que 0,10% goma no tecido).

As imagens da avaliação microscópica de varredura (MEV) mostram as alterações dos tecidos pré-alvejados com ozônio e pelo processo convencional comparados ao tecido sem tratamento. A Figura 2 apresenta os tecidos de malha 100% algodão, a Figura 3 apresenta os tecidos de malha cuja composição é mistura de 50% algodão/50% poliéster e a Figura 4 apresenta os tecidos planos de 100% algodão. Nas imagens do processo com ozônio percebe-se que os filamentos apresentam menos torções (identificadas com setas), características das fibras de algodão, do que nas amostras pré-alvejadas pelo processo convencional. Talvez o meio gasoso favoreça um alinhamento das fibras de algodão, pois o tecido neste processo está fixado em um suporte, enquanto que no processo convencional o tecido está em movimento. O melhor alinhamento das fibras de algodão é benéfico, ou seja ausência de torções, pois pode aumentar a reflexão da cor em tingimentos posteriores.

O processo de pré-alvejamento com ozônio permite realizar a descoloração dos tecidos crus sem a utilização dos produtos químicos peróxido de hidrogênio e hidróxido de sódio. Assim, os pHs residuais dos tecidos são levemente ácidos conforme mostra a Tabela 5. Esta característica é muito importante e vantajosa porque permite eliminar a etapa de neutralização do tecido e promover a redução do tempo bem como do consumo de água no processo de pré-alvejamento.

O grau de dureza é maior ou menor, conforme a quantidade e o tipo de sequestrante de cálcio e magnésio adicionado à formulação de pré-alvejamento. Na Tabela 5, pode-se verificar os resultados da redução de dureza (ppm de CaCO₃) nos tecidos tratados. Nos tecidos planos a formulação 7 apresenta 0,5 g/l de sequestrante e menor dureza (1.637 ppm) do que a formulação 6 onde não foi adicionado o sequestrante de cálcio e magnésio (2.204 ppm). Portanto, mesmo no processo com ozônio é importante o uso do sequestrante.

A hidrofiliidade dos tecidos é um requisito importante para um tingimento com boa igualização. Nos tecidos de malha tanto pelo processo de pré-alvejamento convencional, quanto pelo processo com ozônio, o resultado ficou acima dos 60 segundos conforme mostra a Tabela 5. No tecido plano o processo convencional apresenta uma hidrofiliidade praticamente instantânea enquanto que o processo com ozônio apresenta um tempo superior aos 60 segundos. Quanto menor este tempo melhor é a hidrofiliidade e melhor será a capaci-

dade do tecido absorver o banho de tingimento. Essa condição pode ser explicada pela quantidade e tipo de umectante utilizada na formulação, bem como pela ausência da reação de saponificação entre o hidróxido de sódio com as ceras e graxas do algodão que favorecem a limpeza e a hidrofiliidade do tecido tratado pelo processo convencional. Na literatura foi estudada a eficácia do processo de ozônio com a adição de tensoativo em várias concentrações e foi constatado que a dosagem de 2 g/l de tensoativo apresentou o maior grau de branco e uma hidrofiliidade de 10 segundos. Seus resultados mostraram que uma dosagem maior de 2 g/l de tensoativos diminui o grau de branco [27]. Portanto a adição do tensoativo na formulação de pré-alveijamento com ozônio facilita o contato do gás ozônio com os microporos do tecido através da diminuição da tensão superficial das fibras e aumenta a hidrofiliidade, proporcionando um tingimento uniforme aos tecidos.

Com relação ao grau de branco, as formulações que apresentaram os melhores resultados apresentaram valores entre 50 e 63 WI CIE (nos três tecidos avaliados). Na literatura foi obtido um resultado de grau de branco médio de 54,88 WI CIE [28], um valor bem próximo aos obtidos neste trabalho, conforme mostra a Tabela 6. Assim conclui-se que os fatores que determinam o grau de branco dos tecidos são o tempo de exposição ao ozônio e a dosagem aplicada.

A Tabela 6 apresenta ainda as propriedades tintoriais dos tecidos pré-alvejados com ozônio comparados aos tecidos tintos com o pré-alveijamento convencional. A diferença de cor residual (DE) das amostras pode estar associado ao grau de branco obtido no pré-alveijamento. Portanto, as formulações com melhor grau de branco comparado ao processo convencional apresentam o menor DE na diferença de cor em relação ao padrão.

