

ESTUDO DA MITIGAÇÃO DA EUTROFIZAÇÃO DO AÇUDE VELHO PELA ELETRÓLISE

Nascimento, L.^{1*}; Agostinho, L.C.L.²; Cavalcanti, F.B.³

^{1*}Departamento de Física - DF/CCEN-UEPB.

Cidade Universitária- Caixa Postal:5008 - CEP: 58059-900, João Pessoa-PB.

E-mail ^{1*}:^{1*}luciano.fisicaufpb@gmail.com

²Departamento de Química- DQ/CCT-UEPB.

Rua Juvêncio Arruda, s/n-Bodocongó – CEP: 58109-790, Campina Grande-PB.

E-mail ²:²cristina.uepb@gmail.com

³Departamento de Hidráulica e Engenharia Civil, CTRN/CCT-UEFCG.

Av. Aprígio Veloso, 882-Bloco CM-1º Andar - CEP:58.109-970-Campina Grande-PB.

E-mail ³:³bernardete.ufcg@gmail.com

Resumo: Em lagos e reservatórios de acumulação eutróficos, o florescimento de algas verdes - azuladas contribui para o aumento do teor de clorofila “a”, deteriora a qualidade da água com condições anaeróbicas nas águas mais profundas, provoca formação de espuma, entre outros impactos. Devido à ocorrência de eventos irregulares de nitrificação nas águas do açude urbano poluído, Açude Velho localizado em Campina Grande, PB durante o período de verão, foi analisado o desempenho do processo eletrolítico para tratar essas águas. Para o tratamento eletrolítico foi construído, em escala de laboratório, um reator de 2 litros de capacidade onde foi inserida uma colméia eletrolítica constituída de chapas de aço carbono e de alumínio. As amostras foram coletadas em oito pontos de amostragem no açude. Os seguintes parâmetros físicos, químicos e de poluição orgânica determinados na água bruta e após eletrólise foram cor, turbidez, pH, Alcalinidade, cálcio, cloreto, nitrato, fósforo total e clorofila “a”. Após 15 minutos de eletrólise, o efluente foi submetido à decantação durante 45 minutos. Os resultados mostraram que a produção de alumínio pela formação de par iônico com o sulfato da água propiciou a flotação das impurezas da água. Foi também observada uma desnitrificação total (remoção de 100% de nitrato) com liberação de N₂ para o meio ambiente. A remoção de fósforo e de clorofila “a” foi também significativa.

Palavras-chave: Processo Eletrolítico; Águas Eutrofizadas; Clarificação.

EUTROPHICATION MITIGATION STUDY OF THE AÇUDE VELHO BY ELECTROLYSIS

Abstract: In eutrophic lakes and reservoirs the green – blue algae bloom contributes to increase the chlorophyll “a” concentration, deteriorates the water quality with anaerobic conditions in the

deepest waters and provokes scum formation among other impacts. Due to the occurrence of irregular nitrification events in the waters of the polluted urban lake, Açude Velho which is located in Campina Grande, PB during the dry season, it was analyzed the performance of the electrolytic process in treating these waters. For the electrolysis treatment it was built, in laboratory scale, a 2 liters reactor where it was inserted an electrolytical assemblage made of steel and aluminum sheets. Samples were obtained in eight sampling points in the lake. The following physical, chemical and organic parameters were obtained: color, turbidity, *pH*, Alkalinity, calcium, chloride, nitrate, total phosphorus and chlorophyll “a”. After 15 minutes of electrolysis, it was applied 45 minutes of sedimentation to the effluent. The results showed that the alumen production by ion pairing with the water sulphate concentration provoked the water impurities flotation. It was also observed a total denitrification (100% nitrate removal) with N₂ liberation to the environment. Phosphorus and chlorophyll “a” removal was also significant.

Keywords: Electrolytic Process; Eutrophic Waters; Clarification.

INTRODUÇÃO

A eutrofização de lagos, açudes e reservatórios de acumulação se constitui no maior problema de gerenciamento de qualidade de águas superficiais. Ela é o resultado do enriquecimento de nutrientes em consequência de atividades humanas tanto para lagos ou açudes no meio urbano como para lagos ou reservatórios de acumulação no meio rural.

