

## **I-254 – REDUÇÃO DO RESIDUAL DE ALUMÍNIO DISSOLVIDO EM ÁGUA DE POÇO PARA ABASTECIMENTO PÚBLICO**

**Márcia Cristina Martins Campos Cardoso<sup>(1)</sup>**

Química Industrial pela Universidade Vale do Rio Doce (UNIVALE). Mestre em Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Técnica em Química na CESAN-ES.

**Lorena Olinda Degasperi Rocha<sup>(2)</sup>**

Tecnóloga em Saneamento Ambiental pelo Instituto Federal do ES (IFES). Técnica em Meio Ambiente na CESAN-ES

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Panamá, 152 - Araçás – Vila Velha - ES - CEP: 29103-031 - Brasil - Tel: (27) 997202154 - e-mail: [marcia.cardoso@cesan.com.br](mailto:marcia.cardoso@cesan.com.br)

### **RESUMO**

A disponibilidade de recursos hídricos tem se tornado um tema cada vez mais desafiador, e nos últimos anos este problema ganhou atenção especial em função da crise hídrica que afetou vários estados brasileiros, dentre eles o Espírito Santo. Durante a estiagem de 2015/2016 alguns poços que são utilizados para abastecimento público na ETA Ubu, situada na cidade de Anchieta-ES, sofreram aumento considerável na concentração de alumínio, devido ao rebaixamento do lençol freático. A concentração passou a ser em torno de 0,6 mg/L, valor 3x maior que VMP pela legislação brasileira. Portanto buscou-se alternativas para remover ou reduzir estes valores para atender a PCR nº5- MS. A primeira etapa foi buscar por tecnologias específicas para remoção do metal; foram avaliados o filtro de alta pressão com zeólitos e outra tecnologia oferecida por empresa americana. Em seguida foram avaliadas outras alternativas utilizando recursos próprios. Os testes foram realizados em bancada, utilizando o jarteste e posteriormente realizados na própria ETA. Foram feitas pequenas alterações nos pontos de dosagem, e os resultados foram bem satisfatórios, reduzindo o residual de alumínio para valores inferiores a 0,2 mg /L, atendendo ao VMP da PCR nº5.

**PALAVRAS-CHAVE:** Crise hídrica, água de poço, alumínio dissolvido, alcalinizante, pH.

### **OBJETIVO**

Reduzir o alumínio residual da água de abastecimento público para valores inferiores ao recomendado pela PRC nº 5, de 28 de setembro de 2017, Anexo XX (VMP =0,2 mg/L). E mostrar que este resultado foi alcançado através de intervenções simples, utilizando recursos disponíveis na própria ETA, com custo igual hora/homem trabalhada.

### **INTRODUÇÃO**

A disponibilidade de recursos hídricos tem se tornado um tema cada vez mais desafiador, principalmente para os profissionais da área de saneamento público, tanto pela quantidade quanto pela qualidade do recurso disponível.

Nos últimos anos este problema ganhou atenção especial em função da crise hídrica que afetou vários estados brasileiros, dentre eles o Espírito Santo.

Durante a estiagem de 2015/2016 houve o rebaixamento do lençol freático que em conjunto com as características geológicas da região resultou no aumento significativo no teor de Alumínio residual nos poços utilizados para abastecimento público, apresentando resultados na faixa de 0,6 mg/L, 3x mais que o VMP estabelecido pela PCR nº5.

O presente trabalho apresenta os desafios e as soluções que foram encontrados neste período de estiagem para manter o abastecimento público com qualidade adequados na ETA Ubu, situada na cidade de Anchieta-ES. A ETA é abastecida por quatro poços e tem vazão nominal de 10 L/s, mas no verão e feriados prolongados a

ETA chega a trabalhar com 21 L/s. Antes da estiagem a água captada desses poços era de excelente qualidade, de forma que o tratamento realizado era apenas correção de pH, desinfecção e fluoretação. Portanto, considerando a qualidade da água, no primeiro momento buscou-se tecnologias específicas apenas para remoção do Alumínio, a fim de não alterar o tratamento.