Na Figura 5, como pode ser observado, o percentual de esgotamento de banho dos tingimentos realizados nos tecidos tratados com ozônio apresentam valores próximos ao tingimento com as amostras do pré-alveijamento convencional, em torno de 70%. Estes valores mostram que esta proposta alternativa de pré-alveijamento não compromete as propriedades tintoriais dos tecidos.

A Tabela 7 mostra que as notas de solidez tanto a lavagem a 60°C quanto a fricção a seco e úmido estão com as notas máximas, variando de 4 a 5, tanto pelo processo convencional quanto pelo processo com ozônio. Na literatura foi mostrado que as notas de solidez a fricção dos tecidos de algodão tratados com ozônio também apresentaram valores similares às amostras tratadas pelo processo convencional [27]. O que leva a conclusão que o ozônio utilizado para pré-alvejar tecidos não interfere nos resultados de solidez dos tingimentos, o que, do ponto de vista da qualidade do produto ao uso, é muito importante.

5. CONCLUSÕES

O processo de pré-alveijamento com ozônio inova no alveijamento dos tecidos porque não utiliza peróxido de hidrogênio e nem hidróxido de sódio para descolorir os tecidos. O processo é realizado a frio, reduzindo assim energia. O tempo de processo de pré-alveijamento é reduzido de aproximadamente 40 para 17 minutos para os tecidos de malha e de 70 para 39 minutos para os tecidos planos. O grau de branco apresentou valores entre 50 e 63 WI CIE, a diferença de cor valores entre 0,48 a 1,26 DE e a força colorística apresentou valores superiores a 100% nas amostras submetidas ao pré-alveijamento com ozônio, similares às amostras submetidas ao processo convencional. Assim pode-se concluir que o processo com ozônio não prejudicou as propriedades físico-químicas dos tecidos estudados.

O processo proposto pode ser viável para as indústrias têxteis que buscam a redução no consumo de água, energia e tempo de processo, pois ocorre em condições brandas e com redução de aditivos químicos.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o programa de Pós Graduação em Química da FURB, ao SENAI Blumenau e ao IFSC Jaraguá do Sul pelo apoio recebido na elaboração deste trabalho. Agradecem as empresas Benex, Farbe, Karsten, Akmey e Color química do Brasil pela doação de insumos.

7. BIBLIOGRAFIA

- [1] ABIT. Relatório setorial da indústria têxtil brasileira. São Paulo, v.15, pp 1-196, 2015.
- [2] LEITE, A. S., BARCO, L., TRINDADE, N. B., *et al.* "Custos ecológicos e sustentabilidade em recursos hídricos na indústria têxtil", *Revista de Ciências Gerenciais*, v. 17, n. 26, pp. 103-111, 2015.
- [3] INGLESIAS, S.C. *Degradation and biodegradability enhancement of nitrobenzene and 2, 4-dichlorophenol by means of Advanced Oxidation Processes based on ozone*, Universitat de Barcelona, 2003.

