

USO DA ATAPULGITA COMO AUXILIAR DE FLOCULAÇÃO NA CLARIFICAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS BRANDAS E ÁCIDAS.

Jocean S. de Sousa¹; Bernardete F. Cavalcanti² & Beethania M. Anacleto¹.

Resumo – Atapulgita manufaturada no interior da Paraíba foi usada como auxiliar de floculação, associada ao sulfato de alumínio e cal, para a clarificação de águas subterrâneas brandas e ácidas. Os parâmetros investigados foram Cor, Turbidez, pH, Alcalinidade, Cálcio, Magnésio e Dureza Total. Na Etapa 1 foram inicialmente floculadas em Jar – Tester amostras com atapulgita e sulfato de alumínio ambos em volumes crescentes. Na Etapa 2 foram floculadas amostras com volume fixo de alúmen (5ml) e volumes crescentes de cal e atapulgita. A remoção de cor foi diminuída com o aumento do teor de atapulgita. A remoção de turbidez, de modo geral, aumentou com uma maior dosagem de sulfato e de atapulgita. O comportamento do pH mudou de teste para teste, mas quando comparado com os resultados de cada amostra, observou – se uma leve tendência ao aumento de pH. Um teor maior de cal diminuiu a Dureza Total. Para fins potáveis a melhor água é a da amostra do último jarro da Etapa 2. O uso da atapulgita e sulfato de alumínio está restrito à águas subterrâneas ácidas e brandas. O uso da cal está indicado para ajustamento do pH, Alcalinidade e Cálcio da água final.

Abstract – Atapulgens manufactured in the hinterland of Paraíba was used as flocculation agent associated to aluminium sulphate and lime in order to clarify acidic and soft groundwaters. The investigated parameters were colour, turbidity, pH, Alkalinity, calcium, magnesium and Total Hardness. In Stage 1 it was initially flocculated samples with atapulgens and aluminium sulphate both with increasing volumes. In Stage 2 it was flocculated samples with a fixed volume of alumen (5ml) and increasing volumes of lime and atapulgens. Colour removal was decreased with increasing atapulgens concentration.

Turbidity removal, generally speaking, has increased with a higher dosage of sulphate and atapulgens. The pH behavior changed in each test but when compared with the results of each sample it was observed a slight tendency for pH increasing. A higher lime addition decreased Total Hardness. For drinking purposes the best water is that of the last Jar in Stage 2. The use of atapulgens and aluminium sulphate is restricted to acidic and soft groundwaters. The use of lime is indicated for pH, Alkalinity and Calcium adjustment in the final water.

Palavras-chave – Águas subterrâneas brandas e ácidas; Atapulgita como auxiliar de floculação; Clarificação de águas.

¹Departamento de Engenharia Urbana e Ambiental, UFPB, e-mail proagua@oi.com.br : ²Professora Consultora, UFCG, R Damasquino Maciel, 785, ap.502, João Pessoa, PB; e-mail: bfcavalcanti07@hotmail.com.

INTRODUÇÃO

A escolha de coagulante para a clarificação de águas naturais não somente depende de parâmetros tais como Cor e Turbidez das águas, mas também do conhecimento de suas características químicas. É bastante difícil a escolha de coagulante e auxiliar de floculação de baixo custo que permitam uma boa clarificação (que compreende os processos de coagulação, floculação e sedimentação) de águas naturais. Os coagulantes são usados para transformar os colóides em flocos que são posteriormente precipitados nos tanques de decantação. Já as substâncias denominadas de “auxiliares de floculação” permitem que, após a desestabilização dos colóides no processo de coagulação, os flocos sejam mais compactos e mais facilmente descartáveis (van Raalten e Cavalcanti, 1972). Ambos, coagulante e auxiliar de floculação permitem também o condicionamento químico da água; ou seja, o ajustamento dos parâmetros pH, Cálcio e Alcalinidade para uma condição final adequada ao uso a que se destina a água (Cavalcanti e Bonifácio, 1991).