Sendo assim, o trabalho foi realizado em três etapas, a primeira consistiu na pesquisa de tecnologias de remoção do alumínio disponíveis no mercado, como filtro de alta pressão com material filtrante (zeólito) e também uma tecnologia que estava em teste por uma empresa americana sediada no ES. Porém os valores de investimento eram muito altos, o que resultou na necessidade de encontrar alternativas que fossem viáveis economicamente, conduzindo o trabalho para uma segunda etapa, onde outros métodos foram testados e avaliados a partir de recursos próprios da empresa, através de ensaios de bancada, utilizando coagulante a base de ferro.

Posteriormente os resultados encontrados em bancada foram adaptados e aplicados na ETA, configurando a etapa final.

Os resultados foram muito satisfatórios, mostrando que simples intervenções realizadas na ETA foram suficientes e eficientes para reduzir o Alumínio residual, atendendo os padrões recomendados pela legislação e os custos previstos no orçamento.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

Com a elevação e persistência do residual de alumínio acima do VMP pela legislação brasileira, foi realizada uma etapa de pesquisa em busca de tecnologias específicas para remoção de alumínio, com o objetivo de não alterar a configuração do tratamento (correção de pH, desinfecção e fluoretação).

Em função dos resultados obtidos e alto custo de implantação e manutenção das tecnologias disponíveis para a remoção do alumínio, iniciou-se uma segunda etapa, que teve como propósito avaliar o tratamento de ciclo completo utilizando um coagulante a base de ferro.

Os testes foram realizados no laboratório da ETA através de ensaios de jarteste e os resultados encontrados foram adaptados e aplicados na planta. As etapas estão descritas abaixo:

### **PRIMEIRA ETAPA: BUSCA DE TECNOLOGIA PARA REMOÇÃO DE ALUMÍNIO**

Foi realizada uma pesquisa no mercado de saneamento em busca de empresas que fornecessem tecnologia para remoção do alumínio. Obteve-se as seguintes propostas: filtro de alta pressão com material filtrante (zeólito) e também de uma tecnologia que estava em fase de testes.

Filtro de alta pressão com zeólito: esse equipamento tem como objetivo o tratamento da água, que possui valores de alumínio, ferro e manganês acima dos padrões (V.M.P.) estabelecidos pela PCRn°5 MS, ou fora das especificações de usos industriais. O tratamento da água com esse filtro baseia-se na utilização de um meio filtrante catalítico, a base de zeólitos naturais e sintéticos, tecnicamente selecionados, processados, esterilizados e ativados a fim de se obter alta atividade catalítica. São fabricados em aço ao carbono ou aço inoxidável, para mais variadas vazões. O valor de instalação desse equipamento seria em torno de 290 mil reais apenas para instalação, além do custo de manutenção.



**Figura1: modelo do filtro de alta pressão**

Outra tecnologia avaliada foi a oferecida por empresa americana, que utiliza no seu processo de tratamento o ferro na valência +6. Esta tecnologia é utilizada para remoção de Ferro e seria testada também para a remoção de alumínio.

A empresa representante dessa tecnologia no estado do ES coletou a água da ETA Ubu e testou a tecnologia. O resultado quanto à remoção do alumínio foi positiva, porém a metodologia gerou um aumento de cor e turbidez da água, diante seria necessário incluir etapa de no tratamento.

## **RESULTADOS DA PRIMEIRA ETAPA**

O filtro de alta pressão com zeólito não se aplicou devido ao alto custo de implementação e manutenção.

A tecnologia da empresa americana apresentou uma redução do alumínio residual, porém gerou cor e turbidez, gerando um outro tipo de problema e inviabilizando a implantação do sistema. Os custos não foram apresentados pela empresa fornecedora. A falta de sucesso nesta etapa direcionou para a etapa seguinte.

## **SEGUNDA ETAPA: BUSCA DE SOLUÇÃO COM RECURSO PRÓPRIO**

Diante das dificuldades apontadas e o alto custo de tecnologias já conhecidas, buscou-se então alternativas para a remoção do alumínio usando os próprios recursos da empresa, com o uso de coagulante a base de ferro e correção do pH. Se os resultados encontrados fossem relevantes isso implicaria na modificação do tratamento da água, sendo necessário alterar a formatação da ETA.