Geralmente, é observada em cada lago uma resposta diferente ao aumento/ diminuição das entradas de nutriente. O fósforo, P é considerado o nutriente determinante do estado trófico de lagos. Contudo, a taxa (em peso) entre as concentrações totais de nitrogênio, N₂ e de fósforo total, PT é tida como indicativa da produtividade de clorofila “a”. Geralmente quando a razão entre NT e PT é maior que 10, então o fósforo é o fator limitante. Em reservatórios de acumulação, as maiores perdas de N₂ se deve ao processo de desnitrificação (cerca de 40%) e à acumulação em sedimentos. Em alguns casos, a volatilização de nitrogênio na forma amoniacal provoca perdas de N₂ em mananciais. Os efeitos da eutrofização se manifestam principalmente no florescimento de algas azuis - esverdeadas. Esse “Bloom” (Florescimento) está associado à produção de espumas artificiais, colmatação de filtros de Estações de Tratamento de Água - ETAs, problemas de odor e de sabor, mortandade de peixes durante o verão, envenenamento de criações e de animais domésticos, entre outros [1]. Tais problemas têm prejudicado a utilização de vários mananciais superficiais para uso doméstico e recreacional.

O Açude Velho é um lago urbano de Campina Grande, PB construído em 1837 com a finalidade de uso para recreação, banho e lavagem de roupas (uso municipal e de recreação). Essa utilização foi gradativamente diminuída a partir da inauguração em 1938 do sistema de

abastecimento de água da cidade cuja captação foi feita no manancial “Vaca Brava” localizado em Areia, PB. Com a ampliação do sistema em fins da década de cinquenta do Século XX, o lago urbano foi utilizado apenas para fins paisagísticos. Nos últimos vinte anos, esse lago urbano começou a apresentar uma deterioração progressiva na qualidade de suas águas. Vários pontos de lançamento de esgotos clandestinos foram detectados, principalmente os lançados nas galerias pluviais que afluem ao açude.

Alguns despejos industriais foram também detectados nas galerias, além daqueles de empresa de ônibus e do Canal do Prado que afluem a esse lago. O açude está integrado numa bacia hidrográfica de área de 103,35 ha, possui um espelho de água de 177248,00 m² armazenando um volume de 515 863,00 m³ de água na cota da soleira do sangradouro e apresenta profundidade variando de 2,50m a 4,51m [2]. A Figura 1 abaixo mostra que o açude atualmente se constitui em “cartão postal” da cidade de Campina Grande.



Figura 1. Vista panorâmica do Açude Velho, Campina Grande- PB.

Na Zona do Agreste da Paraíba a variação no volume de água de açudes é maior na época de estiagem quando ocorrem os problemas de eutrofização de suas águas. O enriquecimento de nutrientes, a pouca circulação das águas do açude, entre outros fatores fizeram com que houvesse um “Bloom” (Florescimento) de algas azuis- esverdeadas no Açude Velho. No primeiro florescimento de algas (período de dezembro a janeiro de 1988) foi observada a predominância da espécie *Microcystis* sp. Como consequência, houve um desequilíbrio ecológico que culminou na mortandade de peixes, de algas, produção de espuma e exalação de maus odores. As medidas adotadas para recuperação e manutenção das águas do açude foram paliativas. A remoção de vegetação aquática e diminuição das descargas clandestinas de esgotos não foram suficientes para, no decorrer do tempo, evitar um novo “Bloom” de algas.

O controle químico tem sido aplicado em larga escala como o método mais adequado de tratamento de águas eutrofizadas. Uma das substâncias mais usadas para o controle do florescimento de algas é o sulfato de cobre, CuSO₄. Contudo, alguns trabalhos foram feitos com flotação por ar dissolvido, ozonização e processos de coagulação e floculação [3].

A eletrólise também propicia a combinação de todos esses processos sendo um tratamento simples e de baixo consumo de energia. O processo eletrolítico consiste na simples passagem de corrente contínua através de esgotos que escoam entre vários conjuntos de eletrodos metálicos. No Brasil, os trabalhos pioneiros sobre eletrólise foram realizados sob responsabilidade da CETESB, São Paulo, SP através de instalação em Campinas, SP de uma unidade piloto a cargo da Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. Trabalhos posteriores têm sido realizados comprovando a aceitabilidade e eficiência do processo para vários tipos de águas naturais e esgotos industriais [4].

