

I-336 - INVESTIGAÇÃO DA ESTABILIZAÇÃO QUÍMICA DAS ÁGUAS BRUTA E TRATADA NA CIDADE DE BRODOWSKI-SP

José Luís Perez ⁽¹⁾

Mestrando do curso de Tecnologia Ambiental pela Universidade de Ribeirão Preto - UNAERP

Bruno Moreira da Silva

Aluno de iniciação científica do curso de Engenharia Química pela Universidade de Ribeirão Preto – UNAERP

Angela Di Bernardo Dantas

Engenheira Civil com Mestrado, Doutorado e Pós-doutorado em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP). Professora da Universidade da Associação de Ensino de Ribeirão Preto (UNAERP). Diretora da Hidrosan Engenharia SS Ltda.

Endereço ⁽¹⁾: Rua Franklin Machado Santana 558. Bairro – Zanon. CEP – 14340-000 Brodowski - SP – Brasil
- Tel: (16) 3664-3145 - e-mail: tveducativa25@hotmail.com

RESUMO

A corrosão, fenômeno bastante estudado ao longo dos anos, afeta tubulações de redes de distribuição de água, acarretando inúmeros problemas para o consumidor final e, conseqüentemente, para o órgão que gerencia essa distribuição. Dentre os problemas, destacam-se o aumento do custo operacional de bombeamento da água, a deficiência no abastecimento de pontos mais altos e distantes da rede de distribuição, ambos decorrentes da redução da seção de escoamento dos tubos em função de incrustações internas, e a liberação de subprodutos da corrosão, que modificam a qualidade da água distribuída (principalmente cor, turbidez, pH, sabor, odor e/ou concentração de íons metálicos), tornando-a não potável. A cidade de Brodowski, situada no interior do estado de São Paulo, tem verificado nos últimos anos o aumento crescente do número de registros de reclamações relacionadas à distribuição de água em não conformidade com padrão de potabilidade brasileiro (Portaria 518/2004) e a deficiência no abastecimento dos pontos críticos da rede de distribuição. Neste trabalho foi investigada a qualidade das águas bruta e distribuída em Brodowski por meio de um monitoramento semanal. Com os resultados deste monitoramento, foram calculados os Índices de Saturação de Langelier (ISL) e de Estabilização de Ryznar (IER) e realizados ensaios de bancada visando à estabilização química com hidróxido de sódio e hidróxido de cálcio. Concluiu-se que as águas brutas são agressivas e foi verificado um conflito entre os índices, visto que com a elevação do pH para 9,5, o ISL resultou ligeiramente positivo (água estabilizada) e o IER resultou em torno de 9,0 (água muito agressiva). Vários parâmetros monitorados, como cor aparente, turbidez, pH e ferro resultaram fora da faixa de valores permitida pela Portaria 518. Os valores de cloro residual também resultaram inferiores ao mínimo permitido pela Portaria 518, sendo a provável causa do aparecimento de *E. Coli* nos pontos críticos monitorados. Os resultados desta pesquisa servem de alerta para as autoridades responsáveis, visto que a presença de patogênicos na água distribuída está diretamente associada à ocorrência de doenças de veiculação hídrica.

PALAVRAS-CHAVE: Corrosão, Índice de Langelier, Índice de Ryznar, qualidade da água, Brodowski.

INTRODUÇÃO

A cidade de Brodowski, situada no interior do estado de São Paulo, tem verificado nos últimos anos o aumento crescente do número de reclamações relacionadas à distribuição de água fora do padrão de potabilidade (Portaria 518/2004) e a deficiência no abastecimento dos pontos críticos da rede de distribuição, além de problemas operacionais que repercutem em problemas econômicos e de saúde pública para o município. Boa parte das reclamações por parte dos moradores tem sido feita devido à ocorrência de “água vermelha”.