### **Metodologia dos testes**

Os testes foram realizados em bancada por meio de ensaios de Jar Teste, usando o coagulante Salfer (densidade= 1,52/ C= 38,2%) e o alcalinizante cal Hidratada.

O objetivo dos ensaios foi avaliar a eficiência do coagulante na remoção do alumínio e determinar a melhor dosagem. Foram realizados testes aleatórios preliminares com a água coletada na ETA Ubu.

**Tabela 1- Características Água Bruta**

Características da água bruta				
Alumínio	Alcalinidade	Cor	pH	Turbidez
0,59	2,6	0,2	4,8	0,6

**Tabela 2- Análises preliminares coagulante**

Amostra	Análise pré-teste		Análise pós-teste (filtrado)			
	pH	Coagulante	Cor	Turbidez	Alumínio	pH
J1	4,48	0	10,1	0,98	0,70	4,48
J2	10	2	15,3	0,45	0,64	8,46
J3	9	2	16,3	0,65	0,62	8,60
J4	7	2	16,1	0,42	0,10	7,52
J5	7	0	14,8	0,45	0,17	7,80

Em seguida foi realizado outro teste variando o pH (valor aproximado) e mantendo-se a dosagem do coagulante salter em 2mg/L

**Tabela 3 - Ensaio Jarteste**

Amostra	Análise pré-teste		Análise pós-teste (filtrado)			
	pH	Coagulante (mg/L)	Cor	Turbidez	Alumínio (mg/L)	pH
J1	9	2	17,8	0,55	0,29	7,0
J2	8	2	17,9	0,57	0,22	7,35
J3	7	2	19,7	0,78	0,17	6,55
J4	6	2	16,1	0,52	0,13	6,05

A partir destes resultados, observou-se que o uso do coagulante, mesmo em baixa dosagem (2mg/L), conferiu uma elevação na cor da água. Portanto iniciou-se uma nova bateria de testes, sem o adição do coagulante com o objetivo de avaliação outras variáveis, como a interferência do pH, do cloro e do flúor.

Experimento 1- Primeiramente foi realizado um ensaio de jartest utilizando apenas o alcalizante (cal hidratada). As dosagens escolhidas foram baseadas nos resultados encontrados nos testes preliminares mantendo uma faixa de pH entre 5 e 8.

**Tabela 4 - Características água bruta**

Características da água bruta				
Alumínio	Alcalinidade	Cor	pH	Turbidez
0,58	2,6	0,2	4,8	0,6

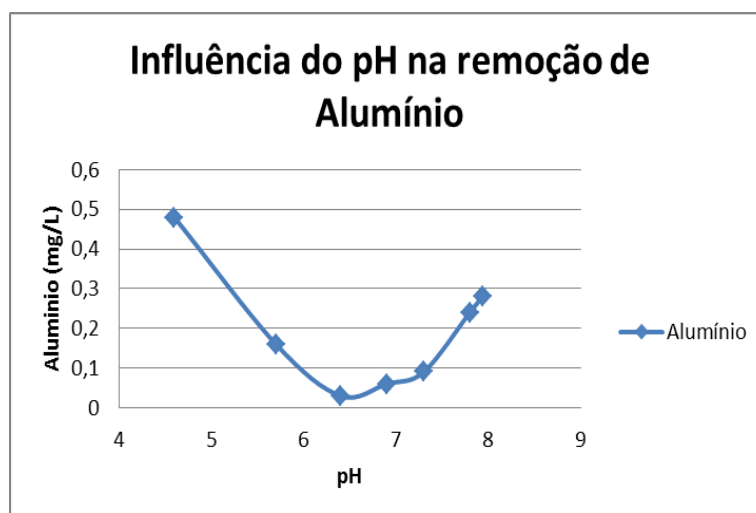
**Tabela 5 - Parâmetros jarteste**

Parâmetros utilizados no teste				
Alcalinização	Mistura rápida	Mistura lenta	Decantação	Filtração
Adição de cal até o pH desejado	1'	10'	20'	Ñ foi feita