Os sais de alumínio (na forma de sulfato de alumínio) e os de ferro como sulfato ferroso e cloreto férrico são muito usados como coagulantes. Devido ao custo elevado dos dois últimos compostos é mais empregado o sulfato de alumínio. Contudo, o uso desse sal requer a presença de Alcalinidade natural (na forma de bicarbonato, por exemplo) na água a ser clarificada. Dentre os diversos agentes de floculação, a sílica se destaca como um bom auxiliar produzindo excelentes flocos, bem pesados e de fácil sedimentação. Todavia, seu uso está restrito a águas de baixa turbidez e de difícil floculação. Em alguns tipos de águas brandas e de baixo teor de espécies carbônicas tais como as águas subterrâneas minerais (Alcalinidade bem abaixo de 50 mg/LCaCO₃) o auxiliar de floculação deverá isoladamente ou em conjunto com a Alcalinidade “ajustar” os parâmetros tais como Alcalinidade, pH e Cálcio.

Paligorsquita ou “Atapulgita” manufaturada no interior da Paraíba (em Soledade) pela União Brasileira de Mineração, UBM foi usada como auxiliar de floculação associada ao sulfato de alumínio e cal para a clarificação e ajustamento de cátions e de pH de água subterrânea classificada como branda e deficiente em cálcio e espécies carbônicas.

Este trabalho mostra a análise do desempenho da Atapulgita como auxiliar de floculação e como um bom estabilizador deste tipo de água subterrânea usando como coagulantes o sulfato de alumínio associado com a cal.

1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.

1.1. Caracterização da fase aquosa – sólida de águas naturais.

A caracterização química inicial da água envolve a determinação dos seguintes parâmetros (Cavalcanti, 1994): Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L), pH, Alcalinidade e Cálcio.

Para obtenção da força iônica, I utiliza-se a equação de Langelier (In: Loewenthal e Marais, 1986):

$$I = 2,5 * 10^{-5} * STD \quad (1)$$

Em águas naturais de baixa força iônica ($I \ll 0,10$), o pH real da água é igual ao pH medido ou observado e o coeficiente de atividade iônica é considerado unitário. Nas águas naturais, o pH está compreendido na faixa de 6,5 a 9,5 enquanto que a Alcalinidade tem valor compreendido na faixa de 50 mg/LCaCO₃ a 150 mg/LCaCO₃. O teor de Cálcio juntamente com os parâmetros pH, Alcalinidade e Acidez definem a fase aquosa – sólida da água. Nesta fase, é possível conhecer qualitativamente e quantitativamente o estado de saturação das águas naturais; ou seja, se a água tem características ou incrustantes (quando estão supersaturadas e precipitam carbonato de cálcio) ou agressivas (quando são subsaturadas em relação ao carbonato de cálcio). Geralmente no sistema cristalino predominante na Paraíba, o cálcio é o cátion predominante em águas subterrâneas devido, provavelmente, a uma abundância de calcários prontamente solúveis. Este cátion é o principal contribuinte da dureza notadamente da Dureza de Carbonato também chamada de “temporária” porque é removida até mesmo pelo aquecimento da água.

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 implica na presença de íons de bicarbonato e de carbonato além dos íons hidrogênio e oxidrila que, na maioria das águas naturais, tem teores desprezíveis; ou seja, é obtida da seguinte equação:

$$\text{Alc} = \text{HCO}_3^- \text{ad} + \text{CO}_3^{2-} \text{ad} + \text{OH}^- \text{ad} + \text{H}^+ \text{ad} \quad (2)$$

$$\Delta \text{Alc} \approx \Delta \text{HCO}_3^- \text{ad} + \Delta \text{CO}_3^{2-} \text{ad} \quad (3)$$

onde, ΔHCO_3^- , ΔCO_3^{2-} indicam mudança nas espécies bicarbonato e carbonato na escala de carbonato de cálcio, mg/LCaCO₃; ad significa adição.

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:

$$\text{DC} = \text{AlcCO}_3^{2-} + \text{AlcHCO}_3^- \approx \text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-} \quad (4)$$

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 3,0 (Friend & Loewenthal, 1992), válido para teores de Sólidos Totais Dissolvidos até 15000 mg/L.

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 CaCO₃) e na ordenada os valores de Acidez. Linhas representando os valores de pH na escala $5.0 \leq \text{pH} \leq 10.0$ são plotadas 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. O diagrama Deffeyes é bastante útil para determinar os valores de Acidez inicial e suas variações em águas submetidas a tratamento químico.

1.2. Clarificação de águas naturais.

Os processos iniciais de tratamento de águas naturais para remoção de impurezas que conferem cor e turbidez (argila, silte, matéria orgânica entre outros) se constituem em peneiração normal e ultrafina. Com este último processo, são eliminados, por exemplo, algas de reservatórios de acumulação ou de lagos eutrofizados.

