GESTÃO OPERACIONAL DA INTRUSÃO SALINA NA CAPTAÇÃO DA ETA REIS MAGOS

Ludimila Marvila Girondoli[1]
Engenheira Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Mestre em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Engenheira Ambiental na CESAN.

André Luís de Oliveira Lima[2]
Engenheiro Químico pela Universidade Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). Gestor da Divisão de Tratamento Norte (O-DTN) na CESAN.

Saulo Machado da Silva[4]
Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Especialização em Estruturas de Concreto e Fundação pela Universidade Cidade de São Paulo (UNICID). Cursando MBA em Parceria Público Privada e Concessões pela Fundação Escola de Sociologia e Política de São Paulo (FESPSP). Gestor da Divisão de Operação e Manutenção Serrana (O-DSE) na CESAN.

Endereço[1]**:** Avenida Guarapari, s/n – Jardim Limoeiro - Serra – ES - CEP: 29164-120- Brasil - Tel: (27) 2127-5473 - e-mail: ludimila.girondoli@cesan.com.br

RESUMO

A captação da ETA Reis Magos é realizada no Rio Reis Magos e, na maior parte do ano, a água captada apresenta valores de cloretos menores que 10 mg/L, valor inferior ao padrão de 250 mg/L estabelecido na Portaria GM/MS nº 888/2021. Contudo, devido à topografia plana da região e pelo fato de a captação distar 15 km da foz do Rio Reis Magos, nos períodos mais secos (agosto a outubro) pode ocorrer aumento na concentração de cloretos na água devido ao avanço da cunha salina, dependendo do volume de água doce aportado pelo Rio e pelas oscilações de maré. Sendo assim, o presente trabalho visa apresentar o procedimento que tem sido adotado na ETA Reis Magos para compatibilizar os momentos de avanço da cunha salina com a captação e distribuição de água dentro dos padrões de potabilidade.

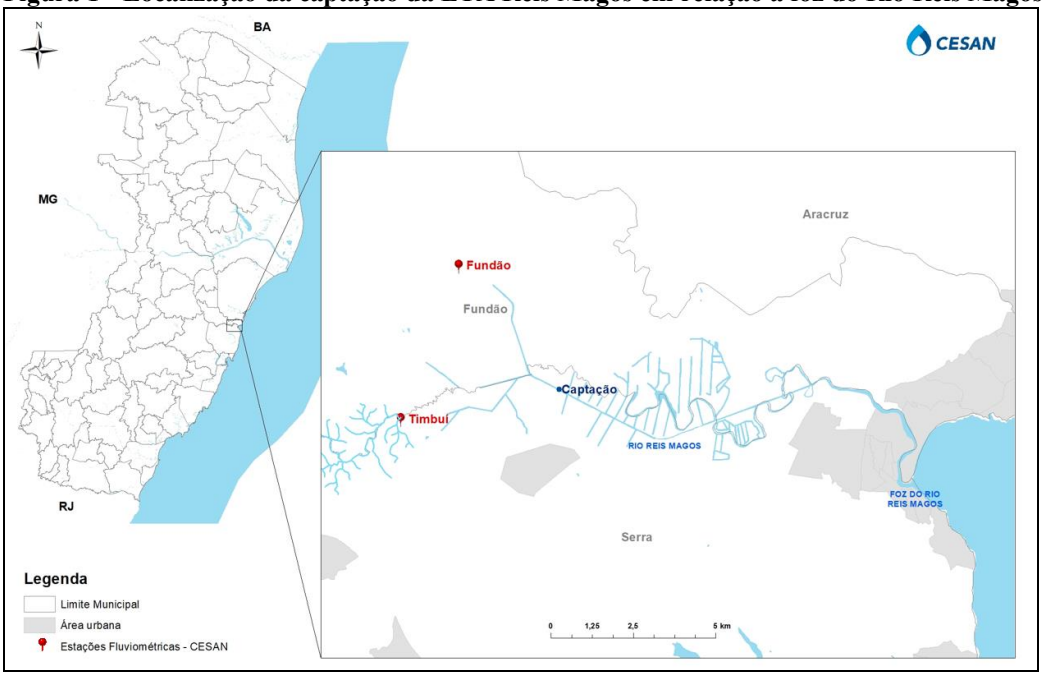
PALAVRAS-CHAVE: Intrusão salina, condutividade, captação de água.

INTRODUÇÃO

A Estação de Tratamento de Água (ETA) Reis Magos está localizada no município da Serra/ES, na zona rural do distrito de Nova Almeida, e a captação deriva água bruta do Rio Reis Magos em um ponto localizado a 15 km de distância da foz. Por se localizar em uma em uma região de topografia plana, no período seco do ano, dependendo do volume de água doce aportado pelo Rio Reis Magos e da amplitude da maré, pode ocorrer influência da cunha salina proveniente do mar. A Figura 1 apresenta a localização da captação da ETA Reis Magos.