**Tabela 6 - Ensaio jarteste remoção alumínio**

Amostra	pH (desejado)	pH (real)	Cor	Turbidez	Alumínio
J1	5,5	5,70	0,0	0,48	0,16
J2	6,0	6,40	0,7	1,1	0,03
J3	6,5	6,90	0,5	5,39	0,06
J4	7,0	7,30	3,1	10,6	0,09
J5	7,5	7,80	3,1	12,3	0,24
J6	8,0	7,94	3,1	17,5	0,28

A alcalinização da água foi feita adicionando solução de cal concentrada com volume pré-estabelecido em teste preliminar, os valores reais encontrados foram diferentes dos desejados, entretanto esta diferença não foi um impedimento para alcançar os objetivos estabelecidos. O melhores resultados para remoção de alumínio x turbidez foram encontrados na faixa de pH entre 6,40 e 6,90 como mostrado no figura 2. Mas mesmo mantendo o pH nesta faixa, que apresentam os menores valores para a turbidez, estes valores se encontram acima do desejado.



**Figura 2- Influência do pH na remoção de alumínio**

Este resultado mostra a importância do pH na solubilidade do alumínio, portanto, buscou-se trabalhar com a faixa de pH em torno de 6,4 e 6,9. Nesta etapa os ensaios foram realizados sem o uso do jarteste, e os produtos químicos foram adicionados e misturados manualmente, com o intuito de reproduzir o que realmente acontece na planta.

#### Experimento 2

Jarro 1- Simulação do que acontecia anteriormente na ETA (dosagem simultânea dos produtos químicos no mesmo ponto). Foram adicionados cal, cloro e flúor e agitou-se por um minuto.

Jarro 2- Neste jarro foi adicionado apenas o cal até o pH aproximado 6,70 e agitou-se com um bastão por 1 minuto. Em seguida foi feita a análise de alumínio.

Jarro 3- Foi feita uma análise para alumínio residual previamente, e imediatamente após a leitura foi adicionado cloro e flúor em concentrações aplicadas na ETA. Novamente a solução foi agitada por aproximadamente 1 minuto. Em seguida foi feita a análise de alumínio novamente.

**Tabela 7 - Ensaios comparativos entre metodologias**

Amostra	Análises pré-teste			Análises pós-testes	
	Cal	Flúor	Cloro	Alumínio	pH
J1	x	x	x	0,10	6,50
J2	x	-	-	0,07	6,70
J3	x	x	x	0,08	6,68

Observa-se que no jarro 1, onde é feita a mistura simultânea dos produtos químicos o residual de alumínio é ligeiramente mais alto

Experimento 3- Este teste foi realizado para comparar o processo de tratamento ciclo completo (simulado no jarteste) versus configuração atual da ETA, avaliando a necessidade ou não de alteração do processo atual de tratamento.

**Tabela 8 - Ensaios comparativos parte 2**

Amostra	Análises pré-teste				Análises pós-testes
	pH	Cl	Flúor	Al	Alumínio
J1	6,46	2,20	0,8	0,19	0,10
J2	6,54	-	-	0,13	0,07

J1- Foram adicionadas dosagens aproximadas do real de cloro, flúor e cal de forma simultânea, e lidas após 1 minuto de agitação manual. Esta amostra foi submetida ao ensaio de jarteste e após a decantação foi coletada nova amostra e realizada nova leitura.

J2- Neste jarro foi adicionado apenas solução de cal e feito a leitura após um minuto de agitação manual. Esta amostra foi submetida ao ensaio de jarteste e após a decantação foi coletada nova amostra e realizada nova leitura.

Estes ensaios foram feitos para avaliar o tempo de contato em relação à redução do alumínio.