A corrosão é um processo espontâneo que ocorre sempre que um metal entra em contato com uma solução aquosa e sua intensidade depende das características tanto da solução quanto do metal. A liberação de subprodutos da corrosão na água alterando sua cor e turbidez resulta na produção da chamada “água vermelha”. A água vermelha é responsável por um grande número de reclamações por parte do consumidor final dos sistemas de distribuição de água, pois, além de afetar a qualidade da água, pode provocar manchas em roupas e louças sanitárias, problemas de saúde e outros transtornos.

Gentil (1984) comenta que o uso do ISL pode ser falho frequentemente e deve ser encarado como uma medida qualitativa. O autor exemplifica que duas águas diferentes, sendo uma com baixa dureza, portanto corrosiva e outra com elevada dureza, portanto, incrustante, podem apresentar o mesmo ISL. Isso fica evidente, pois a corrosão é um fenômeno complexo que pode ser devido a diversos fatores: físicos, eletroquímicos ou qualquer outro que origine irregularidade no sistema água-material metálico.

A tendência de desenvolvimento de incrustações de CaCO_3 pode ser verificada pelos Índice de Saturação de Langelier (ISL) e/ou Índice de Estabilização de Ryznar (IER), sendo que ambos são função do pH de saturação (pH_s).

O pH de saturação (pH_s) é dado por:

$$\text{pH}_s = \frac{0,0125 \cdot \sqrt{\text{STD}}}{1 + 0,005 \cdot \sqrt{\text{STD}}} + \frac{593}{273 + T} + 9,3 - \log(0,4 \cdot \text{Ca}) - \log(\text{Alc})$$

em que:

STD: sólidos totais dissolvidos (mg/L);

T: temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$);

Ca: concentração de cálcio (mg/L CaCO_3)*;

Alcalinidade total (mg/L CaCO_3).

* medida feita por meio da determinação da dureza devido ao cálcio (relação entre massas de Ca e de CaCO_3 é de 0,4).

Os índices são calculados pelas equações:

$\text{ISL} = \text{pH} - \text{pH}_s$

$\text{IER} = 2 (\text{pH}_s) - \text{pH}$

As características do fenômeno de incrustação em função do ISL e do IER são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Características do fenômeno em função do Índice de Saturação de Langelier e do Índice de Estabilidade de Ryznar

ISL	ISL > 0	Formação de incrustações
	ISL < 0	Remoção de incrustações
	ISL = 0	Neutro
IER	IER < 5,5	Intensa formação de incrustações
	5,5 < IER < 6,2	Formação de incrustações
	6,2 < IER < 6,8	Sem dificuldades
	6,8 < IER < 8,5	Água agressiva
	IER > 8,5	Água muito agressiva

Fonte: Tchobanoglous et al. (2003)

Os ensaios de estabilização final visam ao controle da corrosividade e da agressividade da água, protegendo, assim, as redes de abastecimento. Estudos mostram que a ocorrência de uma pequena supersaturação de carbonato de cálcio (CaCO_3) pode reduzir a corrosão de metais como o ferro e eliminar a agressão de materiais feitos à base de cimento. Sendo assim, a condição de estabilização selecionada deve ser aquela com a qual os índices resultam ligeiramente positivo (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

O objetivo deste trabalho foi a investigação da qualidade e da estabilização química das águas bruta e distribuída, visando à identificação das possíveis causas da ocorrência de água em não conformidade com o padrão de potabilidade. Foram calculados os índices de estabilização química das águas brutas e distribuída e feitos ensaios de bancada para estabilização das águas brutas.

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia empregada para a realização da presente pesquisa envolveu a investigação da qualidade da água bruta dos sistemas produtores e da água distribuída na cidade de Brodowski e a realização de ensaios visando à estabilização química. A Figura 1 mostra um fluxograma simplificado da metodologia utilizada no desenvolvimento da pesquisa.