Este trabalho mostra os resultados da utilização do tratamento por eletrólise ou eletroflotação seguida de sedimentação nas águas eutrofizadas do Açude Velho para remoção de nutrientes, diminuição de algas e melhoria na qualidade da água para uso recreacional.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Em águas naturais de baixa força iônica ($I < 0,10$), o pH real da água é igual ao pH medido ou observado sendo o coeficiente de atividade iônica considerado unitário. Nessas águas o pH está compreendido na faixa de 6,5 a 9,5 enquanto que a Alcalinidade varia de $50 \text{ mg.L}^{-1} \text{CaCO}_3$ a $150 \text{ mg.L}^{-1} \text{CaCO}_3$. Geralmente no sistema cristalino predominante na Paraíba, o cálcio é o cátion predominante em suas águas naturais e contribui para a dureza de Carbonato também chamada de “temporária” porque é removida até mesmo pelo aquecimento da água.

A mais conhecida forma de Alcalinidade é a Total ou simplesmente Alcalinidade que é definida pela adição de uma base forte (hidróxido) a uma solução de CO_2 ; ou seja, a partir da seguinte equação de neutralidade [5-6]:

$$[Alc] = -[H^+] + [HCO_3^-] + 2[CO_3^{2-}] + [OH^-] \quad (1)$$

Em açudes localizados em regiões semi-áridas submetidos à intensa evaporação e onde se observa a reconcentração de sais, a Alcalinidade é determinada por balanço de massa nas espécies catiônicas e aniônicas mais significativas ou de maior abundância; onde, { } indica concentração equivalente na escala, dado por meq.L^{-1} :

$$[Alc] = Na^+ + K^+ + 2\{Ca^{2+} + Mg^{2+}\} - Cl^- - 2SO_4^{2-} \quad (2)$$

Em lagos e reservatórios de acumulação, a determinação teórica da produção de Alcalinidade (dada pela diferença entre a Alcalinidade em bicarbonato determinada experimentalmente e a Alcalinidade esperada) é dada por:

$$[Alc_{pt}] = Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+ + NH_4 + Al^{3+} + Fe^{3+} + Mn^{2+} - (SO_4^{2-} + NO_3^- + A^-) \quad (3)$$

onde, A^- representa as concentrações de ânions orgânicos obtidos a partir de balanço de massa ou de carga iônica.

No condicionamento químico de águas naturais os valores de parâmetros de espécies carbônicas e de pH são modificados para uma nova condição a partir dessa variação. A definição de Alcalinidade quando a água é submetida a dosagem química tem a seguinte expressão[7-8]:

$$\Delta Alc = \Delta HCO_3^- + \Delta CO_3^{2-} + \Delta OH^- + \Delta H^+ \quad (4)$$

onde, ΔHCO_3^- e ΔCO_3^{2-} indicam mudança nas espécies bicarbonato e carbonato na escala de carbonato de cálcio, $mg.L^{-1} CaCO_3$.

Com relação à Dureza Total (DT), esta é dada pela Dureza de Carbonato, DC ou temporária, associada à Dureza permanente ou de Não Carbonato (DNC). Para valores de pH na faixa de 8,0 a 9,5 é aplicada a seguinte equivalência para se obter a Dureza de Carbonato; a saber:

$$DC = Alc\Delta CO_3^{2-} + AlcHCO_3^- = \Delta HCO_3^- + \Delta CO_3^{2-} \quad (5)$$

Para obtenção da Acidez e conhecimento do potencial de precipitação/dissolução de carbonato de cálcio ou Índice de Loewenthal, Ilw é usado o software STASOFT, Versão 3 [9], válido para teores de Sólidos Totais Dissolvidos até $15000 mg.L^{-1}$. Na falta do software, utiliza-se o diagrama de condicionamento do tipo Deffeyes que mostra no eixo das abscissas os valores de Alcalinidade (na escala $CaCO_3$) e na ordenada os valores de Acidez. Linhas representando os valores de pH na escala $5.0 \leq pH \leq 10.0$ são traçadas a partir do eixo 0. Ele permite que, a partir dos valores experimentais de Alcalinidade e de pH , seja determinada a Acidez da amostra; ou seja, a partir de dois valores conhecidos determina – se o terceiro

