

II-275 - AVALIAÇÃO DE METODOLOGIAS PARA A MEDIÇÃO DE COR EM EFLUENTES INDUSTRIAIS TÊXTEIS

Gil Leonardo Aliprandi Lucido⁽¹⁾

Engenheiro Químico formado pela Escola de Química da UFRJ. Especialista em Engenharia Sanitária e Ambiental pela UERJ e Mestre em Engenharia Ambiental pela UERJ. Coordenador do curso de graduação em Engenharia Química da Faculdade SENAI-CETIQT/RJ.

Daniele Maia Bila⁽²⁾

Engenheira Química formada pela UFRRJ. Mestre em Engenharia Química pela COPPE/UFRJ. Doutora em Engenharia Química pela COPPE/UFRJ. Pós-doutora em Engenharia Química pela COPPE/UFRJ. Professora adjunta do DESMA/UERJ e Chefe do Laboratório de Engenharia Sanitária (LES) da UERJ.

Endereço⁽¹⁾: Rua Magalhães Castro, 174 – Riachuelo – Rio de Janeiro – RJ – CEP: 20961-020 – Brasil – Tel: +55 (21) 2582-1070 – Fax: +55 (21) 2245-0495 - e-mail: glucido@cetiqt.senai.br.

RESUMO

Os processos de beneficiamento têxtil- alvejamento, tingimento, lavagens, são muito impactantes ao meio ambiente, tanto do ponto de vista de consumo de água, quanto da geração de efluentes. Estes efluentes se caracterizam por apresentarem elevadas concentrações de diferentes substâncias solubilizadas ou em suspensão, de origem orgânica ou inorgânica, muitas vezes com elevados índices de toxicidade. Entretanto, um dos maiores problemas desses efluentes deve-se à utilização de corantes e pigmentos na maioria dos processos envolvidos. Alguns parâmetros físico-químicos importantes no controle da poluição hídrica são de difícil medição e consequente monitoramento, principalmente pela ausência de legislação que expresse de maneira clara e objetiva os limites destes parâmetros. Tal fato permite avaliações dúbias e contestações aos órgãos ambientais. Este é o caso da cor, que obriga muitas indústrias a empregarem valores de controle de cor oriundos de outros estados, ou até mesmo de outros países. No Rio de Janeiro, de acordo com a NT-202-R-10 do INEA, o critério para cor é estar virtualmente ausente no efluente. Neste contexto, este estudo avaliou algumas metodologias empregadas na determinação da cor em efluentes têxteis. Para a medição de cor, foram empregadas três metodologias descritas na literatura. A primeira metodologia desenvolvida para análise de água, largamente utilizada em efluentes líquidos, se baseia em medições espectrofotométricas em um único comprimento de onda padrão (450nm ou 465nm), tendo como referência soluções de Pt-Co. Essa metodologia não abrange todas as tonalidades do espectro de cores possíveis para a maioria dos efluentes têxteis. O segundo método se baseia na medição da cor em três comprimentos de onda (436, 525 e 620nm), denominado índice DFZ. O último método investiga os valores máximos de absorbância, na faixa entre 350 e 700nm, na amostra. Os resultados obtidos mostraram que as correções dos valores de medição de cor utilizando os valores máximos de absorbância expressaram melhor a realidade dos dados experimentais, visto que eliminam um possível erro causado pela restrita faixa de detecção do método tradicional, numa região do espectro típica para tonalidades encontradas na água.

PALAVRAS-CHAVE: Medição de Cor, Efluente têxtil, Metodologias de medição.

INTRODUÇÃO

A diversidade dos processos desenvolvidos nas áreas de beneficiamento têxtil é tamanha que torna os efluentes nela gerados os mais problemáticos dentre todas as áreas da cadeia produtiva têxtil. Há variações referentes à etapa de aplicação de produtos químicos aos fios e tecidos com objetivo de valorá-los, alterando ou realçando suas características originais. Processos como alvejamento e purga que são considerados processos primários, preparam os materiais têxteis para receber os corantes ou pigmentos nas etapas posteriores de tingimento ou estampagem. Estes são conhecidos como processos de beneficiamento secundário. Nas etapas finais, denominadas de beneficiamentos terciários, podem ser empregados processos mecânicos ou químicos, como o amaciamento. Além destes processos tradicionais que trabalham com fios e tecidos, novos processos têm se desenvolvido, como as lavagens em peças confeccionadas e suas inúmeras variações, que vão desde as lavanderias industriais para jeans, até as lavanderias para materiais hospitalares ou de hotelaria. Todas estas diferentes áreas, podem gerar efluentes líquidos, resíduos sólidos ou até emissões gasosas, com variadas

composições e concentrações, que dependerão das diferentes formulações utilizadas em cada processo, com diferentes produtos químicos, em diferentes equipamentos.

Os efluentes têxteis oriundos dos processos de beneficiamento se caracterizam notoriamente por apresentarem elevados índices de toxicidade, principalmente devido aos íons metálicos presentes nas estruturas químicas de alguns corantes utilizados nos processos de tingimento ou estampagem dos tecidos. Além desses íons tóxicos, outras características podem tornar o efluente têxtil potencialmente poluidor, como a elevada alcalinidade, presença de muitas partículas sólidas insolúveis, substâncias emulsificantes, presença de outros íons livres como de cloreto (Cl⁻), assim como elevada concentração de matéria orgânica (FEEMA, 2007).