A ETA Reis Magos iniciou a operação em outubro/2017, com operação 24 horas/dia, fornecendo água dentro dos padrões de qualidade, contudo em 27/09/2019, houve entrada da cunha salina no canal de captação da ETA Reis Magos, e foi distribuída água com sabor salobro para a população abastecida pelo SAA Reis Magos. A Portaria GM/MS nº 888/2021, em relação a percepção de sabor salobro/salino, adota o parâmetro cloretos como indicador, sendo 250 mg/L o valor máximo permitido (VMP). Na ocorrência do dia 27/09/2019, nas amostras da rede de distribuição de água, foram identificados resultados com valores superiores ao VMP.

Figura 1 - Localização da captação da ETA Reis Magos em relação à foz do Rio Reis Magos.



Devido a essa ocorrência, a captação e o tratamento da água ficaram paralisados durante 19 dias e nesse período foram realizadas análises dos dados existentes (nível dos rios, horário e altura da maré, nível do poço de sucção, condutividade da água bruta) bem como geração de novos dados, de forma a compreender a hidrodinâmica da cunha salina no Rio Reis Magos, para então definir uma solução imediata para permitir que a ETA retornasse a operar.

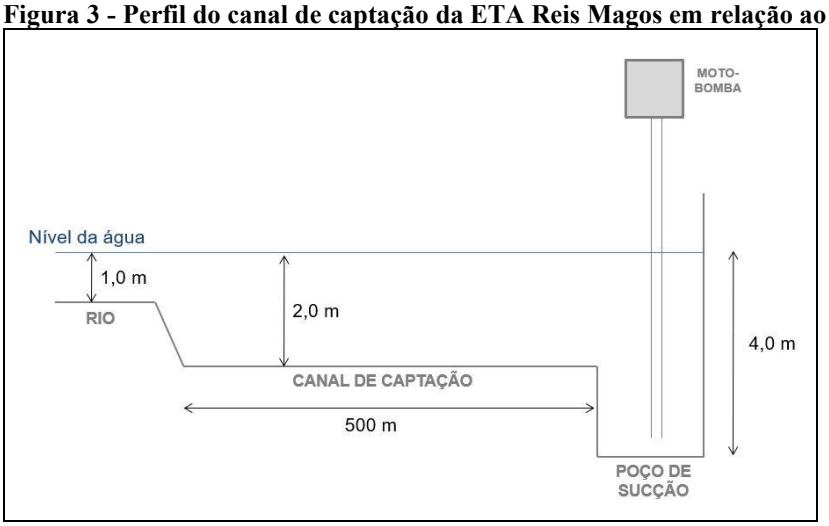
A área de abrangência do sistema de abastecimento de água (SAA) de Reis Magos pode ser abastecida por outro SAA a partir de manobras de rede e acionamento de uma estação pressurizadora de água tratada (booster). Dessa forma, no período de paralisação da ETA Reis Magos, a população foi abastecida pelo SAA Santa Maria.

A partir da análise de dados, concluiu-se que, na maré enchente, não poderia permitir o avanço da cunha salina para o interior do Canal de Captação, pois devido ao perfil de profundidade do sistema de captação, a água salobra fica retida no Canal. A Figura 2 apresenta uma imagem aérea com identificação dos elementos integrantes do sistema de captação de água para a ETA Reis Magos e a Figura 3, o perfil desse sistema de captação, onde se verifica que o Canal de Captação e o poço de sucção são mais profundos que o leito do Rio Reis Magos, o que dificulta a saída da água salobra na maré vazante, caso a cunha salina avance no sistema.

Figura 2 – Imagem aérea do Rio Reis Magos e do Canal de Captação da ETA Reis Magos.



Figura 3 - Perfil do canal de captação da ETA Reis Magos em relação ao Rio Reis Magos.



Definiu-se também, como solução imediata, um procedimento na qual planejava-se a paralisação da captação da água a partir de uma previsão do avanço da cunha salina baseado no nível de rio, horário e cota prevista para a maré. A lógica do procedimento era: com a paralisação da captação, o bombeamento de água é interrompido, e consequentemente cessa-se o movimento de entrada da água no Canal de Captação. A partir da análise dos dados, ficou estabelecido que a ETA Reis Magos, quando do avanço da cunha salina, deveria ser paralisada por um período de 3 horas. Como normalmente tem-se maré enchente duas vezes ao dia, a ETA deveria se paralisada um total de 6 horas/dia. Era enviado um comunicado aos operadores da ETA e a todos os envolvidos com o sistema, informando as datas e horários previstos para a paralisação e o retorno da captação.

Foi um procedimento eficiente que impediu a reentrada da cunha salina no Canal de Captação no ano de 2019 e no ano de 2020, porém como tratava-se de uma extrapolação do comportamento da natureza, não era um procedimento preciso e seguro podendo incorrer em paralisações desnecessárias ou mesmo em captação de água salobra.

Portanto, a fim de precisar o momento exato que a cunha salina se aproximasse do canal de captação, adotou-se como solução, para o enfrentamento dos próximos períodos secos, a gestão da salinidade através de uma estação de condutividade que permitisse a medição instantânea do valor de condutividade no Rio Reis Magos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para alcançar a definição do procedimento de gestão da salinidade na captação da ETA Reis Magos foram executadas as etapas descritas abaixo.