Os processos de coagulação e de floculação seguidos de sedimentação são usados para “clarificar” águas turvas e coloridas. Os coagulantes e auxiliares de coagulação empregados transformam os colóides (impurezas) em flocos que são posteriormente sedimentados. Concomitantemente a esse processo, ocorre também a precipitação dos flocos formados e de algumas substâncias a eles agregados e que são sedimentáveis. A clarificação é completada ao se empregar a sedimentação onde as impurezas em suspensão são eliminadas bem como os flocos formados durante a coagulação e floculação. O uso de substâncias ou compostos químicos na coagulação permite uma maior eficiência na formação de flocos. Além disso, possibilita a adição/remoção de parâmetros químicos tais como Alcalinidade, Dureza, Cálcio e outros. Dentre os coagulantes mais usados cita – se os sais de alumínio e de ferro (sulfato de alumínio, $Al_2(SO_4)_3.18H_2O$ e/ou de ferro $Fe_2(SO_4)_3$, cloreto férrico, $FeCl_3$ e outros.

A Química da coagulação com sulfato de alumínio mostra que a decomposição desse sal na água é dada por:



onde sua concentração equivalente é dado por meq.L⁻¹

A equação acima mostra a influência de *pH* nessa precipitação. Para água com bastante Alcalinidade natural, o alumínio reagirá com os sais de bicarbonato segundo as reações:



onde, *ppt* indica precipitação de composto. Na equação acima ocorre uma precipitação de hidróxido de alumínio e liberação de CO₂.

O tratamento eletrolítico consiste na simples passagem de corrente contínua através de esgotos que escoam entre vários conjuntos de eletrodos metálicos. Segundo SMITH (1985)[13], o eletrodo que está sendo sacrificado remove contaminantes indesejáveis por eletrocoagulação e eletroflotação. Nesse processo, a placa de alumínio imersa em águas naturais poluídas e que possui fiação bifurcada tem suas extremidades ligadas a uma fonte de energia. Observa – se então que o eletrodo metálico se dissolve para formar cátions metálicos que se afastam do eletrodo dirigindo-se para a solução [10]. O eletrodo funciona, portanto, como um *ânodo* (+). Quando o alumínio funciona como ânodo de sacrifício, há liberação de íons de alumínio na solução causando a desestabilização elétrica dos colóides e, dessa forma, permite a formação de flocos que poderão ser separados da fase líquida por sedimentação e flotação. No *cátodo* (-), o íon hidrogênio, H⁺ da água que sofreu ação eletrolítica e está dissociada, é reduzido para gás hidrogênio, H₂ que sobe para a superfície do líquido carreando várias impurezas e sólidos suspensos das águas poluídas.

MATERIAL E MÉTODOS

Os pontos de amostragem selecionados no “Açude Velho”, lago urbano de Campina Grande na Paraíba, estão ilustrados na Figura 2 abaixo. Foram selecionados oito (08) pontos localizados nas margens do açude e obtidos os valores médios dos diversos parâmetros para a

caracterização da água bruta. Foram determinados os seguintes parâmetros: Sólidos Totais Dissolvidos, STD (mg.L^{-1}), Temperatura em $^{\circ}\text{C}$; Cor, Pt-Co (mg.L^{-1}); Turbidez, U.T.; *pH* operacional, *pHop*; Alcalinidade, Alc ($\text{mg.L}^{-1} \text{CaCO}_3$); Cálcio, Ca ($\text{mg.L}^{-1}\text{CaCO}_3$); Cloreto, Cl (mg.L^{-1}); Fósforo Total, PT (mgP.L^{-1}); Nitrato, $\text{NO}_3 - \text{N}$ (mgN.L^{-1}) e Clorofila “a” ($\mu\text{g.L}^{-1}$).