Associado a isto, verifica-se que ainda hoje os processos têxteis estão fundamentados no grande consumo de água principalmente para o transporte das substâncias químicas solubilizadas nos banhos para os tecidos, ou simplesmente para a lavagem dos mesmos após a conclusão dos processos. Gerando uma quantidade significativa de efluente a ser tratado. Pode-se ainda destacar a dificuldade de se trabalhar com efluentes cuja temperatura pode chegar a acima de 90°C na descarga bruta, antes de entrar numa ETE.

Alguns parâmetros importantes de controle ambiental que em geral estão associados a questões estéticas, como a cor (FEEMA, 2007; FATMA, 2002) ou até mesmo o odor, são difíceis de serem medidos e mais ainda de serem controlados, principalmente pela ausência de legislação em nível federal, estadual ou até mesmo municipal, que expresse de maneira clara e objetiva os limites destes parâmetros.

Desta forma, a análise dos valores utilizados pelas empresas, inclusive as têxteis, para atender à legislação vigente local, torna-se extremamente subjetiva, permitindo avaliações dúbias e contestações aos órgãos ambientais. Especificamente no caso do parâmetro de cor, esta subjetividade obriga muitas empresas, que utilizam o parâmetro para controle da qualidade ambiental de seus produtos e sistemas, a empregarem valores de controle oriundos de outros países, ou até de outras regiões do país. Tais valores são medidos através de métodos padronizados internacionalmente, mas não regulamentados pelos próprios órgãos ambientais para servir como referência de controle da qualidade dos efluentes tratados.

Como não existe um valor definido na legislação brasileira em nenhum dos níveis governamentais para este parâmetro em efluentes industriais, a subjetividade provoca discordâncias de avaliação e conseqüentemente, dúvidas podem surgir em termos de fiscalização e controle por parte dos órgãos ambientais regionais. Algumas iniciativas locais têm sido aplicadas, mas a metodologia ainda não está bem definida, assim como sua validação. Esta dificuldade pode trazer custos, algumas vezes onerosos, não somente para as empresas fiscalizadas, mas também para os órgãos ambientais que, em situações de litígio, podem ser obrigados a realizar análises específicas, que definem com maior rigor, os valores reais quantitativos referentes ao índice colorimétrico de Pt-Co, definido pelas metodologias disponíveis no *Standard Methods*.

Este estudo teve como objetivo avaliar metodologias para o controle de cor nos efluentes gerados por uma unidade têxtil piloto. Pesquisou-se uma metodologia para a medição de cor em efluentes industriais, que permitisse identificar variações de tonalidade no efluente que possam ser observadas numa escala colorimétrica, conforme os diferentes comprimentos de onda especificados. Comparou-se os resultados obtidos na medição de cor de um efluente simulado de origem têxtil, utilizando a metodologia alemã de determinação do índice DFZ com a metodologia adaptada do *Standard Methods* para análise de cor em águas, desenvolvida para aplicação em efluentes industriais fortemente coloridos.

MATERIAIS E MÉTODOS

OBTENÇÃO DO EFLUENTE ESTUDADO

Para o desenvolvimento deste estudo, foram realizadas simulações de processos industriais têxteis de preparação e tingimento de tecidos de malha 100% algodão com corantes reativos, dos quais foram coletadas amostras das descargas dos banhos de cada etapa dos processos (efluente têxtil colorido).

Definiu-se o tipo de fibra do material têxtil que seria utilizada para simular o processo têxtil. Sendo as fibras celulósicas aquelas de mais fácil acesso, disponibilidade e utilização no mercado nacional, optou-se pela fibra celulósica de algodão de origem nacional como material têxtil a ser processado.

Com esta definição, também se determinou a classe de corante que deveria ser empregada para efetuar os tingimentos da fibra de algodão. Dentre as possíveis classes conhecidas para fibras naturais celulósicas, os corantes reativos seriam a alternativa escolhida. Optou-se pela utilização de uma linha de corantes reativos fornecidos por uma empresa reconhecida no mercado nacional e internacional, dentro do prazo de validade especificado pelo fabricante e que atendessem ao conceito de amplitude espectral das cores, ou seja, cores distintas em diferentes regiões do espectro visível, com luminosidades e saturações similares. Assim, foram escolhidas três tonalidades de corantes reativos – amarelo vermelho e azul, de uma mesma linha do mesmo fabricante (Clariant S.A.), para a realização de três tingimentos independentes sob o mesmo processo, nas mesmas condições operacionais. Os nomes comerciais dos três corantes que utilizados foram: *Amarelo Drimarem CL 2R*, *Vermelho Drimarem intenso HF 4B* e *Azul Drimarem HF RL*.

Na Planta Piloto de Inovação (PPI) do SENAI-CETIQT, onde o trabalho foi realizado, estão disponíveis diversos equipamentos em escala laboratorial e piloto (semi-industrial) capazes de simular diversos processos industriais. O material têxtil empregado era um tecido de malha 100% algodão. Os equipamentos que se adequam melhor a este tipo de tecido são barcas (Figura 1) ou *over-flows* (jets) (Figura 2).



Figura 1: barca pequena em escala piloto.



Figura 2: over-flow (Jet) em escala piloto.

