

ADAPTAÇÃO DE UM COLORÍMETRO ARTESANAL PARA A DETERMINAÇÃO DE ALUMÍNIO RESIDUAL EM ÁGUA PARA ABASTECIMENTO PÚBLICO

Alexandre dos Reis¹(IC), Dra. Tania Renata Prochnow² (PQ).

¹Acadêmico do curso de bacharelado em Química Industrial (alexandrereis@outlook.com);

²Professora orientadora da monografia.

Curso de Química Industrial, Universidade Luterana do Brasil (ULBRA). Av. Farroupilha, 8001, Bairro São José, 92425-900, Canoas/RS, Brasil.

Palavras-chave: alumínio residual, vermelho de alizarina S, colorímetro artesanal.

Área temática: Enfoque Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (CTSA)

Resumo: Neste trabalho é apresentada uma adaptação de um colorímetro artesanal para a quantificação de alumínio residual em água para abastecimento público por espectrofotometria. Segundo diversos estudos, o íon alumínio proveniente do tratamento da água, pode ser um contribuinte para o desenvolvimento do Mal de Alzheimer. O colorímetro foi desenvolvido com alguns materiais considerados como lixo eletrônico, custando menos de cinquenta reais. Uma curva padrão foi desenvolvida através de padrões de concentração conhecida de alumínio, onde se obteve uma grande variabilidade nos pontos da curva de calibração e, conseqüentemente, um valor de coeficiente de determinação baixo ($r^2 = 0,3633$). As mesmas soluções foram lidas em fotômetro tradicional, onde se obteve coeficiente de determinação ótimo ($r^2 = 0,9962$). Devido a essa diferença entre os dois equipamentos, utilizando-se os mesmos padrões, acredita-se que a lâmpada utilizada no colorímetro artesanal não emitiu radiação em comprimento de onda suficiente para a correta quantificação do complexo.

Introdução

A água é o recurso natural de extrema importância para a vida humana. O seu uso é variado. Para cada tipo de uso, existem diversos parâmetros microbiológicos, físico-químicos e radioativos que devem ser seguidos. Para o consumo humano, por lei, a água deve ser potável.

No Brasil, os parâmetros que devem ser obedecidos para que a água seja destinada ao consumo humano seguem o Anexo XX da Portaria de Consolidação 05/2017 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2017). Frequentemente, a água disponível para o abastecimento público necessita de algum tipo de tratamento para que atenda aos parâmetros dessa portaria.

Um dos tratamentos mais utilizados em Estações de Tratamento de Água (ETA) é a clarificação, onde a água recebe um coagulante a fim de aglomerar partículas insolúveis na água, formando coágulos maiores e mais pesados, que são separadas por decantação.

O coagulante mais utilizado nas ETA brasileiras é o sulfato de alumínio ($Al_2(SO_4)_3$), devido ao seu baixo custo e eficiência, mesmo quando ocorrem variações significativas na qualidade da água bruta disponível para o tratamento (CIMM, 2008). A utilização desse coagulante gera um residual do íon alumínio (Al^{3+}) na água potável, ao final do tratamento. Estudos realizados nos mostram que a ingestão desse íon pode acarretar diversas doenças neurológicas, dentre elas, o mal

de Alzheimer (FLATEN, 2001). Por isso, é imprescindível que este parâmetro seja constantemente determinado durante o processo de tratamento da água para o abastecimento público.

O Anexo XX da Portaria de Consolidação 05/2017 do Ministério da Saúde, estabelece como valor máximo permitido (VMP) para o íon, o valor de 0,2 miligramas por litro (mg.L^{-1}) de água tratada.

Há diversas técnicas disponíveis para a quantificação desse íon na água tratada. As mais simples podem envolver a quantificação em espectrofotômetro que trabalhe com radiação na faixa de espectro do visível.

Devido ao alto custo de compra e manutenção desses equipamentos, muitas vezes a quantificação desse íon é feita por comparação visual, onde ele é complexado, formando uma substância colorida que varia sua intensidade conforme sua concentração no meio. Essa técnica, porém, não traz uma precisão correspondente à importância que o resultado tem para a saúde das pessoas que consomem a água.