A cor e a turbidez foram determinados em aparelho de medição com discos comparativos onde se usa um “branco” e discos com numerações de acordo com o grau do parâmetro tendo sido usada a escala JIS (Japanese International Standard). Com exceção da Alcalinidade, todos os demais parâmetros foram determinados segundo MANCUSO (1987) [11]. A Alcalinidade Total foi obtida mediante o desenvolvimento da Titulação tipo Gran, com função linear F_{1x} e metodologia experimental descrito em [12] utilizando a seguinte equação, na escala de carbonato de cálcio:

$$Alc = \frac{v_1 \cdot ca}{v_0 \cdot 50} \cdot 10^3 \quad (10)$$

onde, v_1 = volume de ácido forte mineral tal que ácido clorídrico, HCl requerido para titular de volta ao ponto de equivalência em ml; v_0 = volume inicial da amostra, ml; *ca* = concentração molar de ácido forte, padronizada e igual a 0,1 M.

A estação de tratamento por eletrólise, em escala de laboratório, constou dos seguintes equipamentos e reatores (Figura 3): Um reator de 2L no qual foi imersa uma colméia eletrolítica constituída de dois eletrodos de aço inox 1020 e duas chapas de alumínio distanciadas entre si de 2,0 cm. Este pequeno espaçamento foi escolhido com a finalidade de diminuir a tensão a ser utilizada na eletrólise. Nessas colméias foram colocadas seis (06) arruelas de plástico para isolamento das placas. O reator ainda apresentava uma torneira acoplada em sua parte inferior de modo a facilitar a tomada de amostra após eletrólise. Eletrodos contendo furos para a passagem de fios foram conectados aos pólos de uma bateria de caminhão com 12 V e 36 A. O fio partindo da colméia eletrolítica, em sua extremidade superior, acima do nível máximo de água do reator de eletrólise, apresentava uma bifurcação sendo uma extremidade ligada ao pólo positivo da bateria (ânodo) e a outra ao pólo negativo (cátodo). Alguns equipamentos de medição de corrente elétrica também foram usados; como sejam: variador de tensão, amperímetro, medidor de intensidade de corrente e de voltagem.

A metodologia experimental aplicada na eletrólise foi como segue: Um volume de dois litros (2L) da amostra foi acondicionado no reator eletrolítico onde foi imersa a colméia eletrolítica. O tempo de eletrólise inicial para todos os experimentos foi de 15 minutos. Após eletrólise, retirava-se a colméia eletrolítica do reator e o sobrenadante que ficava acima do NA da amostra era também retirado manualmente. No mesmo reator, a amostra foi submetida a um

tempo de sedimentação de quarenta e cinco minutos (*45 minutos*) de modo que a água atingisse seu estado de saturação em relação ao carbonato de cálcio. Após este tempo, foram monitorados os parâmetros físico-químicos e de poluição orgânica de interesse à pesquisa; ou seja: Cor, Turbidez, *pH*, Alcalinidade; Ca^{2+} , Cl^- , $\text{NO}_3\text{-N}$, PT e Clorofila “a”.

Após o término dos ensaios, a polaridade dos eletrodos foi invertida por curto espaço de tempo (*3 minutos*) de modo que o material incrustado no catodo fosse removido para evitar interferências no processo.



Figura 2. Planta do Açude Velho indicando os oito (08) pontos de amostragem e formação de “seiches” ou ondas de circulação de água.