O processo adotado para utilizar estes tipos de equipamentos foi o processo por esgotamento, onde o tecido é imerso num banho contendo uma solução de corantes e produtos químicos em meio aquoso, com adição de temperatura indireta (através de trocadores de calor) e constante movimentação do material dentro dos equipamentos por meio de molinetes acionados por motores.

Da mesma forma como previsto para os tingimentos com as três cores selecionadas, foi desenvolvida a etapa de pré-tratamento do tecido escolhido. Assim, o tecido de malha de algodão recebeu uma preparação adequada (purga e alvejamento) para posteriormente sofrer os tingimentos com os três diferentes corantes.

Sabendo-se o tipo de fibra, o tipo de tecido, a classe do corante, o processo a ser empregado e o equipamento disponível para executá-lo, foram definidas as quantidades de amostras de efluente que deveriam ser coletadas de cada processamento (1000 mL), que pudessem ser analisadas e serem representativas ao trabalho de pesquisa. Ao final, amostras de todas as etapas de cada processo foram misturadas a fim de simular um efluente global para cada processamento diferente, ou seja, amostras das várias etapas do processo de pré-tratamento (P1, P2, P3 e P4) foram misturadas, gerando mais uma amostra representante da mistura de todas as descargas geradas pelo processo (PM); o mesmo ocorreu com cada um dos três tingimentos, onde amostras de cada etapa do processo (AM1, AM2, AM3, AM4 e AM5), (V1, V2, V3, V4 e V5), (AZ1, AZ2, AZ3, AZ4 e AZ5) foram misturadas (AMM, VM e AZM) ao final para gerar uma amostra (PM+AMM+VM+AZM) que representasse o efluente que é gerado e encaminhado para uma ETE a fim de sofrer o tratamento adequado (**Figuras 3 e 4**).

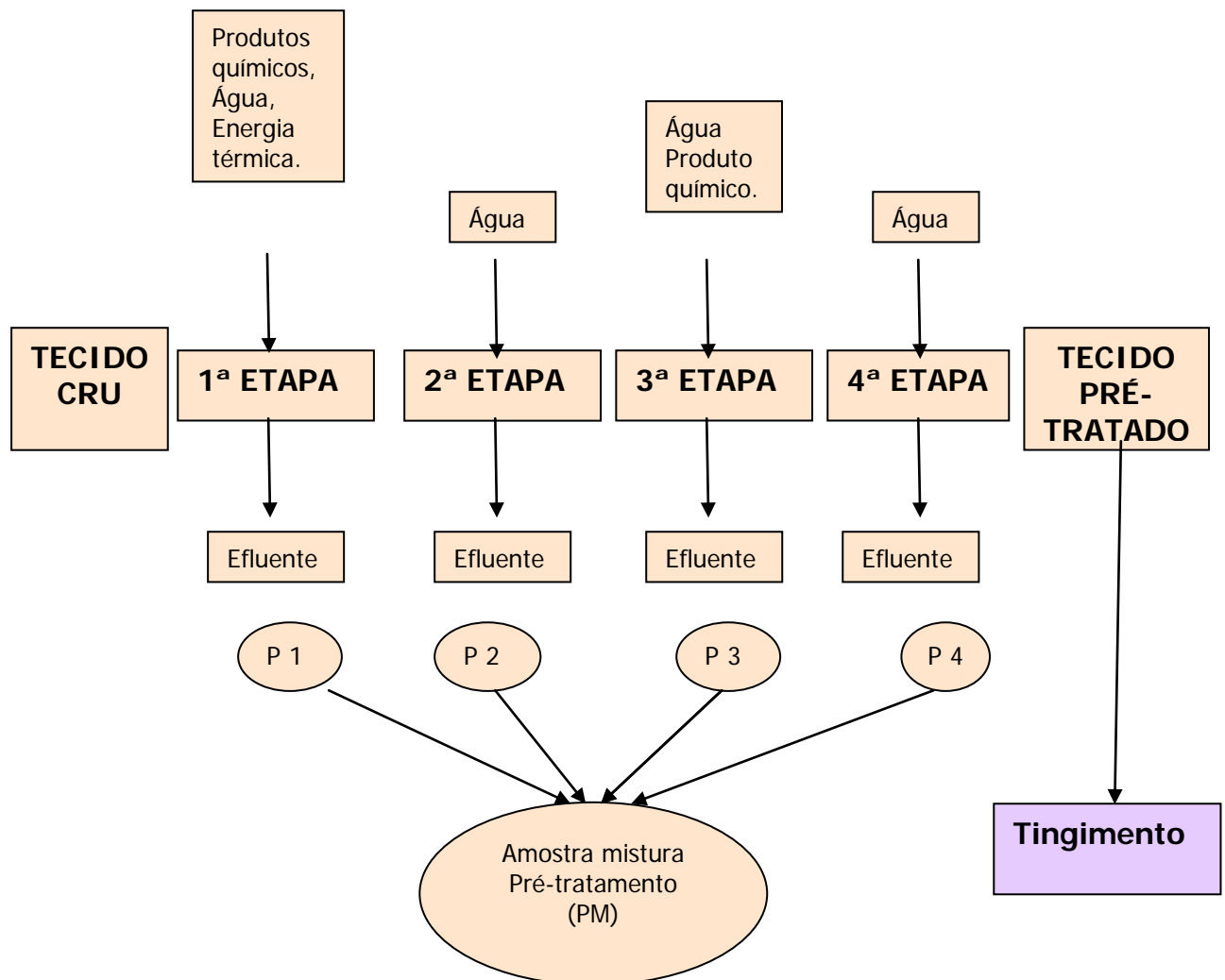


Figura 3: Fluxograma de obtenção das amostras de efluente da etapa de pré-tratamento.