A coagulação e floculação seguidos de sedimentação são os processos usados para “clarificar” águas turvas e coloridas. Nos dois primeiros processos, os coagulantes e auxiliares de coagulação empregados transformam colóides (impurezas) em flocos que são posteriormente sedimentados (Cavalcanti et al., 1995). 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, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ e/ou de ferro $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$), cloreto férrico, FeCl_3 e outros. O custo elevado dos sais de ferro tem restringido sua aplicação. Considerando que os sais de alumínio precipitam tanto a Alcalinidade quanto a Acidez seu uso está indicado para águas com Alcalinidade natural.

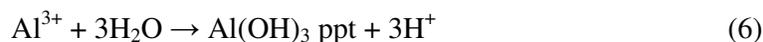
A Química da coagulação com sulfato de alumínio é conhecida sendo a decomposição desse sal na água dada por:



onde, { } indica concentração equivalente, meq/L

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.

A equação acima mostra que não somente ocorrerá uma precipitação de hidróxido de alumínio com também há liberação de CO_2 .

Os auxiliares de floculação são geralmente empregados para, na floculação, agregar os colóides desestabilizados formando flocos de boa qualidade. Esse objetivo é conseguido quando o tempo de coagulação é tido como “ótimo”. (van Raalten e Cavalcanti, 1972).

1.3. Características da atapulgita.

A atapulgita é um argilomineral do grupo das “hormitas” (paligorskita ou sepiolita) com estrutura em cadeia e textura fibrosa. A formulação de cada célula unitária é dada por $\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{20}(\text{OH})_2(\text{OH})_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ onde o cátion Mg^{2+} pode ser parcialmente substituído por Al^{3+} , Fe^{3+} ou Fe^{2+} . As hormitas possuem grande porcentagem de água (em torno de 20% de seu peso) sendo usadas em produtos farmacêuticos, como fluídos de perfuração de poços devido à sua propriedade de formar suspensões estáveis, entre outros. Segundo Silva (1992) a atapulgita manufaturada e comercializada pela UBM é constituída por 45% de sílica na forma de óxido de sílica, SiO_2 e apresenta as características físico – químicas dadas pela Tabela 1. A Figura 1 mostra a atapulgita oriunda do Piauí.

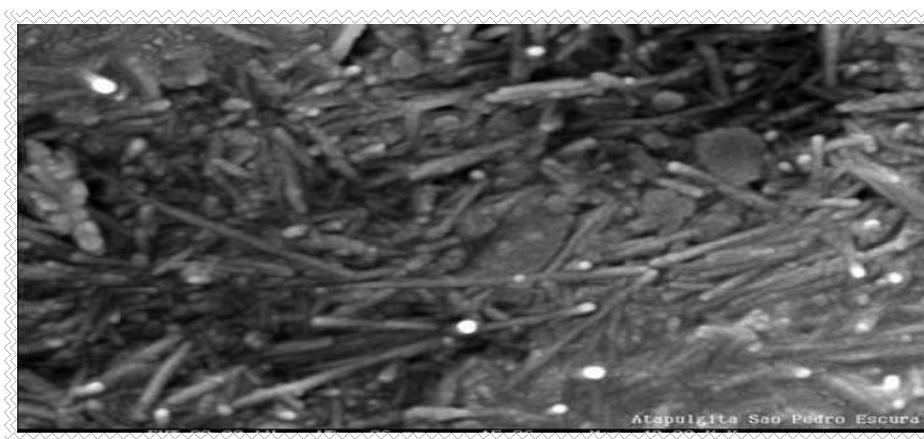


Figura 1. Atapulgita oriunda de Guadalupe, PI por microscópio eletrônico de varredura (Baltar et al., 2003).

Tabela 1. Características físico – químicas da atapulgita manufaturada em Soledade, PB.

(a) Análise Química	
Substâncias/Parâmetros	Teor (%)
PR – perda ao fogo	22,00
RI – resíduo insolúvel	0,76
SiO ₂	45,02
Fe ₂ O ₃	3,88
Al ₂ O ₃	15,07
CaO	4,15
MgO	9,38
K ₂ O	-
Na ₂ O	0,05
(b) Análise Física	
Área superficial	1336

A medição do pH de uma solução à 10 ppm (partes por milhão) de atapulgita foi de 8,23. A atapulgita foi utilizada como auxiliar de floculação do coagulante sulfato de alumínio para clarificação de águas subterrâneas brandas e ácidas; ou seja, águas deficientes em Cálcio e espécies carbônicas. Tendo em vista que suas características químicas mostram tendências alcalinas e que há presença de magnésio trocável deverá ocorrer o aumento do teor de dureza de não carbonato (na forma ou de sulfato de magnésio ou de cloreto de magnésio). Serão também observadas modificações nos teores de Alcalinidade da água subterrânea.