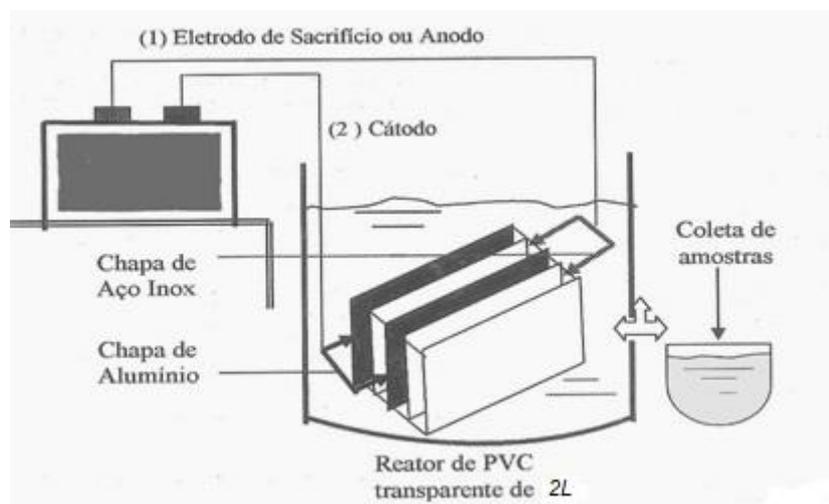


Figura 3. Esquema da instalação do processo eletrolítico em escala de laboratório.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o objetivo de discutir o desempenho do processo eletrolítico os resultados foram agrupados em relação às características físicas e características químicas e de poluição orgânica,

respectivamente. A Tabela 1 mostra os dados iniciais dos parâmetros físicos cor e turbidez da água bruta do Açude Velho bem como os resultados experimentais obtidos após *15 minutos* de eletrólise e *45 minutos* de sedimentação. A Tabela 2 mostra os dados iniciais das características químicas e de poluição orgânica do manancial eutrofizado e os resultados obtidos após 15 minutos de aplicação do processo eletrolítico e *45 minutos* de decantação. Devido à simplicidade dos resultados relacionados às características físicas (cor e turbidez, respectivamente, com remoção de 80%), optou-se por apresentar apenas o gráfico relacionado ao comportamento dos parâmetros químicos que definem a fase aquosa – sólida; ou seja, *pH*, Alcalinidade e cálcio. A Figura 4 mostra, a partir de parâmetros calculados da fase aquosa – sólida da água como Acidez e Índice de Loewenthal e dos resultados da Tabela 1, o comportamento químico da água do Açude Velho submetida à eletrólise. O desempenho do processo eletrolítico em relação aos parâmetros de poluição orgânica é também “per se” explicativos conforme se pode observar na Tabela 2.

Com relação às propriedades físicas de águas superficiais eutrofizadas, os teores elevados de cor e de turbidez são geralmente minimizados com tratamento químico; ou seja, mediante a aplicação de coagulante seguido de sedimentação dos flocos e filtração em leito filtrante de camadas múltiplas. A coagulação é feita a partir da aplicação de cal, CaO para elevar o *pH* e de sulfato de alumínio auxiliado por silicatos complexos ou por polímeros. Os custos desse tratamento são elevados e a operação do sistema requer cuidados na aplicação de dosagens corretas de coagulantes. A eletrólise com o uso de chapa de alumínio propicia a formação de compostos de alumínio e permite a coagulação e floculação da água. A Tabela 1 mostra que a remoção de cor e de turbidez foi similar (80%) após *45 minutos* de sedimentação. Esse tempo foi considerado suficiente para a deposição de partículas em suspensão na água. Uma eficiência maior em relação à remoção da turbidez pode ser conseguida ao se aplicar uma filtração em leito poroso após a sedimentação.

A Alcalinidade é a capacidade da água de neutralizar ácidos. Juntamente com a Acidez e o *pH* define o estado aquoso no sistema $\text{H}_2\text{CO}_3 + \text{CO}_{2(\text{aq})} + \text{H}_2\text{O}$; ou seja, o sistema carbonatado. Quando se associa ao parâmetro cálcio (bem como ao carbonato, CO_3^{2-}) define o estado aquoso – sólido da água. Os parâmetros Alcalinidade, Acidez e Carbono Inorgânico Dissolvido ou Concentração Total de espécies carbônicas mudam com dosagens químicas. Em águas onde ocorre precipitação de cálcio (e de carbonato uma vez que no semi – árido nordestino há predominância de *calcita*, CaCO_3), observa-se a precipitação de Alcalinidade e diminuição no valor de *pH*. Na prática, essa precipitação é conseguida ao se adicionar cal e período de sedimentação de, pelo menos, duas horas (2 horas). Com a eletrólise os teores de dureza total, de cálcio, de magnésio e Alcalinidade decrescem em tempo inferior ao de uma ETA – Estação

de Tratamento de Água convencional. Essa diminuição de Alcalinidade acarreta uma diminuição no íon hidrogênio. Com relação ao *pH* e condutividade elétrica, CE (em mSm^{-1}), essas grandezas estão associadas. A condutividade é proporcional à ionização de substâncias dissolvidas na água. Quanto maior for o teor de CE, maior será a transmissão de corrente. Após a eletrólise ocorreu uma diminuição de condutividade elétrica e de *pH* conforme se pode observar na Tabela 2.