No caso de empresas públicas, como a Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN), que atende 316 dos 497 municípios do Estado do Rio Grande do Sul e possui 341 laboratórios físico-químicos espalhados por 10 superintendências regionais (CORSAN, s.d.), o custo para a compra de um equipamento para cada laboratório seria economicamente inviável.

Pensando nisso, o presente trabalho foi idealizado e desenvolvido a fim de contribuir com um equipamento de qualidade semelhante aos já existentes, com a vantagem de possuir um baixíssimo custo de fabricação e manutenção, podendo ser fabricado, “calibrado” e distribuído dentro da própria Companhia, de maneira a colaborar de maneira ágil com o monitoramento do residual de alumínio nas diversas fases do tratamento, contribuindo com a qualidade de vida de mais de 6 milhões de gaúchos que consomem diariamente a água tratada pela empresa.

O tratamento de água

De toda a água do planeta, apenas 1% é doce e pode ser utilizada para consumo humano (ROSALINO, 2011). Esse volume, além de pequeno, ainda está suscetível à degradação ambiental que atinge cada vez mais intensamente os recursos hídricos de todo o mundo. Com isso, faz-se necessária a adoção de um tratamento. Esse tratamento é realizado em uma estação de tratamento de água (ETA), que nada mais é do que um local onde é realizada uma sequência de operações a fim de adequar as características físicas, químicas e bacteriológicas da água aos parâmetros exigidos pela legislação do Ministério da Saúde.

As águas que ainda não receberam tratamento são comumente chamadas de águas brutas, onde há a presença de material coloidal estável que confere a ela cor e turbidez. Esses parâmetros trazem não só problemas estéticos para a água, mas junto consigo podem carregar bactérias, vírus, outros organismos patogênicos, algas e substâncias produtoras de odor e sabor indesejáveis. Todos esses problemas podem ser separados na coagulação (RODRIGUES; MELO, 2004 apud CLETO, 2008).

A repulsão elétrica resultante entre as partículas coloidais (negativas) é, possivelmente, o que contribui para a estabilidade delas. Quando são adicionados produtos químicos adequados, normalmente sais contendo os cátions ferro e

alumínio (positivos) que, por agitação rápida para homogeneizar a mistura, fazem a desestabilização, reduzindo ou até eliminando as forças de repulsão entre as partículas e formando coágulos de hidróxidos insolúveis (CORSAN, 2013).

Os riscos da ingestão de alumínio para a saúde

O alumínio é um potente neurotóxico, tanto em animais de experimento como em humanos (FLATEN, 2001). Muitos estudos levantaram a hipótese de que a exposição ao alumínio está relacionada com o mal de Alzheimer.

O mal de Alzheimer é um distúrbio neurodegenerativo, que se manifesta com a perda de memória e o raciocínio. A genética desempenha um papel crítico no surgimento da doença, porém há evidências de que o ambiente pode modificar o risco. Estudos realizados por Edwardson (1992) encontraram acumulação de alumínio em neurônios localizados em regiões do cérebro seletivamente vulneráveis ao mal de Alzheimer em pacientes com insuficiência renal. Com isso, esses pacientes ficam expostos cronicamente a altos níveis de alumínio no sangue. Nessas mesmas regiões cerebrais houve a deposição de proteína beta-amilóide e a formação de emaranhados neurofibrilares que, segundo o mesmo autor, são consideradas como fatores que causam a doença neurológica.

Mesmo com resultados inconclusivos nas pesquisas, os cientistas fazem um alerta para a possibilidade de que o alto consumo de alumínio através da água potável seja um possível fator de risco para a doença de Alzheimer (RONDEAU *et al.*, 2008).

Determinação de alumínio por espectrofotometria com Vermelho de Alizarina S

A espectrofotometria é uma técnica que consiste na medida da absorção ou transmissão de luz em uma amostra, onde uma lâmpada (ou outra fonte de radiação) emite luz que passa por um seletor de comprimento de onda, transformando-a em um feixe de luz monocromática, formada por apenas um comprimento de onda. Esse feixe incide sobre a amostra, onde parte da energia é absorvida e o restante é transmitido e captado por um detector. O detector, por sua vez, converte a energia luminosa em um sinal elétrico que é interpretado numericamente por um mecanismo registrador.