2. MATERIAIS E MÉTODOS.

2.1. Preparo da água subterrânea com turbidez e cor artificiais.

Uma água subterrânea comercializada como “mineral” com baixo valor de pH (em torno de 4,5), ligeiramente ácida, típica da micro – região homogênea “Brejo Paraibano” foi preparada com argila lavada e filtrada para aumentar os teores de cor e de turbidez. A caracterização física e química da água foi feita mediante a determinação dos parâmetros Temperatura, Cor, Turbidez, Sólidos Totais Dissolvidos, pH, Alcalinidade, Dureza Total, Cálcio e Magnésio. As determinações físicas foram feitas por métodos comparativos de discos usando um turbidímetro - calorímetro. As determinações químicas

foram feitas segundo APHA (1990) com exceção da Alcalinidade e do magnésio. A Alcalinidade foi obtida experimentalmente por titulação tipo Gran determinando o volume de ácido forte mineral adicionado até o ponto de equivalência de CO₂. A metodologia empregada foi de acordo com Cavalcanti e Loewenthal (1981). O magnésio foi obtido da diferença entre o cálcio e a Dureza Total da água. A poluição física da amostra foi obtida ao se misturar a água com argila lavada e filtrada. Para completa homogeneização, a amostra foi levemente agitada durante dois minutos. A Tabela 2 mostra as características físico – químicas das águas subterrâneas com turbidez e cor artificiais.

Tabela 2. Resultados experimentais da água subterrânea branda e ácida com turbidez e cor artificiais.

Parâmetros	Teor
Cor (mg/LPt-Co)	80
Turbidez (UT)	28
pH	5
Alcalinidade, Alc (mg/LCaCO ₃)	9
Dureza Total, DT (mg/LCaCO ₃)	5
Cálcio, Ca ²⁺ (mg/LCaCO ₃)	5
Magnésio, Mg ²⁺ (mg/LCaCO ₃)	0

Essa tabela permite classificar a água subterrânea como sendo: “*água deficiente em cálcio e espécies carbônicas com pH ligeiramente ácido, bastante colorida e turva, muito branda (Dureza Total < 60 mg/LCaCO₃) e com presença de dureza temporária*”.

2.2. Preparo das soluções para floculação e auxiliares de floculação.

A solução de sulfato de alumínio foi preparada a partir da solução concentrada com pureza de 99,9% e peso molecular de 666,446g. A solução foi preparada a 10 000 mg/L; ou seja, um volume de 1 ml da solução

correspondente em peso a 10 mg do coagulante. Foram preparadas soluções de sulfato de alumínio de 200 mg/L, 150 mg/L e 100 mg/L; ou seja, de 20ml, 15ml e 10 ml, respectivamente.

A solução de cal, CaO foi preparada a 10 000mg/L CaO tendo sido utilizados nos testes volumes de 5ml, 10ml e 15ml dessa solução que corresponde a 50mg/L, 100mg/L e 150 mg/L, respectivamente.

A solução de atapulgita foi preparada como se segue: Inicialmente foram pesados 10g da argilomineral em balança analítica e diluídos em béquer de 500ml com água destilada para perfeita diluição. Após a diluição, a solução foi transferida para um balão volumétrico de 1000 ml que foi aferido com água destilada até o menisco. Foram então utilizados volumes de 25ml, 30ml e 35 ml nos testes com águas subterrâneas brandas e ácidas.

2.3. Etapas e Metodologia.

A pesquisa foi dividida em duas etapas; a saber:

Etapa 1 – Clarificação das amostras de água branda e deficiente em cálcio e espécies carbônicas pelo uso de sulfato de alumínio e atapulgita.

O sulfato de alumínio foi usado com volumes constantes de 5ml nos três jarros iniciais e com 10ml nos três jarros subsequentes. A atapulgita foi usada em volumes diferentes para cada jarro; ou seja: 25 ml no Jarro 1 (J1); 30ml no Jarro2 (J2) e 35 ml no Jarro3 (J3), respectivamente.

Etapa 2 – Clarificação das amostras pelo uso de alúmen, cal e atapulgita.