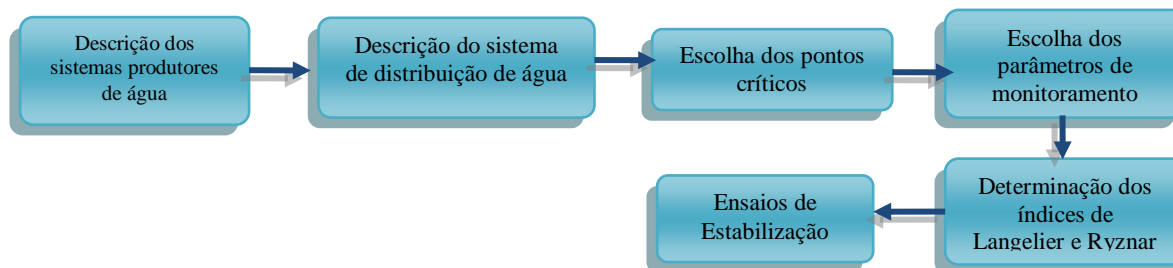


Figura 1: Fluxograma simplificado da metodologia

Os dados foram compilados junto ao Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Brodowski (SAAEB), e no Departamento de Obras da Prefeitura Municipal.

Durante o período do monitoramento da qualidade da água, os sistemas produtores investigados foram:

- Sistema Produtor 1 (SP1), composto pelo Alto do JASP, com profundidade de 600 m, água do aquífero Guarani, com vazão de $250 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, funcionamento por 24 horas por dia durante todo o período do monitoramento;
- Sistema Produtor 2 (SP2), composto por dois poços semi-artesianos, ambos com 80 metros de profundidade e vazão de $30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, e captação de duas nascentes, denominadas de drenos, com vazão média em torno $40 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, funcionando em média 10 horas por dia, de acordo com a demanda de água, durante os três primeiros meses do monitoramento, com desativação em 30/08/2010;
- Sistema Produtor 3 (SP3), inaugurado em 30 de agosto de 2010, também situado no sítio das contendias (água do aquífero Guarani), com 510 m de profundidade e vazão de $276 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, funcionamento por 24 horas por dia a partir do dia 03/09/2010.

Durante o período de monitoramento, as águas brutas dos três sistemas produtores receberam flúor na forma de ácido fluossilícico.

Para investigar a qualidade da água distribuída à população, foram realizadas coletas de amostras de água nos sistemas produtores e nos cinco pontos críticos durante seis meses. Com base na frequência das reclamações por bairro fornecidas pelo SAAEB referentes à qualidade da água, foram escolhidos cinco pontos críticos: Ponto crítico 1, situado no Jardim Alvorada (Alto do JASP); Ponto crítico 2, situado no Bairro Girard; Ponto crítico 3, situado no Bairro João Luiz de Vicente; Ponto crítico 4, situado no Bairro Vila Siena; Ponto crítico 5, situado no Bairro Vila Cristal.

O monitoramento começou no dia 18 de maio e terminou no dia 26 de outubro de 2010. Os seguintes parâmetros foram monitorados: pH (método eletrométrico, equipamento Orion modelo 230 A), alcalinidade total (método titrimétrico com H_2SO_4), dureza devido ao cálcio (método titrimétrico com EDTA), sólidos totais dissolvidos (método gravimétrico), cor verdadeira (método espectrofotométrico com prévia filtração em membrana de $0,45 \mu\text{m}$, equipamento DR2000 Hach), cor aparente (método espectrofotométrico, equipamento DR 2000 Hach), ferro e manganês (espectrofotometria de absorção atômica, equipamento modelo AA Analyst 700, Perkin Elmer), turbidez (método nefelométrico, equipamento turbidímetro 2100 P da Hach), *E. Coli* e coliformes totais (método de membrana filtrante, Placa Petrifilm 3M). As leituras de cloro residual foram feitas *in loco* por método colorimétrico, equipamento Hach modelo CN-66. Todos os parâmetros foram analisados segundo o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA *et al.*, 1998).