O eletrodo de alumínio confere um aumento no teor de alumínio de cerca de 5 vezes o valor permitido pela legislação brasileira (0.20mg.L^{-1}). Embora não tenha sido determinado o teor de alumínio na água pós eletrólise, pressupõe – se que esse teor tenha aumentado inviabilizando o uso dessa água para fins potáveis. Contudo, o lago urbano estudado tem apenas a finalidade de uso recreacional e paisagístico.

Tabela 1. Dados iniciais das características físicas e resultados pós-eletrólise das águas do “Açude Velho”, localizado em Campina Grande, PB à temperatura ambiental de 25 °C.

Parâmetros físicos	Água Bruta	Água Pós Eletrólise
Cor, mg.L^{-1} (Pt-Co)	25.0	5,0
Turbidez, UT	5.0	1,0

Tabela 2. Dados iniciais das características químicas e de poluição orgânica e resultados pós-eletrólise das águas do “Açude Velho”, localizado em Campina Grande, PB à temperatura ambiental de 25 °C.

Parâmetros químicos e de poluição orgânica	Água Bruta	Água Pós Eletrólise
(1) Parâmetros químicos		
<i>pH</i>	8.32	7.8
Alcalinidade, Alc (X)	120.0	73.0
Acidez, Ac* (X)	119.0	77.0
Cálcio, Ca (X)	100.0	75.0
Cloreto, Cl (mg.L^{-1})	462.0	394.0
Condutividade Elétrica, CE (mSm^{-1}) *	94.00	62.50
Índice de Loewenthal, ILw*	8.0	-2.2
(2) Parâmetros de poluição orgânica		
Clorofila “a” ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	2.46	0.54
Nitrato, $\text{NO}_3\text{-N}$	0.25	0.00
Fósforo Total, PT	5.10	1.77

* Valores obtidos pelo Stasoft 3.0; (X) = mg/LCaCO₃.

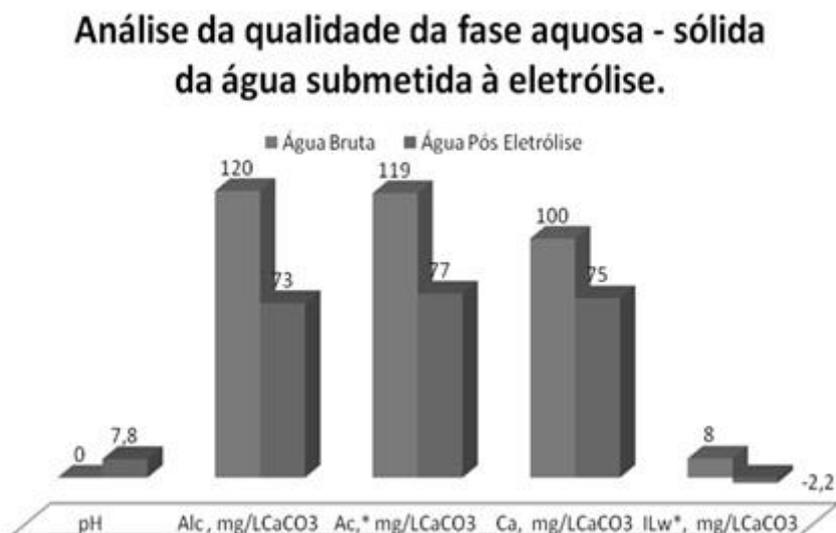


Figura 4. Comportamento químico da fase aquosa – sólida da água bruta e da água pós-eletrólise.