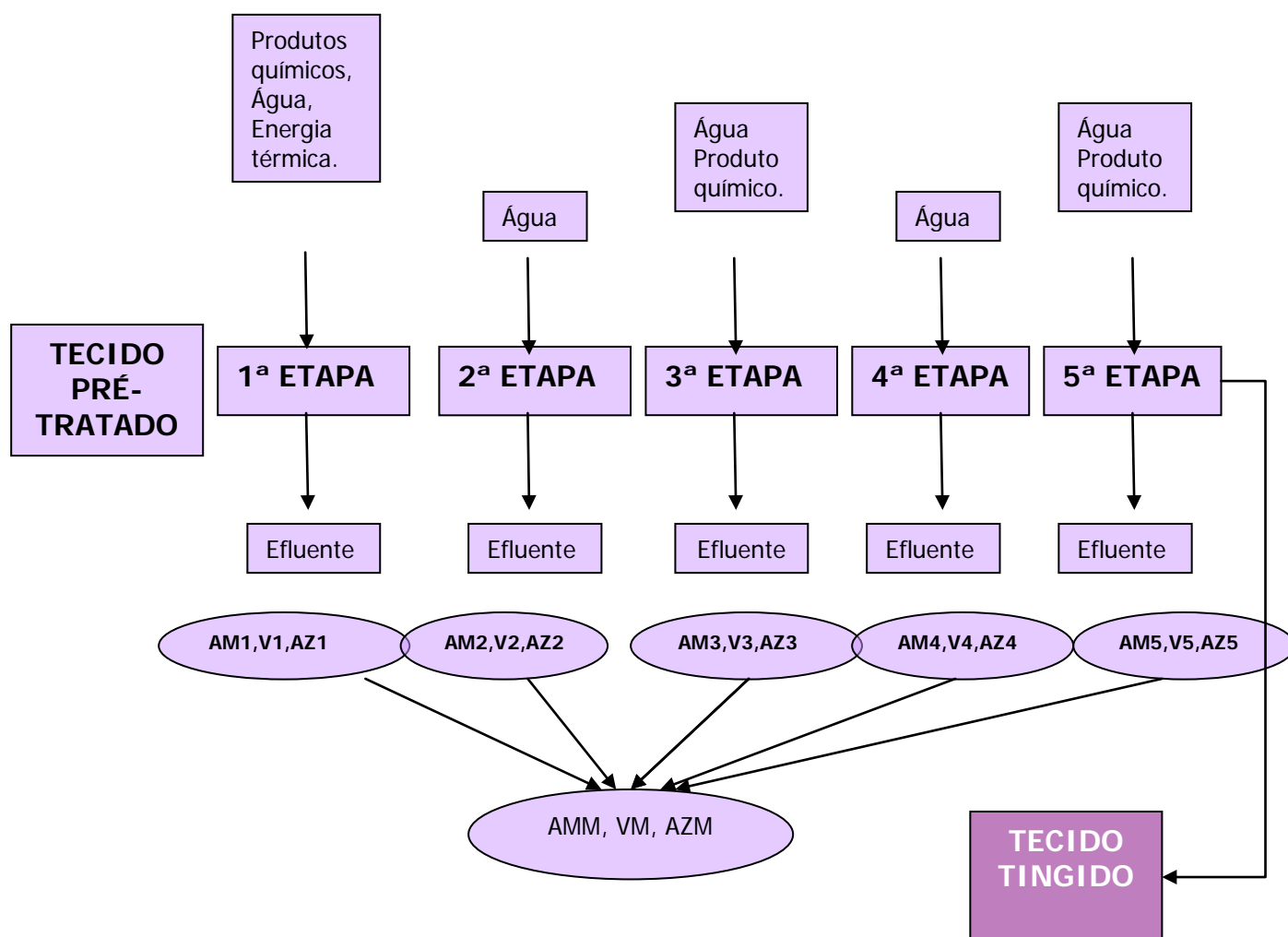


Figura 4: Fluxograma de obtenção das amostras de efluente das etapas de tingimento.

METODOLOGIA ANALÍTICA

Para o experimento analítico foram definidos alguns parâmetros físico-químicos: pH, SST (Sólidos Solúveis Totais), turbidez, cor aparente, cor verdadeira e cloretos. A seguir estão descritos os métodos dos parâmetros físico-químicos utilizados. Todas essas determinações foram realizadas segundo o AWWA (APHA, 2005).

METODOLOGIA ESPECTROFOTOMÉTRICA

Além da determinação dos parâmetros físico-químicos necessárias para a caracterização dos efluentes obtidos durante os experimentos, foram realizadas medições espectrofotométricas com um equipamento de altíssima resolução para obtenção de valores de absorvância (% de transmitância) das amostras coloridas coletadas. O equipamento utilizado foi um espectrofotômetro UV/Vis (Ultravioleta/ Visível) da marca Biochrom, modelo Libra S35 com resolução de comprimento de onda de 1nm. Para efetuar as medições dos parâmetros espectrofotométricos, foram utilizadas cubetas de vidro com caminho ótico de 10 mm (espessura da parede) repletas com as amostras líquidas dos efluentes coloridos gerados durante a segunda batelada de experimentos.