Foram feitos ensaios de estabilização química para determinar os Índices de Saturação de Langelier (ISL) e de Estabilização de Ryznar (IER) das águas brutas dos sistemas produtores. Para cada amostra de água bruta, foram colocados 300 mL em cinco frascos de 300 mL e foi variado o pH por meio da adição de hidróxido de sódio (ensaio 1) e de hidróxido de cálcio (ensaio 2). Os valores de pH estudados foram 6,0, 7,0, 8,5, 9,0 e 9,5. Após o ajuste do pH, foram feitas as medições dos parâmetros temperatura (controlada em 25°C),

alcalinidade, dureza de cálcio, pH da amostra e concentração de sólidos dissolvidos totais para cálculo dos índices ISL e IER.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Figuras 2 e 4 são apresentados os resultados de *E. Coli* e cloro residual e nas Figuras 3 e 5 os resultados de turbidez e de cor aparente nos pontos críticos 1 e 4, respectivamente, localizados em residências com incidência freqüente de “água suja” (foto de uma amostra coletada no ponto crítico 1 na Figura 6).

Percebe-se nas Figuras 2 e 4 que nas águas coletadas nos pontos críticos 1 e 4 foram obtidos valores positivos de *E. Coli* em várias ocasiões, resultado em desacordo com a Portaria 518, cujo padrão microbiológico de potabilidade da água para consumo humano é a ausência de *E. Coli* em 100 mL. Uma provável explicação é o cloro residual analisado nas amostras, cujos valores predominaram abaixo de 0,20 mg/L, valor mínimo exigido pelo Portaria 518 em qualquer ponto da rede de distribuição, mesmo após a desativação do SP2 e do início do SP3.

Os valores de turbidez e de cor aparente nos pontos críticos mantiveram-se boa parte do tempo acima do permitido pela Portaria 518, de 5 uT e 15 uH, respectivamente, enquanto o PS2 esteve em funcionamento. Assim que o PS3 foi colocado em operação e o PS2 desativado, houve uma redução significativa nos valores de turbidez e de cor aparente, evidenciando que a água suja nestes pontos era consequência direta da água bruta do SP2 e não dos problemas associados à corrosão (Figuras 3 e 5).

O mesmo comportamento foi observado nos valores de ferro analisados nos pontos crítico 1 e 4, com resultados acima de 0,30 mg/L durante o funcionamento do PS1 juntamente com o PS2, e melhora significativa quando o PS2 foi desativado e ativado o PS3.

Nos demais pontos críticos foram observados comportamentos semelhantes aos observados nos pontos críticos 1 e 4.

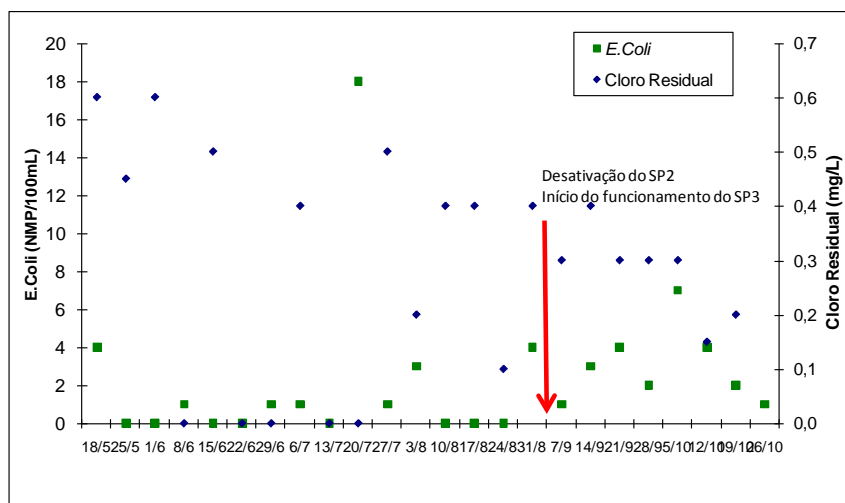


Figura 2 – Resultados de *E. Coli* e de Cloro Residual no ponto crítico 1 no período do monitoramento