O sulfato de alumínio ou alúmen foi usado com dosagem constante de 5ml. A cal foi usada em dosagens crescentes e diferenciadas para cada jarro do Jar – Tester; ou seja, 5ml em (J1), 10 ml em (J2) e 15 ml em (J3), respectivamente. As mesmas dosagens de atapulgita da Etapa 1 foram usadas

na Etapa 2 para cada jarro.

Para ambas as etapas a metodologia usada foi a mesma sendo descrita como se segue:

(1) Em cada jarro foram aplicadas dosagens de alumínio e de atapulgita conforme especificado anteriormente.

(2) Procedeu – se a uma agitação rápida a 100 rpm durante 1 minuto de modo a homogeneizar a mistura.

(3) Após essa agitação, o valor do pH foi anotado para verificação do pH ótimo para floculação e coagulação.

(4) Aplicou – se então uma agitação moderada de 60 rpm por um período longo de 20 minutos.

(5) Foram então determinados os parâmetros STD (mg/L), pH, Alcalinidade, Alc (mg/LCaCO₃), Cálcio (mg/LCaCO₃), Dureza Total (mg/LCaCO₃), Magnésio (mg/LCaCO₃), Cor (mg/LPt – Co) e Turbidez (UT). Essas determinações foram feitas conforme descrito anteriormente.

(6) Foi também anotada, em tabela apropriada, a formação de lodo em cada jarro.

(7) Depois de misturado, o sobrenadante foi sifonado e permitida à solução um repouso por um período de detenção de 45 minutos que é considerado tempo suficiente para que a água atinja seu estado de saturação (In: Cavalcanti, 1993).

3. RESULTADOS.

A Tabela 3 mostra os resultados dos ensaios em equipamento Jar – Tester com sulfato de alumínio em volumes para cada 2 jarros de 5ml e de 10 ml, respectivamente associados a atapulgita em dosagens crescentes para cada 2 jarros à temperatura de 25°C. A Tabela 4 mostra os resultados da clarificação da água subterrânea com teor de sulfato de alumínio constante e variação das

dosagens de cal e de atapulgita para cada 3 jarros usados . A associação foi de volume de sulfato de alumínio constante de 5 ml com atapulgita em teor constante para cada grupo de experimentos em 3 jarros e dosagens crescentes de cal.

A Figura 2 mostra o desempenho da clarificação considerando a associação sulfato e atapulgita para a remoção de cor e turbidez na Primeira Etapa e a Figura 3 ilustra essa remoção com a associação sulfato de alumínio, cal e atapulgita na Segunda Etapa. As Figuras 4 e 5, respectivamente, ilustram o desempenho do processo com sulfato de alumínio associado aos agentes de floculação atapulgita (Etapa 1) e cal e atapulgita (Etapa 2) para os parâmetros pH, Alcalinidade, Cálcio e Dureza Total.

Tabela 3. Resultados da Etapa 1 da clarificação usando sulfato de alumínio e atapulgita à temperatura de 25°C.

Parâmetros	Água bruta	(J1)Atap. 25ml		(J2)Atap 30ml		(J3)Atap 35ml	
		SA	SA	SA	SA	SA	SA
		5ml	10ml	5ml	10ml	5ml	10ml
Cor (mg/LPt-Co)	80,0	10,0	10,0	12,5	15,0	17,5	20,0
Turbidez (UT = 1 JIS)	28,0	6,5	6,3	6,5	5,5	6,5	4,9
pH	5,0	4,4	4,6	4,4	4,7	4,4	4,7
Alcalinidade, Alc (X)	9,0	8,0	10,0	8,0	10,0	8,0	10,0
Dureza Total, DT (X)	5,0	25,0	25,0	30,0	25,0	35,0	25,0
Cálcio, Ca ²⁺ (X)	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Magnésio, Mg ²⁺ (X)	0,0	20,0	20,0	25,0	20,0	30,0	20,0
REM. Cor (%)	-	87,5	87,5	84,4	81,2	78,2	75,0
REM. Turbidez (%)	-	76,8	77,5	76,8	80,4	76,8	82,5

(X) = escala em mg/LCaCO₃.

Tabela 4. Resultados da Etapa 2 da clarificação para os valores da água bruta da Tabela 2 usando sulfato de alumínio associado a atapulgita e cal à temperatura de 25°C.