- [4] ÖNER, E.; SAHINBASKAN, B. Y. "A new process of combined pretreatment and dyeing: REST", *Journal of Cleaner Production*, v. 19, n. 14, pp. 1668-1675, 2011.
- [5] FERREIRA, L. G. B. V., NOGUEIRA, N. N., GRACIANI, F. S. "Corantes Naturais e Sustentabilidade no Setor Têxtil", *Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista*, v. 9, n. 1, 2013.
- [6] MACHADO, P. G. S., LEONEL, J. N. "Práticas de Reciclagem de Resíduos Têxteis: Uma Contribuição para a Gestão Ambiental no Brasil", *Revista Competência*, v. 7, n. 1, pp. 129-145, 2014.
- [7] WRI - World Resources Institute. <http://www.wri.org/our-work/topics/water>. Acessado em 26/11/2014.
- [8] MADDOCKS, A. SHIAO, T. MANN, S. A. Três Mapas que Ajudam a Explicar a Crise da Água em São Paulo, Brasil. Disponível em <http://www.wri.org/our-work/topics/water>, novembro 2014. Acesso em 09/03/2015.
- [9] REIS, D. I., QUEVEDO, D. M., NAIME, R. H. "Gestão de recursos hídricos: panorama mundial, brasileiro e desafios institucionais", In: *XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 2013.
- [10] MALUF, E., KOLBE, W. *Dados técnicos para a indústria têxtil*, São Paulo, Câmara Brasileira do Livro, 2003.
- [11] WANG, L., XIANG, Z. Q., BAI, Y. L., *et al.* "A plasma aided process for grey cotton fabric pretreatment", *Journal of Cleaner Production*, v. 54, pp. 323-331, 2013.
- [12] WANG, S., LI, S., ZHU, Q. *et al.* "A novel low temperature approach for simultaneous scouring and bleaching of knitted cotton fabric at 60 C", *Industrial & Engineering Chemistry Research*, v. 53, n. 24, pp. 9985-9991, 2014.
- [13] DAVULCU, A., EREN, H. A., AVINC, O., *et al.* "Ultrasound assisted biobleaching of cotton", *Cellulose*, v. 21, n. 4, pp. 2973-2981, 2014.
- [14] HASHEM, M., TALEB, M. A., EL-SHALL, F. N., *et al.* "New prospects in pretreatment of cotton fabrics using microwave heating", *Carbohydrate polymers*, v. 103, pp. 385-391, 2014.
- [15] WANG, L., SHAO, H., LUO, X., *et al.* "Effect of Ozone Treatment on Deoxynivalenol and Wheat Quality", *PloS one*, v.11, n.1, 2016.
- [16] TZORTZAKIS, N. Ozone: A Powerful Tool for the Fresh Produce Preservation. In: "Postharvest Management Approaches for Maintaining Quality of Fresh Produce", *Springer International Publishing*, pp. 175-207, 2016.
- [17] KŁONICA, M., KUCZMASZEWSKI, J., KWIATKOWSKI, M. P. *et al.* "Polyamide 6 surface layer following ozone treatment", *International Journal of Adhesion and Adhesives*, v.64, pp.179-187, 2016.
- [18] MAIDANA, W., KREUTZ, C., BERNARDI, R. "Análise de clarificação de efluentes industriais utilizando gerador eletrônico de ozônio", *Blucher Chemical Engineering Proceedings*, v. 1, n. 2, pp. 6940-6947, 2015.
- [19] EREN, H. A., OZTURK, D. "The evaluation of ozonation as an environmentally friendly alternative for cotton preparation", *Textile Research Journal*, v. 81, n. 5, pp. 512-519, 2011
- [20] EREN, H. A., OZTURK, D., EREN, S. "Afterclearing of disperse dyed polyester with gaseous ozone", *Coloration Technology*, v. 128, n. 2, pp. 75-81, 2012.
- [21] PRABAHARAN M., RAO J.V., NAYAR, R., *et al.* "A study on the advanced oxidation of a cotton fabric by ozone", *Coloration Technology*, v. 116, n.3, pp. 83-86, 2000.
- [22] PERINCEK, S.D., DURAN, K., KORLU, A. E. *et al.* "An investigation in the use of ozone gas in the bleaching of cotton fabrics", *Ozone: Science and Engineering*, v. 29, n. 5, pp. 325-333, 2007.
- [23] CARDOSO, A. P. R. *Desenvolvimento de um novo processo de branqueamento de fibras de origem proteica utilizando ozono como agente oxidante*, Tese de D.Sc., Engenharia Química, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Portugal, 2009.
- [24] HMIDA, S. B., LADHARI, N. "Study of Parameters Affecting Dry and Wet Ozone Bleaching of Denim Fabric.", *Ozone: Science & Engineering*, pp. 1-6, 2015.
- [25] KAN, C., CHEUNG, H., CHAN, Q. "A study of plasma-induced ozone treatment on the colour fading of dyed cotton", *Journal of Cleaner Production*, v. 112, pp. 3514-3524, 2016.
- [26] AHMAD, N., SHAIKH, I.A., MUNIR, S. *et al.* "Design and Development of Environment Friendly Textile Dyeing Machine", *Technical Journal, University of Engineering and Technology (UET) Taxila, Pakistan*, v. 19, n. III, 2014.

- [27] AROOJ, F., AHMAD, N., CHAUDHRY, M. N. "A Pilot-Scale Application of Ozone to Bleach Raw Cotton Fabric Using Various Additives", *Ozone: Science & Engineering*, v. 37, n. 3, pp. 203-215, 2015.
- [28] PICCOLI, H. H., SOUZA, A. A. U., SOUZA, S. M. A. G. U. "Bleaching of Knitted Cotton Fabric Applying Ozone", *Ozone: Science & Engineering*, v. 37, n. 2, pp. 170-177, 2015.
- [29] KURBAN, M., YAVAS, A., AVINC, O. "Nettle biofibre bleaching with ozonation/Albirea biofibrei din urzica prin ozonizare", *Industria Textila*, v. 67, n. 1, p. 46, 2016.