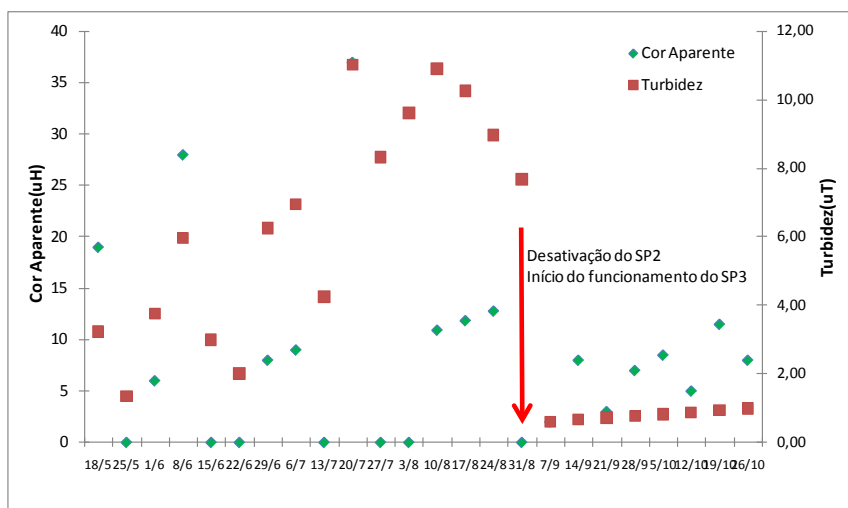


Figura 3 – Resultados de turbidez e de cor aparente do ponto crítico 1 no período do monitoramento

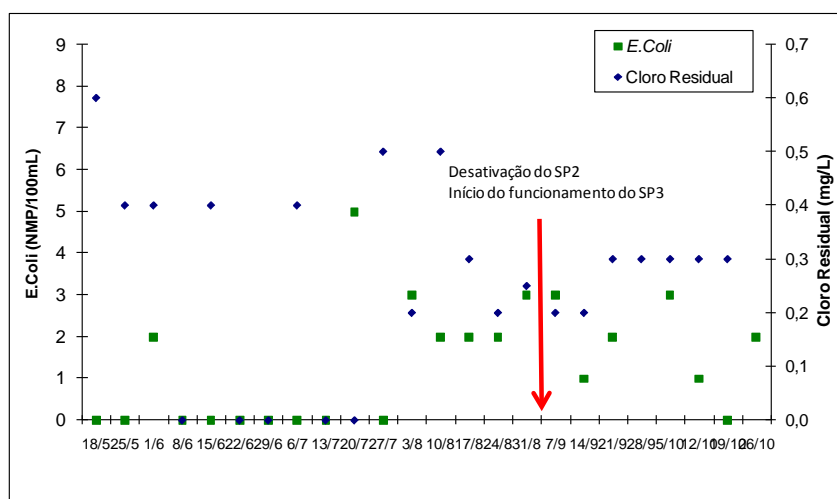


Figura 4 – Resultados de *E. Coli* e de Cloro Residual no ponto crítico 4 no período do monitoramento