Et\Par.	Cor (JIS)	Tur. (UT)	pH	Alc (X)	DT (X)	Ca (X)	REM Cor(%)	REM Tur(%)
Jarro 1 (Sulfato 5 ml + Atapulgita 25 ml)								
Cal, 5ml	75,5	4,8	4,8	8,8	40,0	10,0	90,6	83,0
Cal, 10ml	7,5	5,1	4,2	8,7	35,0	15,0	90,6	82,0
Cal, 15ml	10,0	6,0	4,1	8,7	35,0	15,0	87,5	78,0
Jarro 2 (Sulfato 5 ml + Atapulgita 30 ml)								
Cal, 5ml	10,0	5,0	4,8	10,4	40,0	10,0	87,5	82,0
Cal, 10ml	10,0	5,4	4,2	10,4	30,0	15,0	87,5	78,0
Cal, 15ml	15,0	6,0	4,1	10,5	30,0	15,0	81,2	78,0
Jarro 3 (Sulfato 5 ml + Atapulgita 35 ml)								
Cal, 5ml	10,0	5,3	4,8	14,0	40,0	10,0	87,5	81,0
Cal, 10ml	12,5	5,4	4,2	11,0	25,0	15,0	84,4	81,0
Cal, 15ml	17,5	6,0	4,1	11,0	25,0	25,0	78,0	79,0

X = (mg/LCaCO₃)

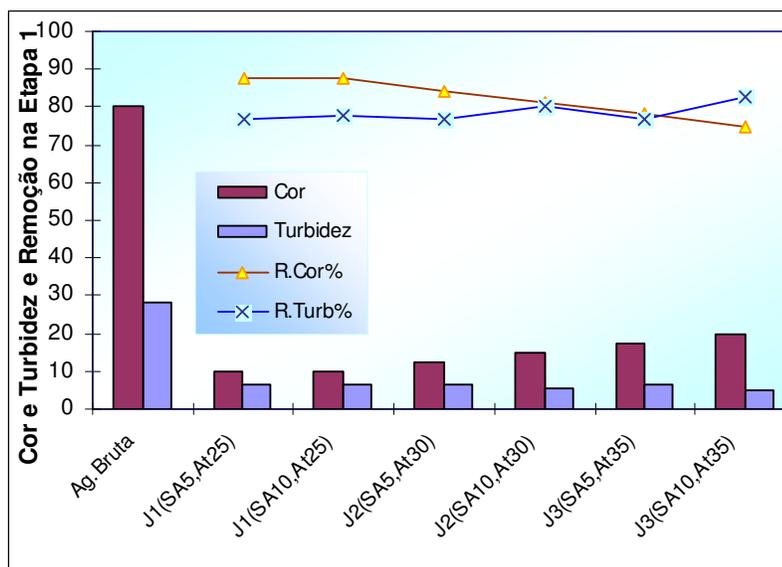


Figura 2. Resultados da remoção de cor e turbidez na Etapa 1 com sulfato de alumínio associado a atapulgita, ambos em volumes crescentes.

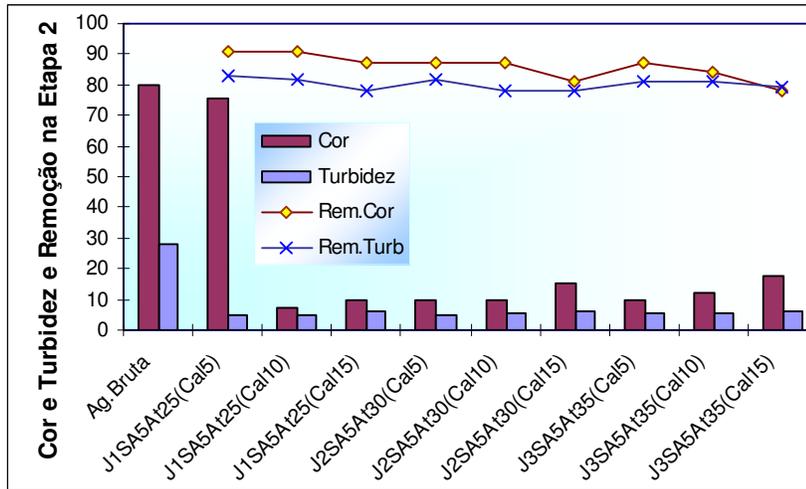


Figura 3. Resultados da remoção de cor e turbidez na Etapa 2 com o sulfato de alumínio associado a cal e atapulgita.