MEDIÇÃO DE COR APARENTE PELO MÉTODO DFZ

Estas análises espectrofotométricas visaram obter informações referentes à medição de cor aparente através de uma metodologia baseada numa norma alemã de controle de cor em amostras de efluentes industriais,

denominada “Determinação de Cor Aparente por Índice DFZ (Fator de Extinção)”. Esta técnica vem sendo utilizada por empresas de controle ambiental no Sul do Brasil, como uma possível solução para os problemas de medição de cor em amostras de efluentes coloridos com tonalidades intensas, não previstas pelas normas de análise para água. O método se baseia na determinação da intensidade de cor através da medição em três distintos comprimentos de onda bem definidos: 436nm, 525nm e 620nm, regiões da luz visível que correspondem à concentração máxima de corante de 1,5 mg Pt/L. Os padrões de referência de cor da norma alemã correspondem a regiões espectrais do amarelo, vermelho e azul, cujos valores DFZ são 7 m^{-1} , 5 m^{-1} e 3 m^{-1} , respectivamente (VISHNU *et al*, 2008). O cálculo do Fator de Extinção (DFZ) foi realizado segundo a equação 1.

$$DFZ(m^{-1}) = \frac{Abs \times 1000(mm)}{Es(mm) \times Fd} \quad (1)$$

Onde:

Abs, absorvância da luz nos comprimentos de onda pré-definidos;

Es, espessura da cubeta utilizada nas medições dentro do espectrofotômetro;

Fd, fator de diluição da amostra;

PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Foram utilizadas três cubetas de vidro, das quais uma foi utilizada como referência para as medições (“branco”) contendo somente água destilada, enquanto as outras duas eram preenchidas alternadamente pelas amostras coloridas de efluentes.

Foi determinado um procedimento operacional interno no espectrofotômetro para a execução rotineira das medições, visto que foram realizadas 162 medições com amostras de cada uma das cinco etapas dos processos de tingimento com os três diferentes corantes (amarelo, vermelho e azul), nos três diferentes comprimentos de onda previamente determinados (436nm, 525nm e 620nm), todos em triplicata. Além disso, também foram realizadas medições nas amostras recolhidas nas quatro etapas do processo de pré-tratamento do material têxtil empregado, o que gerou mais 45 medições espectrofotométricas, totalizando 207 resultados de absorvância.

VERIFICAÇÃO DOS COMPRIMENTOS DE ONDA COM VALORES MÁXIMOS DE ABSORBÂNCIA

Após a caracterização dos efluentes coloridos obtidos pelos processos têxteis simulados neste estudo, partiu-se para a verificação de uma metodologia proposta justamente para tentar minimizar os problemas de controle de cor decorrentes dos desenvolvimentos observados nos diversos processos de tratamento de efluentes industriais, assim como ocorre na indústria têxtil. Como os métodos de análise utilizados para a caracterização dos efluentes foram desenvolvidos para análise de água, o parâmetro de cor verdadeira é bastante limitado visto que a metodologia indicada restringe-se a um determinado comprimento de onda padrão, não abrangendo todas as possibilidades de tonalidades do espectro de cores possíveis para os efluentes de origem têxtil.

Assim, visando minimizar estas dificuldades ainda existentes principalmente quando se recorre à legislação ambiental, cujas normas se referem ao método desenvolvido para controle de água, foram investigados os valores de absorvância das amostras coletadas conforme a metodologia que se baseia na medição de vários pontos do espectro visível, entre 350nm e 700nm, com intervalos de comprimento de onda menores possíveis, dentro da limitação do espectrofotômetro. Neste estudo, o equipamento utilizado permitia que esta varredura fosse feita com intervalos de 1 nm. Desta forma, determinou-se a região ou o comprimento de onda que apresentasse o maior valor de absorvância para a amostra de efluente colorido. Posteriormente, estes valores para cada amostra foram plotados nas curvas de medição de cor padrões do método tradicional utilizado para medição de cor em águas, a fim de se obter um valor de cor corrigido para o efluente têxtil.

Segundo Giordano (1999), para aplicar-se este método deve-se empregar a curva de calibração referente ao padrão de PtCo no comprimento de onda de 330 nm, visto ser a que apresenta melhor coeficiente de correlação entre os valores de absorvância e cor, em unidades de cor. Após a definição do comprimento de onda onde

ocorre a maior absorvância, pode-se interpolar o valor obtido na curva de calibração do método convencional utilizado para medição de cor em água descrito por AWWA (APHA, 2005). A cor será expressa então em mg de PtCo/L, com a correção para o comprimento de onda de maior absorvância, o qual também deve ser citado.

RESULTADOS OBTIDOS OU ESPERADOS

Foram verificados os resultados obtidos para as análises de cor verdadeira das amostras de efluente do pré-tratamento. No efluente do pré-tratamento verificou-se que os resultados de cor apontaram claramente que somente as amostras analisadas na primeira etapa apresentaram valores significativos de unidades de cor. Isto certamente deveu-se à presença de produtos químicos que agem nesta primeira etapa, os quais removem os resíduos coloridos presentes nas fibras de algodão que foi “limpo”, ou seja, que sofreu o tratamento de purga e alvejamento simultâneo. Nas demais etapas do processo a cor observada foi bastante reduzida, ou seja, o efluente estava mais límpido, visto que estas etapas ocorrem com o intuito de remover resíduos da primeira etapa e neutralizar o material têxtil.