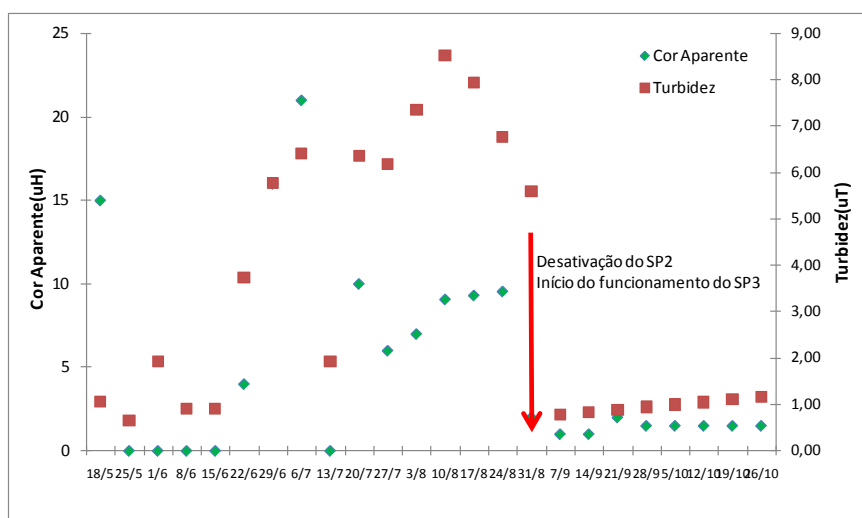


Figura 5 – Resultados de turbidez e de cor aparente do ponto crítico 4 no período do monitoramento



Figura 6 – Foto da coleta de uma amostra no ponto crítico 1

Nas Figuras 7 e 8 são apresentados os resultados do ISL e do IER das águas brutas dos sistemas produtores SP1, SP2 e SP3. Percebe-se nestas figuras que as águas brutas apresentaram características muito agressivas, visto que os valores de ISL resultaram na faixa de -5,5 a -3,4 e os valores de IER na faixa de 12,5 a 15,4. Com o início do funcionamento do SP3 e desativação do SP2, as características permaneceram agressivas.

Os resultados dos ensaios de estabilização com hidróxido de cálcio e hidróxido de sódio com as águas brutas dos sistemas produtores SP1, SP2 e SP3 são apresentadas na Figura 9. Nota-se nesta figura que as águas brutas dos sistemas produtores resultaram comportamentos similares nos ensaios de estabilização. Com a elevação do pH para valores maiores que 9,5 (dosagem de hidróxido de cálcio na faixa de 42 a 49 mg/L e dosagem de hidróxido de sódio na faixa de 34 a 35 mg/L), os valores do ISL resultaram ligeiramente positivos, condição de estabilização recomendada para distribuição de água. Entretanto, para este valor de pH, os valores do IER resultaram acima de 8,5, indicando que mesmo em pH igual a 9,5 (máximo permitido pela Portaria 518), as águas continuaram com características agressivas.

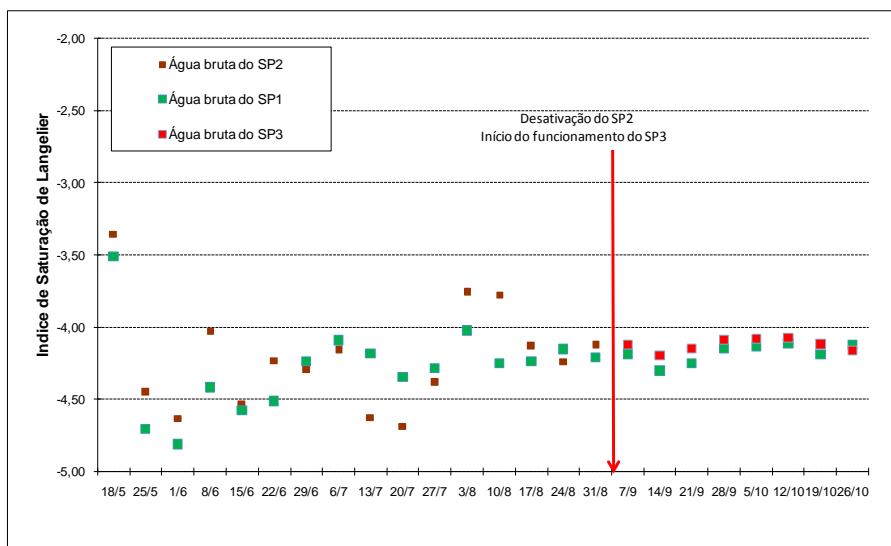


Figura 7 – Resultados do Índice de Saturação de Langelier da água bruta dos sistemas produtores no período do monitoramento