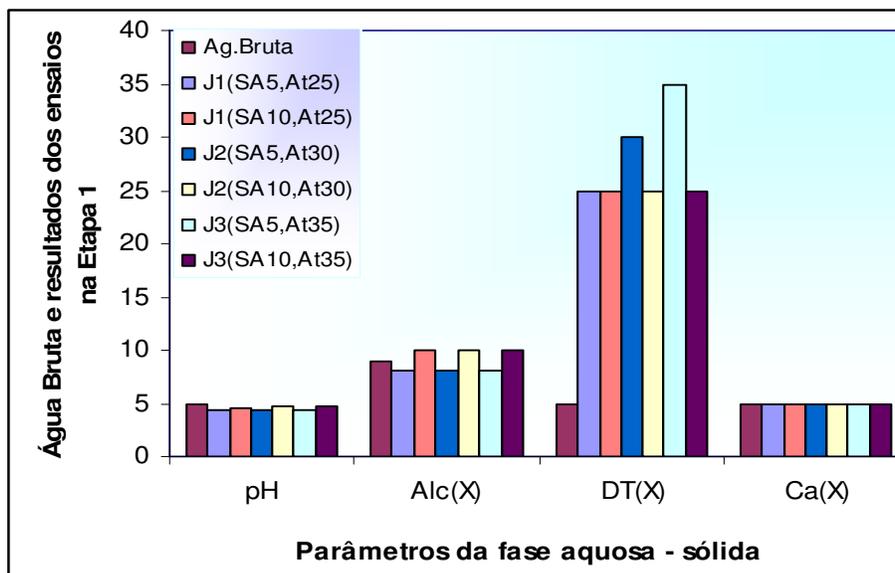


Figura 4. Comportamento dos parâmetros pH, Alcalinidade, Dureza Total e Cálcio na Etapa 1.

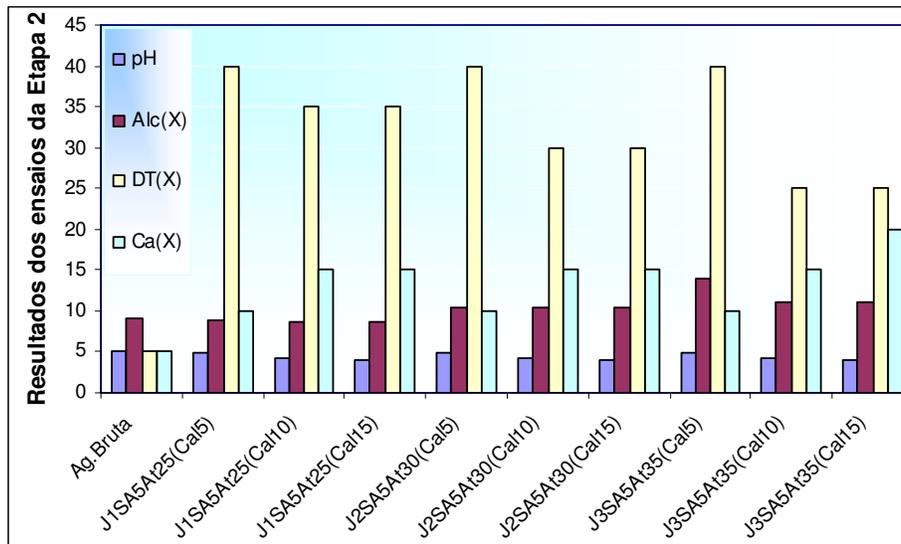


Figura 5. Resultados da variação dos parâmetros da fase aquosa – sólida na Etapa 2.

4. DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

4.1. Discussões sobre os ensaios com Jar – Tester.

A s principais observações com relação às duas etapas de clarificação com o sulfato de alumínio auxiliado com atapulgita (Etapa 1) e com atapulgita e cal (Etapa 2) são as seguintes:

(1) Cor – A remoção de cor foi diminuída a medida que houve um aumento na dosagem de atapulgita em uma proporção não linear. Os resultados do Jarro J1 com a dosagem mínima de atapulgita de 25 ml associada a 20 ml de sulfato de alumínio conduziram a um excelente resultado de remoção de cor (90%). No caso particular da amostra tratada com sulfato de alumínio, cal e atapulgita o melhor resultado em termos de remoção (91%) foi obtido com a atapulgita em dosagem menor (25ml) que as demais dosagens e cal nas dosagens de 5ml e 10ml, respectivamente (Ver Tabela 4 e Figura 4).