Verificaram-se também os resultados de cor verdadeira para o efluente oriundo do tingimento com o corante amarelo. Ficou claro que houve alguma alteração na amostra referente à 1ª etapa (AM1), cujo valor de 6,4 uC, certamente não correspondeu à expectativa. Basta observar o resultado verificado na medição de cor da amostra misturada (AMM), cujo valor de 940,0 uC condiz com o resultado esperado, o qual deveria ser influenciado pelo valor da 1ª etapa. Parece que as análises de cor das duas primeiras etapas sofreram algum tipo de interferência, visto que elas normalmente equivalem às amostras com maior intensidade de cor. Considerando o resultado de AMM correto, pode-se verificar uma significativa contribuição deste corante na formação do efluente final oriundo de um processo de tingimento têxtil. Para o corante vermelho verificou-se uma normalidade nos resultados esperados, com a 1ª amostra (V1) apresentando um valor bem alto de cor, quase 3000 uC, o que significa que esta etapa do tingimento apresenta uma perda considerável de corante para o banho de exaustão, talvez por deficiência do processo, talvez por baixa afinidade dos produtos químicos empregados ou até mesmo pela baixa eficiência do equipamento, causada pela falta de automação nos sistemas de controle de temperatura e mistura. Ao final observou-se que, devido às etapas subsequentes serem basicamente de lavagem do tecido, os valores de cor foi bastante reduzido. Isto contribuiu para um efluente final de mistura menos impactante do ponto de vista da cor. Apesar da 1ª etapa apresentar um efluente contendo grandes quantidades de corante não fixado nas fibras do tecido durante o processo, as etapas seguintes acabaram por diluir a amostra misturada de efluentes (AZM). De qualquer forma, por ser uma tonalidade escura, há uma forte tendência deste efluente final contribuir significativamente no efluente final misturado com todas as etapas de processamento juntas. O que se observa nos resultados analisados de cada diferente etapa do processo de beneficiamento têxtil que envolve um pré-tratamento e posterior tingimento, é que os efluentes obtidos poderão sofrer variações com relação ao parâmetro de cor conforme a tonalidade do corante utilizado. Nos tingimentos com corante amarelo e vermelho, os resultados das análises de cor de suas amostras finais, misturando suas cinco etapas de processamento, apresentaram valores bastante significativos, na faixa de 900 uC. Já os valores verificados para o tingimento com o corante azul, não foram tão expressivos, visto seus reduzidos números, em torno de 280 uC. Conclui-se que a cor final da amostra de efluente da mistura destas três diferentes tonalidades de corantes é dependente da quantidade da tonalidade mais escura, ou seja, do corante azul. Mesmo com quantidades expressivas de corantes amarelo e vermelho na mistura, tais tonalidades menos intensas, influenciaram pouco no resultado final da mistura (MG). Apesar das análises de cor verdadeira e cor aparente se diferenciarem no procedimento de filtração, ou seja, de remoção de possíveis sólidos em suspensão no efluente analisado, novamente, verificou-se que somente os resultados das amostras da primeira etapa e um pouco menos da segunda, apresentaram valores detectáveis. Mais uma vez, isto pode ter ocorrido devido à presença dos produtos químicos que atuam nestas duas primeiras etapas e aos resíduos removidos das fibras de algodão que sofreu o tratamento de purga e alvejamento simultâneo. Em algumas etapas do processo, notou-se que a cor aparente foi nula, ou seja, o efluente estava praticamente incolor. Estas foram etapas de lavagem, onde provavelmente mais nenhum tipo de impureza colorida restava no tecido ou no banho de exaustão. Como na medição de cor verdadeira da amostra referente à 1ª etapa (AM1), o valor de 26,6 uC foi bastante abaixo da expectativa, visto que normalmente o efluente desta etapa é aquele que contém mais corante não fixado. Mais uma vez, observou-se que o resultado da medição de cor da amostra misturada (AMM), cujo valor foi de 710,00 uC também deveria ter sido influenciado pelo valor da 1ª etapa. Considerando o resultado de AMM correto, verifica-se que pode haver uma contribuição substancial deste corante na formação do efluente final. Uma possibilidade aventada posteriormente seria que as diferenças observadas entre os resultados das amostras individuais e misturadas, poderiam estar relacionadas à mistura das amostras serem feitas no