## RESULTADOS DA SEGUNDA ETAPA

Após a realização destes testes foi possível perceber duas situações importantes:

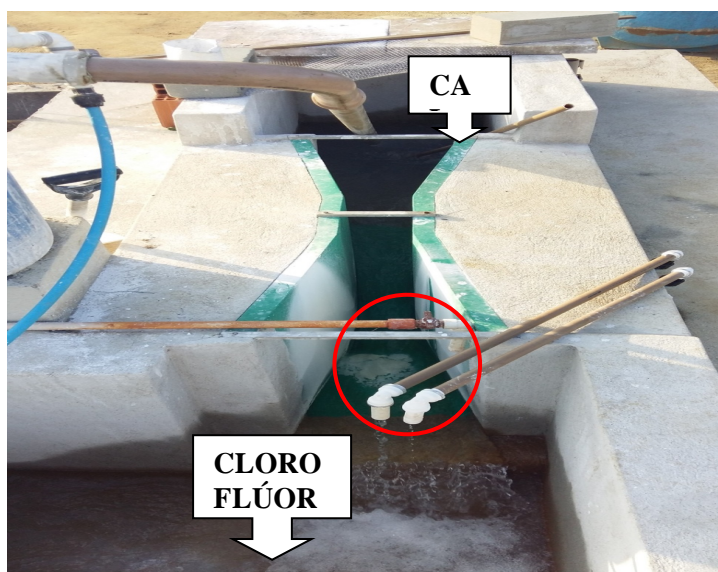
1ª – A mistura dos três produtos simultaneamente, como era feito estava interferindo no valor residual do alumínio, observou-se que quando os produtos eram misturados simultaneamente havia um leve aumento no residual de alumínio, isso acontece devido ao flúor ser um interferente na análise de alumínio;

2ª – Embora os resultados encontrados após o ciclo completo sejam melhores, é possível encontrar resultados que atendam as exigências da portaria vigente apenas fazendo pequenas alterações na ETA, como alteração do ponto de dosagem dos produtos químicos, sem a necessidade de investimentos.

## TERCEIRA ETAPA: APLICAÇÃO E ADAPTAÇÃO DOS RESULTADOS DE BANCADA NA ETA

A partir dos resultados encontrados em bancada, foram alterados os pontos de dosagem dos produtos químicos na ETA, e foi feito monitoramento de análises. Inicialmente, todos os produtos (cal, flúor e cloro) eram dosados no mesmo ponto de aplicação (indicado pelo círculo vermelho).

Após os testes foi sugerido que a cal passasse a ser dosada exatamente no ponto onde água chega (antes do ponto original, aumentando o tempo de contato) e o flúor e o cloro estão sendo dosados logo após a calha parshall (posterior ao ponto original). Os dosagens eram feitas simultaneamente no centro da calha.



**Figura 3- Nova configuração das dosagens de produtos químicos**



Após a alteração dos pontos de dosagens foram realizadas as análises rotineiras para monitoramento dos resultados que estão descritos na tabela abaixo:

**Tabela 9 – Resultados da água tratada após alteração dos pontos de dosagens e controle de pH**

Horário	Amostra	pH	Alumínio
07:00	Água Bruta	5,18	0,47
	Água tratada	6,21	0,12
10:00	Água Bruta	5,20	0,42
	Água tratada	6,26	0,08
11:00	Água Bruta	4,61	0,54
	Água tratada	6,04	0,16
12:00	Água Bruta	5,76	0,55
	Água tratada	6,10	0,18
13:00	Água Bruta	4,62	0,57
	Água tratada	6,30	0,14
14:00	Água Bruta	5,05	0,58
	Água tratada	6,36	0,12

Abaixo seguem duas figuras comparando os resultados antes e depois das alterações realizadas nos pontos de dosagem dos produtos químicos.

A figura 4 mostra os resultados obtidos quando os produtos químicos eram misturados simultaneamente e não havia controle de pH.