A determinação de alumínio por espectrofotometria com vermelho de alizarina S (sigla ARS em inglês de *Alizarin Red S*) é o método atualmente utilizado pela CORSAN para a determinação do alumínio residual na água.

Essa técnica utiliza o vermelho de alizarina S para complexar os íons Al^{3+} : a amostra é alcalinizada, inicialmente, com solução de bicarbonato de amônio (NH_4HCO_3) para que ocorra a formação de $Al(OH)_3$, que é complexado, posteriormente, pelo corante de vermelho de alizarina S, formando um complexo de alizarina- Al^{3+} (ARS- Al^{3+}) conforme reação da Figura 1:

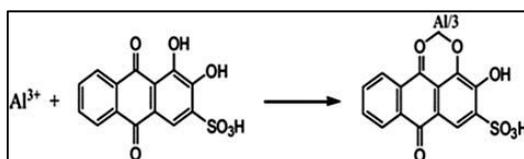


Figura 1: Reação de formação do complexo ARS- Al^{3+}

Esse complexo possui coloração amarelada, porém, devido à presença do íon amônio (NH_4^+), ele adquire coloração avermelhada. Quando se adiciona ácido acético, esse complexo é substituído pelo complexo formado pelo alumínio e o ácido acético, que é mais estável (PFQ-DECA-036, 2018) e absorve radiação na faixa de 488 nm (SUPIAN *et al.*, 2013), podendo ser quantificado em espectrofotômetro ou colorímetro.

Metodologia

O colorímetro artesanal foi confeccionado segundo o método descrito por Silva e Orth (2017).

Os materiais necessários para a confecção do colorímetro artesanal incluem duas lâmpadas de LED (sigla em inglês de *Light Emitting Diode* – Diodo Emissor de Luz) de alto brilho de 5 milímetros (mm) na cor azul, com emissão de luz no comprimento de onda de 470 nm (CROMATEK, 2009), fonte de energia (carregador de celular com saída de 5 a 9 volts), espuma rígida, resistor de 100 ohms (linhas marrom – preto – marrom), cubeta de leitura de caminho óptico de 1 cm, cabos de pontas de prova e multímetro (marca Force Line, modelo DT-830B).

A fonte de radiação foi montada utilizando-se uma fonte de carregador de celular com saída de 5 volts (V), onde o polo positivo (fio vermelho do cabo) foi ligado em uma das extremidades do resistor de 100 ohms (Ω). A outra extremidade do resistor foi ligada ao polo positivo (“perna” mais comprida) de uma das lâmpadas de LED. O polo negativo da fonte foi ligado diretamente ao polo negativo (“perna” mais curta) da lâmpada de LED. Essa lâmpada é o emissor de radiação.

Para a montagem do detector foi utilizada a outra lâmpada de LED azul, que foi ligada nas pontas de prova do multímetro. A “perna” maior do LED, como polo positivo, foi ligada na ponta de prova de cor vermelha e a “perna” menor do LED, como polo negativo da lâmpada, foi ligada na ponta de prova de cor preta. Todas essas ligações citadas foram feitas com solda de estanho com o auxílio de bastão de solda.

A ponta de prova de cor vermelha foi ligada no multímetro na entrada intitulada “V Ω mA” destinada às medidas que incluem a diferença de potencial (ddp). Já a ponta de prova de cor preta foi ligada na entrada intitulada “COM” (comum).

A radiação gerada pela lâmpada emissora (radiação emitida) passa pela cubeta com a amostra, onde parte dela é absorvida. A radiação que não foi absorvida (radiação transmitida) é incidida sobre a lâmpada receptora. A lâmpada, ao receber essa radiação, converte a energia luminosa em uma ddp. Essa ddp é medida pelo multímetro. A Figura 2 apresenta detalhadamente a montagem acima referida:

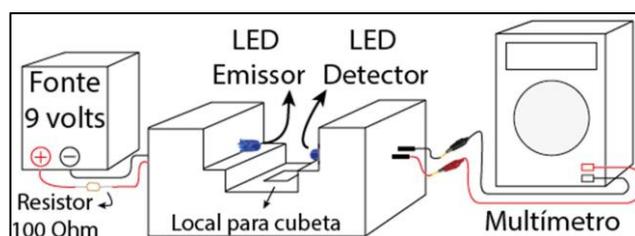


Figura 2: Esquema de montagem do colorímetro artesanal (SILVA e ORTH, 2017)

Após a montagem do colorímetro artesanal, procedeu-se a sua calibração. Para isso, inicialmente foi medida a ddp no LED detector utilizando o multímetro, com 100% de transmitância: na cubeta foi adicionada amostra de branco contendo $0,00 \text{ mg.L}^{-1}$ de alumínio (solução da prova em branco conforme PFQ-DECA 036, 2018).

Com o auxílio de uma pipeta volumétrica de 50 mL, água destilada foi adicionada em uma proveta, onde recebeu 1 mL de solução de bicarbonato de amônio a 8,2%. Homogeneizou-se a solução e adicionou-se 1 mL de solução de vermelho de alizarina S a 0,1%. Homogeneizou-se novamente. A solução foi deixada em repouso por 10 minutos e, após transcorrido este tempo, recebeu 1 mL de solução de ácido acético a 30%. Homogeneizou-se novamente. Após transcorridos novamente 10 minutos em repouso, a solução foi lida no colorímetro artesanal e sua ddp foi anotada como sendo a $ddp_{100\%}$. A ddp com 0% de transmitância foi medida com um objeto opaco (pedaço de papelão com EVA colado) bloqueando totalmente a passagem de luz do LED emissor para o LED receptor. Esse valor de ddp foi considerado como sendo a $ddp_{0\%}$.

A curva de calibração foi confeccionada no colorímetro artesanal utilizando-se padrões de concentrações conhecidas de alumínio, a partir de uma solução-padrão de cloreto de alumínio (AlCl_3) a 10 mg.L^{-1} . Os padrões foram preparados nas seguintes concentrações: 0,05, 0,10, 0,20, 0,30, 0,40 e $0,50 \text{ mg.L}^{-1}$.

Estes padrões foram utilizados, de maneira semelhante ao descrito no preparo da prova em branco, para o desenvolvimento de cor conforme a técnica "PFQ-DECA-036 – Determinação de alumínio residual – Fotômetro" (PFQ-DECA-036, 2018) da CORSAN.

Resultado e discussão

Os padrões preparados com concentrações conhecidas de alumínio foram utilizados para o desenvolvimento de cor e lidos no colorímetro artesanal a fim de obterem-se seus respectivos valores de ddp. Essas ddp foram utilizadas para o cálculo das absorvâncias dessas soluções.

A intenção inicial era que, a partir das soluções padrão preparadas, três determinações seriam realizadas em cada solução-padrão, sendo uma a cada dia, e os resultados obtidos seriam utilizados para a confecção de curvas de calibração de cada determinação, porém os resultados obtidos na primeira determinação não foram lineares e não foram parecidos com os resultados obtidos na determinação do segundo dia. Por isso, foram realizadas 8 leituras em 3 baterias de testes.

Os dados obtidos foram transcritos para o *software* Microsoft® Excel® a fim de serem utilizados para a confecção de gráficos de curva de calibração. Na Figura 3 está disposta a curva de calibração gerada com todos os dados:

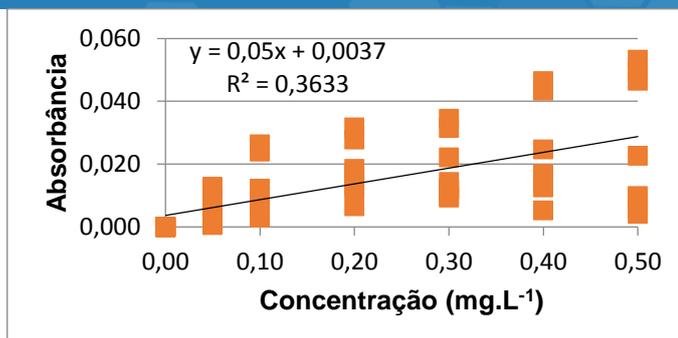


Figura 3: Curva de calibração com todos os valores obtidos nas baterias de testes (do autor, 2018)