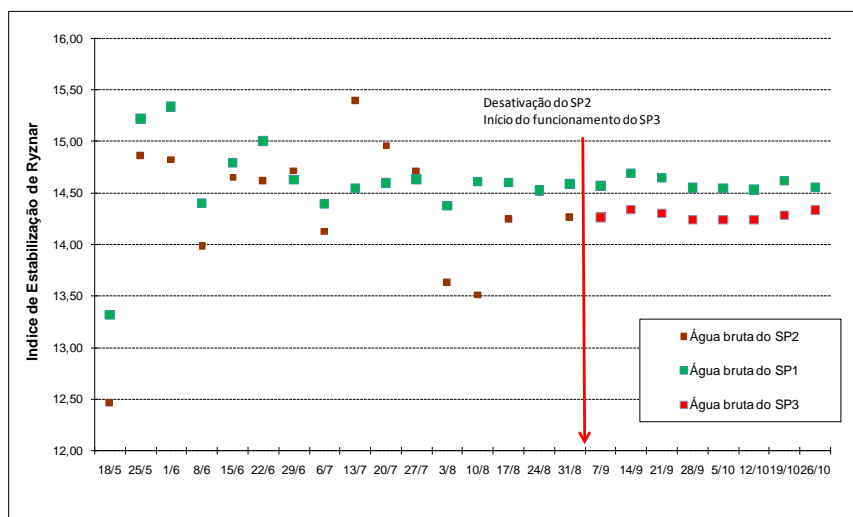


Figura 8 – Resultados do Índice de Estabilização de Ryznar da água bruta dos sistemas produtores no período do monitoramento

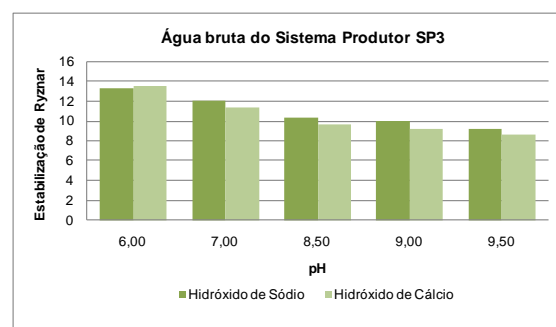
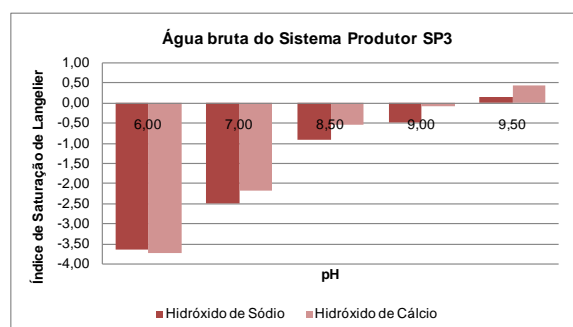
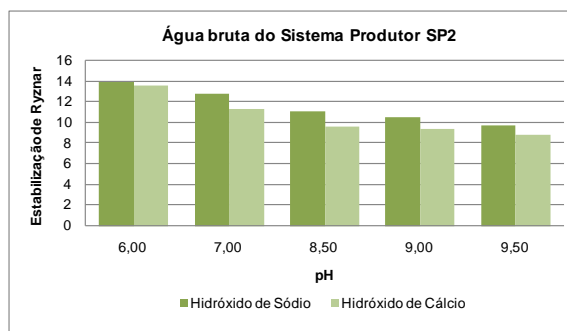
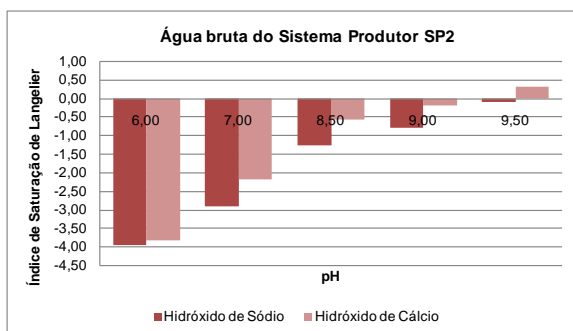
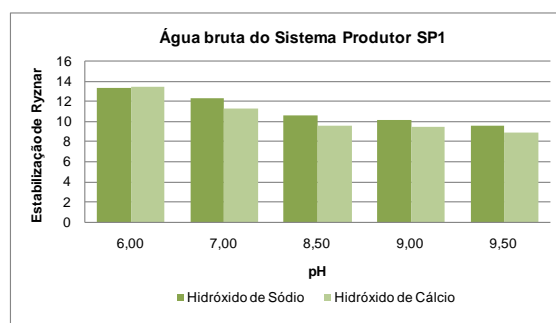
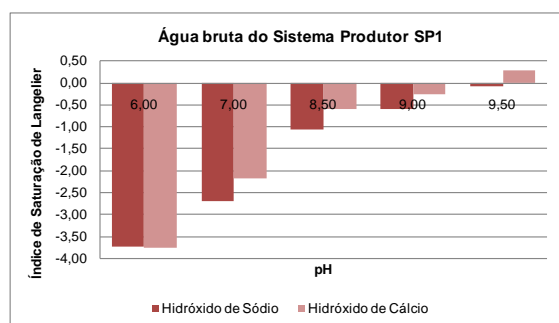