quinta-feira, 6 de julho de 2017													
CONTROLE FÍSICO-QUÍMICO DA ÁGUA													
Água Bruta							Tratada						
Cor	Turbidez	pH	Alcalinidade	Ferro	Alumínio		Cor	Turbidez	pH	Alcalinidade	Cloro	Alumínio	Fluoret
mg/l Pt	NTU		mg/l CaCO <sub>3</sub>	mg/l	mg/l		mg/l Pt	NTU		mg/l CaCO <sub>3</sub>	mg/l	mg/l	mg/l
0,5	1,2	4,94					3,3	1	6,42		1,22		0,72
0,5	0,8	4,86	1,8		0,58		1,8	0,9	6,34		1,16	0,42	0,63
0,6	0,6	4,75					1,6	1	6,28		1,12		0,61
0,2	0,4	4,76					1,2	0,96	6,22		1		0,62
0,2	0,1	4,86	1,8		0,66		1	0,85	6,17		0,86	0,24	0,61
0,4	0,1	4,86					1	0,76	6,12		0,84		0,61

**Figura 4- resultados anteriores às alterações**

A figura 5 mostra os resultados obtidos após a mudança do ponto de dosagem da cal para o ponto de chegada da água, e o flúor é adicionado posteriormente, junto com o cloro.

quinta-feira, 30 de novembro de 2017												
CONTROLE FÍSICO-QUÍMICO DA ÁGUA												
Água Bruta						Tratada						
Cor	Turbidez	pH	Alcalinidade	Ferro	Alumínio	Cor	Turbidez	pH	Alcalinidade	Cloro	Alumínio	Fluoret
mg/l Pt	NTU		mg/l CaCO <sub>3</sub>	mg/l	mg/l	mg/l Pt	NTU		mg/l CaCO <sub>3</sub>	mg/l	mg/l	mg/l
1,8	0,23	4,69	1,6		0,58	4,9	1,43	6,19		0,75	0,14	0,78
1,3	0,2	4,88			0,56	4,1	0,76	6,12		0,7	0,15	0,65
1	0,23	4,9			0,55	5	0,99	6,15		0,85	0,1	0,65
-	-	-			-	4,7	0,66	6,16		0,84	0,15	0,65
2,7	0,24	4,73			0,56	4,5	1	6,31		1,24	0,11	0,69
2	0,23	4,8	1,6		0,56	5	1	6,09		0,98	0,18	0,64

**Figura 5- Resultados após as alterações**

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O filtro de alta pressão com zeólito apresentou custo muito elevado e inviável para implantação;

A tecnologia da empresa americana testada apresentou boa redução do residual de alumínio, porém conferiu aumento considerável de cor e turbidez, os custos não foram apresentados;

Coagulante não apresentou resultado relevante na remoção;

O controle de pH utilizando cal, e a alteração dos pontos de dosagem resultaram na redução de 70% do alumínio dissolvido;

Houve um leve aumento na turbidez da água tratada, mas ainda dentro do recomendado pela legislação;

Custo da melhoria para redução do alumínio dissolvido: hora/homem trabalhada.

Os resultados encontrados foram muito satisfatórios, mostrando que as pequenas alterações realizadas na ETA resultaram na redução do Alumínio para os padrões recomendados pela Portaria MS PCR nº5 anexo XX.

Embora a cal produza uma elevação na turbidez da água (mas este problema já existia, pois a cal era usada para correção de pH). Portanto, foi realizado um teste de 3 semanas utilizando cal em suspensão e o resultado foi positivo em relação ao controle de pH, que se torna muito mais fácil devido à estabilidade do produto e a turbidez praticamente não se altera. Assim, recomenda-se que esta substituição seja feita de forma definitiva, com o objetivo de melhorar e alcançar resultados de excelência como está proposto na missão e objetivos da empresa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CLETO, C. I. T.P. O alumínio na água de consumo humano. Covilhã, 2008. Dissertação e mestrado- Universidade da Beira Interior.
2. YAMAGUSHI, R B. Especificação de alumínio em água subterrâneas na região do manancial Billings: aplicação da radiação na digestão amostral para fins analíticos e na proposta de remediação. São Paulo, 2013. Dissertação de mestrado-Instituto de pesquisa energéticas nucleares, autarquia associada à Universidade de São Paulo.
3. BRASIL. Portaria de Consolidação do Ministério da Saúde nº 05 anexo XX de 28 de Setembro de 2017. Do Controle e da Vigilância da Qualidade da Água Para Consumo Humano e seu Padrão de Potabilidade (Origem: PRT MS/GM 2914/2011).