momento da análise. Com o corante vermelho os resultados de cor aparente esperados se confirmaram, com a 1ª amostra (V1) apresentando um valor elevado, com cerca de 2500 uC. Ao final observou-se que, devido às etapas subsequentes também serem praticamente voltadas para a lavagem do tecido, os valores de cor são muito reduzidos. Isto pode ter contribuído para um efluente final de mistura (VM) com um valor ligeiramente menor (690 uC), mas não menos impactante. Nesta determinação para o corante azul, verificou-se um resultado não esperado, pois apesar das duas etapas iniciais (AZ1 e AZ2) apresentarem valores detectáveis de cor (210,0 uC e 239,0 uC, respectivamente), as etapas posteriores apresentaram valores quase insignificantes. Isto nos levaria a crer num resultado final cuja mistura (AZM) apresentaria um valor menor que o observado nestas duas primeiras etapas, fato este que não ocorreu. O valor apresentado para cor aparente da mistura superou os demais (267,0 uC), o que poderia representar um erro de análise ou alteração das características da amostra. Nos resultados analisados para cada diferente etapa do processo de beneficiamento têxtil observou-se que os efluentes obtidos sofreram variações com relação à cor conforme a tonalidade do corante utilizado. Assim como para a cor verdadeira, nos tingimentos com corante amarelo e vermelho, os resultados das análises de cor de suas amostras finais, misturando suas cinco etapas de processamento, apresentaram valores na faixa de 900 uC. Enquanto que os valores verificados para o tingimento com o corante azul, apresentou valores menores, abaixo de 300 uC. Conclui-se mais uma vez que, também a cor aparente final da amostra de efluente da mistura destas três diferentes tonalidades de corantes (MG) é mais dependente da quantidade da tonalidade mais escura, ou seja, do corante azul. Logo, tanto para a cor aparente, como para a cor verdadeira, a influência de tonalidades escuras foi maior que as demais tonalidades mais claras. Além disso, observou-se uma variação de cerca de 200 uC entre os valores das misturas (MG) entre a cor verdadeira (700 uC) e a cor aparente (900 uC). Isto pode ter sido causado pelo sensível presença de sólidos em suspensão não removidos na análise de cor aparente, que acabou contribuindo no acréscimo da cor medida na mistura das amostras.

As análises espectrofotométricas realizadas visaram identificar valores de absorvância das amostras coloridas obtidas durante os processos de pré-tratamento e tingimento. Nestas análises foram realizadas medições em triplicata das amostras de todas as etapas de processamento nos comprimentos de onda de 436nm, 525nm e 620nm. Foram determinados os valores de cor aparente calculados pelo método alemão DFZ para cada efluente gerado por cada etapa do processamento têxtil, ou seja, pré-tratamento, tingimentos com os três corantes escolhidos e sua mistura. A aplicação desta metodologia depende da utilização dos dados referentes à curva de calibração do método convencional de medição de cor em águas no comprimento de onda de 330nm. Utilizando os gráficos da curva padrão dos métodos de medição de cor tradicional e de comparação visual, descritos por Giordano (1999), pode-se interpolar os valores obtidos para os máximos de absorvância e determinar os valores corrigidos para o parâmetro de cor, para depois compará-los com aqueles medidos e plotados. Fazendo-se uma análise dos resultados observados em relação aos valores medidos para cor verdadeira de cada um dos tingimentos efetuados, podemos observar as seguintes situações: os valores corrigidos para as amostras selecionadas ficaram sempre abaixo dos valores medidos pelo método convencional de Pt-Co; as curvas utilizadas foram definidas para baixas concentrações de corantes, logo algumas amostras de efluente, como o da amostra MG não pode ser avaliado; observaram-se maiores diferenças entre os valores de cor medidos pelo método tradicional e o valor calculado pelo método proposto, para as tonalidades mais claras, como o amarelo; para tonalidades mais escuras, como o azul, não se observou grande diferença entre os valores de cor verificados pelos dois métodos. Com uma melhor aplicação da metodologia de medição de cor, poderá se estruturar um melhor controle para a remoção ou minimização da cor numa ETE, permitindo a utilização de sistemas de tratamento mais eficientes, que poderão viabilizar o reuso do efluente tratado nos próprios processos têxteis. Da mesma forma, esta possibilidade poderá se estender aos outros tipos de indústrias, com variações principalmente nas possibilidades de aplicação do efluente tratado reutilizado. Mesmo no caso do efluente têxtil, dependendo da etapa do processo em que se pense a reutilização, haverá limitações que deverão ser observadas a fim de garantir a qualidade dos produtos fabricados. Isto não inviabiliza a reutilização do efluente tratado, mas pode limitá-lo a aplicações menos nobres, porém não menos importantes. Cabe ressaltar que sempre que se pode pensar em reduzir o consumo de água nova, pura ou tratada, substituindo por um efluente tratado com níveis de qualidade próximos ou, às vezes até melhor, que da própria água empregada, os custos processuais são significativamente reduzidos, além dos benefícios socioambientais intrínsecos a estas ações.

CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

Na análise dos resultados obtidos em relação aos valores medidos para cor verdadeira nos experimentos realizados neste trabalho, podem-se observar as seguintes situações: os valores corrigidos para as amostras selecionadas ficaram sempre abaixo dos valores medidos pelo método padrão de Pt-Co. Isto confirmou que há uma discrepância nos resultados fornecidos pelo método padronizado em relação à realidade das amostras medidas. Esta diferença pode levar a avaliações errôneas em termos de controle de qualidade do efluente, ou até em termos de fiscalização ambiental; para as tonalidades mais claras, onde pequenas variações de em termos colorimétricos são mais perceptíveis (às vezes até mesmo visualmente!), observaram-se maiores diferenças entre os valores de cor medidos pelo método padrão e o valor calculado pelo método proposto. Considerando que, na maioria dos casos, os efluentes gerados por atividades têxteis ou similares tendem a apresentar tonalidades mais escuras, esta constatação não seria tão influente; por conseguinte, para tonalidades mais escuras, como aquelas com tonalidades mais próximas do azul, não se observou grande diferença entre os valores de cor verificados pelos dois métodos. Seguindo a mesma linha de raciocínio anterior, sendo os efluentes industriais de um modo geral, mais escuros, isto acabaria por dificultar o emprego desta metodologia em substituição àquela padronizada. Neste sentido, pode-se propor que o método estudado do fator DFZ empregado pela norma alemã, onde valores bem definidos limítrofes para determinados comprimentos de onda, serviriam de parâmetro para o controle de efluentes têxteis, independentemente das características de tonalidade, mais escura ou mais clara, e de possíveis interferentes presentes na metodologia para análise de cor em água. Um dos resultados observados com a conclusão deste trabalho de pesquisa foi que a metodologia para a medição de cor em efluentes têxteis também pode ser estendida para outros tipos de efluentes com características similares, principalmente em termos de coloração aparente, tais como os efluentes gerados em curtumes, indústrias cosméticas, alimentícias, farmacêuticas, de química fina em geral, onde se encontram os fabricantes dos próprios corantes. O que se pode verificar com os resultados obtidos foi que a correção dos valores de medição de cor utilizando os valores de máxima absorvância expressou melhor a realidade dos dados, visto estarem eliminando um possível erro causado pela restrita faixa de detecção do método tradicional de medição de cor, numa região do espectro típica para tonalidades encontradas na água, ou seja, nos comprimentos de onda mais baixos entre 350 e 450 nm. Nesta região, a coloração de poucos efluentes brutos de origem industrial poderia ser prontamente identificada, não somente devido ao fato de seus comprimentos de onda ser em outras regiões do espectro visível, mas por apresentarem, muitas vezes, mais de um pico de absorção de luz na região visível do espectro (misturas). Isto, evidentemente, dificulta na maioria das vezes e impede a verificação correta dos valores de cor aparente e real de uma amostra de efluente oriunda de qualquer atividade industrial que introduza em seus processos substâncias colorantes, como ocorre na têxtil, ou gera produtos coloridos, como os fabricantes de corantes e pigmentos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMADO, P. A. *Estudo Comparativo dos Parâmetros de Caracterização Ambiental no Processo de Tingimento Têxtil*. Faculdade SENAI-CETIQT, Rio de Janeiro, 2008;
2. AWWA. *Standards Methods for Water Analysis*. 21th edition, APHA, 2005;
3. BELTRAME, L. T. C.. *Caracterização de Efluente Têxtil e Proposta de Tratamento*. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2000;
4. BELTRAME, L. T. C.. *Sistemas Microemulsionados Aplicados à Remoção de Cor de Efluentes Têxteis*. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2006;
5. BRASIL. *Legislação Ambiental Básica*. Brasília: MMA e UNESCO, 2008;
6. CAVALLIERI, A. L. A.. *Controle de efluentes líquidos industriais: Análises qualitativas e quantitativas de efluentes líquidos industriais*. Rio de Janeiro: FEEMA, 2004;
7. COOPER, P. (Ed.). *Colour in dyehouse effluent*. Perkin House: Society of Dyers and Colourists, 1995;
8. FATMA. Portaria nº 017. *Estabelece os limites máximos de toxicidade aguda para efluentes de diferentes origens*. Florianópolis, SC: 2002;
9. FEEMA. *NT-202, R-10. Critérios e padrões para lançamentos em corpos hídricos*. Rio de Janeiro: 1986;
10. _____. *DZ-205, R-6. Diretriz de controle de carga orgânica em efluentes líquidos de origem industrial*. Rio de Janeiro: 2007;
11. _____. *DZ-215, R-4. Diretriz de carga orgânica biodegradável em efluentes líquidos de origem sanitária*. Rio de Janeiro: 2007;
12. GIORDANO, G. *Remoção de Cor em Efluentes Industriais*. Anais 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES. 1999;

13. GIORDANO, G. *Tratamento e controle de efluentes industriais*. UERJ, PEAMB. Rio de Janeiro, 2007;
14. LUCIDO, G. L. A.. *Tratamento de Efluentes Têxteis*. Apostila do curso de Engenharia Industrial Têxtil. Faculdade SENAI-CETIQT, Rio de Janeiro, 2008;
15. LUCIDO, G. L. A.. *Gestão Ambiental Têxtil*. Apostila do curso de extensão em EAD. SENAI-CETIQT, Rio de Janeiro, 2005;
16. MINISTÉRIO DA SAÚDE (MS). *Portaria 518*. Define o padrão de potabilidade para águas de consumo. Brasília: 2004;
17. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). *Resolução CONAMA 357*. Dispõe sobre a classificação dos corpos d' água e diretrizes ambientais. Brasília: 2005;
18. _____. *Resolução CONAMA 396*. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas. Brasília: 2008;
19. _____. *Resolução CONAMA 397*. Altera o inciso II... da Resolução CONAMA 357/2005. Brasília: 2008;
20. PELEGRINI-BRITO, N. N.; PATERNIANI, J. E. S.; PELEGRINI, R. T. *Água Para Consumo, Um Bem Limitado*. V Fórum de estudos contábeis, 2005, Rio Claro. 2005;
21. SALEM, V.; MARCHI, A.; MENEZES, F. G.. *O Beneficiamento Têxtil na Prática*. São Paulo: Golden Química do Brasil, 2005;
22. VISHNU, G., PALANISAMY, KURIAN J.. *Assessment of fieldscale zero liquid discharge treatment systems for recovery of water and salt from textile effluents*. Elsevier, Journal of Cleaner Production, 16 (2008);