Desde o início das práticas, as baterias de amostras também foram lidas no fotômetro Spectroquant® Nova 60A localizado na ETA II da CORSAN na cidade de Montenegro / RS, utilizando o filtro de 500nm nas determinações. Os valores de absorbância obtidos no fotômetro Spectroquant® Nova 60A também foram utilizados para a confecção de um gráfico de curva de calibração, conforme a Figura 4:

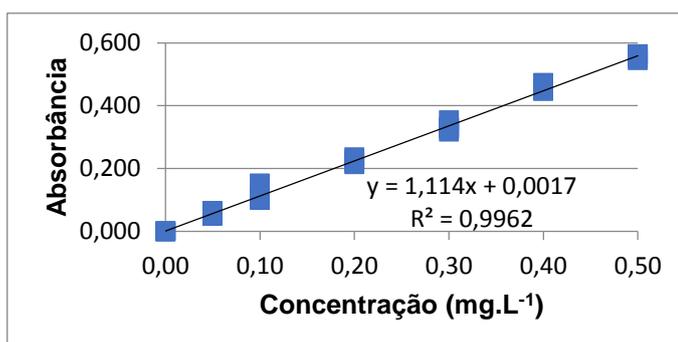


Figura 4: Curva de calibração realizada a partir das leituras realizadas no fotômetro Spectroquant® Nova 60A (do autor, 2018)

Avaliando a Figura 4 podemos perceber que as soluções-padrão foram preparadas adequadamente, pois, ao contrário dos ensaios com o colorímetro artesanal, houve linearidade nas determinações realizadas no fotômetro.

Um possível fator que ocasionou as variações nos valores de absorbância encontradas nos ensaios da curva de calibração do colorímetro artesanal é o comprimento de onda emitido pela lâmpada. Segundo Supian *et al* (2013), o complexo ARS-Al³⁺ absorve o máximo de radiação em 488 nm.

Segundo Braga (s.d.), há dois tipos de LED azul no mercado: um emite radiação de 470 nm e sua cor é denominada “super azul” e o outro emite radiação de 430 nm e sua cor é denominada “ultra azul”. Com isso, não está descartada a possibilidade de ter ocorrido a compra de uma lâmpada que emite 430 nm em vez de 470 nm, pois havia poucas informações sobre as especificações das lâmpadas, o que pode ter afetando a qualidade das medições.

No fotômetro, as soluções foram lidas em 500 nm, pois é o comprimento de onda disponível no aparelho que fica mais próximo do comprimento de onda ideal. Possivelmente, esse é o motivo pelo qual os resultados do fotômetro terem sido muito melhores do que os do colorímetro artesanal.

Considerações finais

O colorímetro artesanal foi construído, segundo modelo proposto por Silva e Orth (2017), porém, na obtenção da curva de calibração para a determinação de alumínio residual, os valores de absorvância obtidos através da leitura de soluções-padrão preparadas tiveram grande variação entre as baterias de testes realizadas e não geraram linearidade satisfatória.

Essas mesmas amostras foram lidas em um fotômetro, onde os valores de absorvância obtidos geraram uma curva de calibração com linearidade e ótimo coeficiente de determinação. Pensando nisso, surgiram novas ideias de mudanças ou adaptações durante a realização da pesquisa. Essas ideias podem ser implementadas a fim de que o colorímetro artesanal possa quantificar com confiabilidade o alumínio residual em água para abastecimento público:

- mudar a lâmpada emissora de azul para “azul esverdeado”, que segundo Braga (s.d.), emite radiação em 505 nm, valor este, mais próximo do comprimento de onda utilizado pelo fotômetro;
- pesquisar sobre a possibilidade de adaptar o colorímetro artesanal desenvolvido ao modelo proposto por Gaião et al (2005), que consiste em um fotômetro multi-LED microcontrolado, podendo ser ligado em um computador;
- pesquisar sobre a possibilidade de adaptar no colorímetro artesanal desenvolvido, uma placa da plataforma Arduino® a fim de que esta exerça um papel de unidade de controle do equipamento e colete dados diretamente para um computador;
- testar os padrões utilizando lâmpadas de LED de outros comprimento de onda, verificando qual lâmpada se encaixa melhor para o complexo de ARS-Al³⁺;
- realizar ensaio de varredura em um espectrofotômetro nos padrões, a fim de identificar, em cada concentração, o comprimento de onda onde o complexo ARS-Al³⁺ absorve o máximo de radiação;
- testar a possibilidade de substituir a fonte de carregador de celular por uma fonte mais apropriada, de maneira a garantir uma melhor qualidade e estabilidade na energia elétrica utilizada.

Referências bibliográficas

BRAGA, Newton C. **Alimentando Corretamente seus LEDs (ART1437)**. INCB, [s.d.]. Disponível em: <<https://newtoncbraga.com.br/index.php/projetos/8162-alimentando-corretamente-seus-leds-art1437>> Acesso em: 18 Jun. 2018.

BRASIL. Portaria de Consolidação 05/2017 de 28 de setembro de 2017. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. In: **Diário Oficial da União**, Brasília, n.190, p.360, 3 Abr. 2017. Seção 1. Suplemento.

CIMM – Centro de Informação Metal Mecânica. **Sulfato de alumínio: eficaz e barato para tratar água**. Florianópolis, Dez. 2008. Disponível em:

<https://www.cimm.com.br/portal/noticia/exibir_noticia/4592-sulfato-de-aluminio-efica-z-e-barato-para-tratar-agua> Acesso em: 27 Mar. 2018.

CLETO, Catarina I. T. P. **O alumínio na água de consumo humano**. Covilhã: UBI, 2008. Dissertação (Mestrado em Química Industrial), Departamento de Química, Universidade da Beira Interior, 2008.

CORSAN – Companhia Riograndense de Saneamento. **Curso básico de tratamento de água e esgoto**. CORSAN: Porto Alegre, 2013.

CORSAN – Companhia Riograndense de Saneamento. **Tratamento de água**. Porto Alegre: CORSAN, s.d. Disponível em:
<<http://www.corsan.com.br/tratamentodeagua>> Acesso em: 30 Mai. 2018.

CROMATEK. **Série LX21 – Topo esférico - Ø 5mm**. Guarulhos: 12 Jan. 2009. Disponível em:
<http://www.cromatek.com.br/site/components/com_jshopping/files/demo_products/LX21.pdf> Acesso em 15 Mai. 2018.

EDWARDSON, J.A. *et al.* Aluminium accumulation, beta-amyloid deposition and neurofibrillary changes in the central nervous system. **Ciba Found Symp.** v. 169, p. 165-179. 1992.

FLATEN, T. P. Aluminium as a risk factor in Alzheimer's disease, with emphasis on drinking water. **Brain Research Bulletin**, v. 55, n. 2, p. 187-196. 2001.

GAIÃO, Edvaldo da N. *et al.* Um fotômetro multi-LED microcontrolado, portátil e de baixo custo. **Quim. Nova**, v. 28, n. 6, p. 1102-1105. 2005

PFQ-DECA-036. **Determinação de alumínio residual – fotômetro**. CORSAN, Revisão: 02, Jan 2018.

RONDEAU, Virginie *et al.* Aluminum and Silica in Drinking Water and the Risk of Alzheimer's Disease or Cognitive Decline: Findings From 15-Year Follow-up of the PAQUID Cohort. **American Journal of Epidemiology**. v. 169, n. 4. 2008.

ROSALINO, Melanie R. R. **Potenciais Efeitos da Presença de Alumínio na Água de Consumo Humano**. Lisboa: UNL, 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente, Perfil Sanitária). Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, 2011.

SILVA, Valmir B.; ORTH, Elisa S. Introdução à físico-química orgânica utilizando um colorímetro artesanal – uma prática interdisciplinar. **Química Nova**, v. 40, n. 2, p. 238-245. 2017.

SUPIAN, Siti M. *et al.* Quantitative determination of Al(III) ion by using Alizarin Red S including its microspheres optical sensing material. **Anal. Methods**. n. 5, p. 2602–2609. 2013.