CONCLUSÕES

As principais conclusões do trabalho são as seguintes:

- (1). O processo eletrolítico foi bastante eficiente para remoção de cor (80%) e de turbidez (80%). Resultados melhores para a remoção de turbidez podem ser conseguidos mediante o uso de filtração lenta;
- (2). O tempo de detenção de 45 minutos foi suficiente para remover o cálcio remanescente após flotação como calcita, CaCO₃. O Índice de Loewenthal que mede qualitativamente e quantitativamente o potencial de precipitação/ dissolução de carbonato de cálcio mostrou que a água bruta era supersaturada e, após eletrólise e sedimentação, tornou – se subsaturada em relação a CaCO₃;
- (3). A escolha de eletrodos de alumínio como o eletrodo de sacrifício pode ser considerada excelente para esse tipo de água (uso recreacional e paisagístico). A liberação de íons de alumínio propiciou a formação de sulfato de alumínio que é um coagulante primário. Houve, portanto, a formação de flocos fortes e pesados que, a partir da liberação de gás hidrogênio no cátodo, foram carreados para a superfície líquida do reator; ou seja, a eficiência da flotação foi aumentada pela produção de coagulante primário;

(4). A remoção de clorofila “a” é bastante satisfatória (78%). Isto significa que grande parte das algas, presentes nas amostras sob forma fragmentada, foi flotada. A outra parte remanescente de algas sedimentou no período de 45 minutos;

(5). A remoção de nutrientes é excelente com relação ao nitrogênio uma vez que houve remoção de 100% de nitrato. A formação de nitrato de alumínio com seis (06) ou nove (09) moléculas de água ($\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) foi suficiente para remover o nitrato. Com relação à remoção de fósforo que geralmente se dá como fosfato de alumínio, AlPO_4 o valor de 66% é satisfatório. Uma sugestão para remover o fósforo é usar o eletrodo de ferro de modo a precipitar íons de ferro associados ao fósforo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos autores pela participação nesta pelo apoio financeiro do CNPq.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]. AERH, UAEC, UFPB, Disponibilidade Hídrica do Açude Velho, (Relatório), Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, PB, 1988.
- [2]. APHA, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 14th Ed., New York, 1980.
- [3]. CAVALCANTI, B.F., A Determinação da Alcalinidade em Águas de Alta Salinidade. In: 11° CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, V. único, Fortaleza- CE, Anais, 1981.
- [4]. ESTEC-UNICAMP, Processos Eletrolíticos no Tratamento de Resíduos Líquidos, Relatório, Universidade Estadual de Campinas, SP, 14 p., 1989.
- [5]. FRANCISCO, Jr. et al., Ozonização para Remoção de Algas e Matéria Orgânica em ETA's, In: 15° CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 1989.
- [6]. FRESENIUS, W; QUENTIN, K.E.; SCHNEIDER, W (Eds), Water Analysis, Springer - Verlag, Berlim, p. 803, 1988.
- [7]. FRIEND, D.J.; LOEWENTHAL, R.E., Stasoft 3- Chemical Conditioning of Low and Medium Salinity Waters, Water Research Commission Report, Pretoria, p.80, 1992.
- [8]. LEITÃO, R.C. & PIRES, E.C., Avaliação do Processo Eletrolítico para Remoção de Cor Causada por Lignina. In: 16° CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Anais, Goiânia, p. 476 – 492, 1991.
- [9]. LOEWENTHAL, R.E. & MARAIS, G.V.R., Aquatic Chemistry. Ann Arbor Sc., Michigan, EUA. 1976.

- [10]. LOEWENTHAL, R.E.; WIECHERS, H.N.S. & MARAIS, G.V.R., Softening of Municipal Waters. Research Report, Water Research Commission, Pretoria, South Africa, 1986.
- [11]. MANCUSO, P.C., “*Controle do Desenvolvimento de Algas em Águas de Abastecimento Público*”, In: 14º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Anais I, São Paulo, p.463 – 482, 1987.
- [12]. REALI, M.A.P. & GIANOTTI, E.P., Remoção de Algas por Flotação: Testes de Laboratório. In: 17º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, V.2, Tomo II - Anais. RN-Natal, p.229 – 242, 1993.
- [13]. SMITH, V.H., Prediction Models for the Biomass of Blue-Green Algae in Lakes, Water Resources Bulletin, AWRA, Vol. 21, N.3, p.433 - 439, 1985.