Figura 9 – Resultados dos ensaios de estabilização com hidróxido de sódio e hidróxido de cálcio das águas brutas dos sistemas produtores

CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, as seguintes conclusões são apresentadas:

- Os resultados de turbidez, de cor aparente e de ferro resultaram acima dos valores máximos permitidos pela Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde somente enquanto o SP2 esteve em operação, evidenciando que o fenômeno da corrosão não foi o responsável pela distribuição de água não potável a população;
- Os valores de cloro residual mantiveram-se baixos nos pontos críticos monitorados, muitas vezes inferiores ao mínimo permitido pela Portaria 518/2004, de 0,2 mg.L⁻¹, sendo a provável causa do aparecimento de *E. Coli*;
- As águas brutas dos sistemas produtores apresentaram características agressivas, de acordo com os resultados dos Índices de Saturação de Langelier (ISL < 0) e Estabilização de Ryznar (IER > 8,5);
- Os Índices estudados apresentaram resultados conflitantes, visto que com a elevação do pH das águas brutas dos sistemas produtores para 9,5, o ISL resultou ligeiramente positivo (água estabilizada) e o IER resultou em torno de 9,0 (água muito agressiva).

Diante da crescente preocupação com os fenômenos de corrosão de águas de abastecimento, torna-se imprescindível que sejam feitos ensaios *in loco*, com o uso de corpos de prova, visando à determinação precisa da condição de estabilização das águas, uma vez que os índices disponíveis na literatura, como o de Langelier e de Ryznar, podem resultar falsas interpretações.

Recomenda-se que as autoridades responsáveis pela distribuição de água da cidade de Brodowski se sensibilizem com a qualidade inapropriada da água distribuída à população, principalmente em relação à concentração de cloro residual, uma vez que a presença de patogênicos na água distribuída está diretamente associada à ocorrência de doenças de veiculação hídrica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1- APHA, AWWA, WPCF (1998) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 19th edition, Washington, USA.
- 2- BRASIL (2004) Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde, Portaria MS n.º 518 de 25/03/2004, Brasília, Editora do Ministério.
- 3- DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. (2005) Métodos e técnicas de tratamento de água. Ed. Rima, 2ª ed. São Carlos, SP, 2005. 1566 p.
- 4- GENTIL, V. (1984) Estudo sobre corrosão em instalações de sistemas distribuidores de água potável, Relatório Técnico Sabesp, 1984.
- 5- TCHOBANOGLOUS, G.; BURTON, F. L.; STENSEL, D. (2003) Wastewater engineering: treatment, disposal, reuse. 4. ed. New York: McGraw-Hill Book Co, 2003. 1815 p.