(2) Turbidez – Na Etapa 2 houve um aumento na remoção de turbidez

com o aumento do teor de sulfato de alumínio (de 5ml para 10ml) e com as dosagens crescentes de atapulgita. Isso não foi observado quando o teor de sulfato de alumínio era de 5ml e, mesmo com o aumento da dosagem de atapulgita, a eficiência final foi a mesma para as amostras dos jarros J1, J2 e J3, respectivamente.

(3) pH – O comportamento do pH mudou de teste para teste; ou seja, na Etapa 1 para o teste com o sulfato em teor constante de 5 ml em 3 Jarros e de 10 ml em três Jarros associado às dosagens crescentes de atapulgita houve um aumento discreto do pH sendo o valor observado nos jarros com dosagem de sulfato de 5ml iguais; ou seja, independentes da adição de atapulgita. Na Etapa 2 onde a associação sulfato com 5ml e auxiliares de floculação em dosagens crescentes, o valor de pH no primeiro jarro dos três experimentos se manteve estável. A diminuição do pH nos três testes foi discreta. Comparando os resultados das amostras de cada jarro, observou – se na Etapa 1 uma ligeira tendência para o aumento do pH. Na Etapa 2 associação sulfato de alumínio e cal consegue diminuir o pH e mantê-lo constante independentemente das dosagens crescentes de auxiliares de floculação.

4.2. Conclusões.

As principais conclusões referentes à análise da clarificação de águas subterrâneas brandas e acídicas por sulfato de alumínio associado a atapulgita na Etapa 1 e, na Etapa 2, sulfato de alumínio associado à cal e atapulgita são como se segue:

- A máxima remoção de cor em águas brandas e acídicas aconteceu no primeiro jarro com 87.5% na Etapa 1 e de 90,6% na Etapa 2 com dosagem mínima da atapulgita de 25 ml, independentemente do aumento da dosagem de cal e de sulfato de alumínio. O decréscimo dessa remoção nos jarros subsequentes foi praticamente estável. A atapulgita em dosagens crescente aumenta ligeiramente a Cor da água.

- O comportamento da remoção de turbidez foi inverso daquela da remoção de cor em águas brandas e acídicas na Etapa 1.. A maior remoção aconteceu no terceiro jarro (com a dosagem de 35ml de atapulgita) sendo o aumento em torno de 3%. Na Etapa 2 a maior remoção de turbidez ocorreu no jarro J1 para uma menor dosagem de cal (5ml). Nesse tipo de associação (sulfato de alumínio e auxiliares de floculação cal e atapulgita), observou – se um discreto aumento no teor de turbidez dos demais jarros em relação ao primeiro jarro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRATBY, J., 1980. Coagulation and Flocculation. *Apostila*. Universidade de Cape Town, África do Sul.

CAVALCANTI, B.F., Silva, Marizardo B.; Silva Fº, S., 1995. Águas Brandas e Ácidas II – Remoção de Turbidez e Estabilização Química. In: 18º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Salvador, BA. *Anais da ABES*, Rio de Janeiro, v.2.

CAVALCANTI, B.F., Wiendl, W.G.; Sousa, Jocean S., 1998. Abrandamento Eletrolítico de Águas Naturais para Uso Industrial. In: IV Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Campina Grande, PB. *Anais da ABRH - NE, Seção PB*, Campina Grande, PB.

FRIEND, J. & LOEWENTHAL, R., 1992. "STASOFT III: Chemical Conditioning of Low and Medium Salinity Waters, *Pretoria Water Research Comission*. Africa do Sul. 80 p.

KUNIN, R., 1972. Water softening by ion exchange. *Proceedings 14th Water Quality Conference* University of Illinois, EUA.

LOEWENTHAL, R. & Marais, G.v.R., 1976. *Carbonate Chemistry of Aquatic Systems: Theory and Application* Ann Arbor Sc. Publisher. Michigan. EUA.

SOUZA SANTOS, P.; Souza Santos, H., 1984. Ocorrências brasileiras de

argilas contendo argilo minerais do grupo das hormitas (paligorsquita – atapulgita – sepiolita). *Cerâmica*, São Paulo, 30 (179): p.319 – 336.

STUMM, W. & Morgan, J., 1980. "*Aquatic Chemistry*". Wiley - Interscience. NY. 780p.

ZANDONADI, A.R.; SKITNEVSKI, L., 1986. Estudo mineralógico e tecnológico de algumas argilas atapulgíticas brasileiras, *Cerâmicas*.