1) Correlação entre condutividade e cloretos

A Portaria GM/MS nº 888/2021, em relação a percepção de sabor salobro/salino, estabelece o parâmetro cloretos como indicador, sendo 250 mg/L o valor máximo permitido (VMP). Contudo, para uma resposta eficaz sobre o comportamento da cunha salina no Rio Reis Magos, optou-se por utilizar o parâmetro condutividade, onde a partir de uma correlação linear infere-se o valor de cloretos da amostra de água a partir do valor da condutividade. Outro fator determinante para a utilização da correlação foi que, quando da procura de fornecedores (em 2019/2020), não foi encontrado no mercado equipamento que medisse in loco e continuamente em tempo real a concentração de cloretos.

Para a elaboração da primeira equação de correlação, foram coletadas 58 amostras de água do Rio Reis Magos em diversas situações de maré (alta e baixa) e analisadas no laboratório da ETA Reis Magos. A análise de cloretos foi realizada conforme o Método de Mohr e a análise de condutividade, através do medidor de bancada. A partir dos resultados elaborou-se a correlação através da regressão linear simples. A primeira equação de correlação foi elaborada no ano de 2019, e nos anos posteriores essa equação foi sendo ajustada com novos resultados.

2) Aquisição, instalação e operacionalização da estação de condutividade

Para compor a Estação de Condutividade foram adquiridos: sensor de medição de condutividade com cabo de transmissão de dados, datalogger, modem, antena de transmissão, painel solar, caixa protetora e sistema online de visualização dos dados. O sensor de condutividade foi instalado diretamente no Rio Reis Magos, à jusante da entrada do Canal de Captação para possibilitar o acompanhamento da movimentação da cunha salina e paralisar/retornar a captação conforme o valor de condutividade estabelecido. A Figura 4 apresenta um croqui esquemático da instalação da Estação de Condutividade e a Figura 5 uma vista geral da Estação.

Figura 4 - Croqui esquemático da Estação de Condutividade de Reis Magos

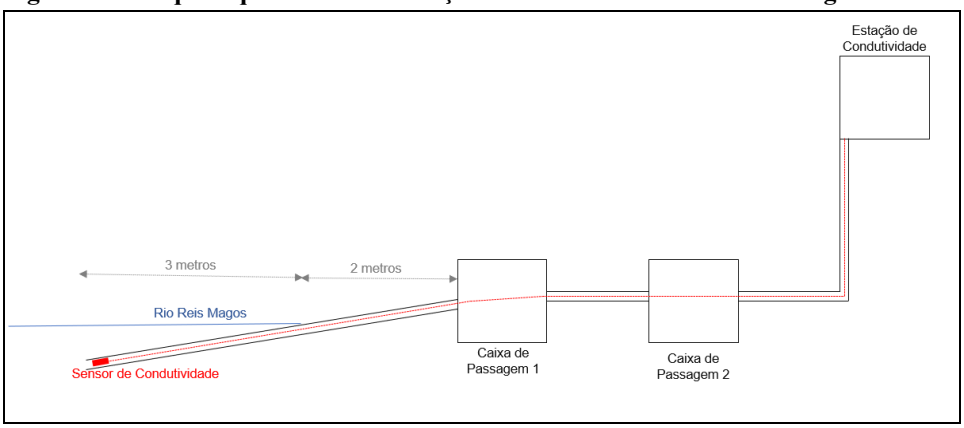


Figura 5 - Foto com vista geral da Estação de condutividade



3) Definição do valor de condutividade para interromper/retornar a captação

O valor de condutividade adotado para interromper/retornar a captação foi definido a partir de testes de prova do sabor da água enquanto variavam-se os valores de condutividade da água captada e tratada na ETA Reis Magos. Os testes não se basearam em metodologias adequadas para análise sensorial, foram apenas teste expeditos de percepção do sabor. Os testes ocorreram em 12/11/2019, quando a ETA retornou à operação após a paralisação de 19 dias, utilizando a mesma água tratada distribuída para a população. Participaram dos testes três empregados da Companhia que acompanhavam a retomada da operação da ETA.

Nos anos posteriores, especificamente em 2022 e 2024, a definição do valor de condutividade adotado para interromper/retornar a captação levou em consideração, além dos resultados do teste de prova, a necessidade de um maior tempo de operação da ETA e da ausência de reclamação dos clientes em relação à percepção de sabor salobro na água.

4) Instalação de comporta no Canal de Captação

No ano de 2020, foi instalada uma comporta na entrada do canal de captação da ETA Reis Magos, para se obter mais segurança em relação ao impedimento da entrada da cunha salina, na qual poderia ser fechada/aberta a depender do valor de condutividade medido na Estação.

5) Definição dos novos procedimentos

A partir do funcionamento do sistema de monitoramento de condutividade, em 02/08/2021, o procedimento operacional de gestão da cunha salina foi revisado e aperfeiçoado resultando em dois procedimentos: um procedimento para os Analistas e um para os Operadores da ETA Reis Magos.

RESULTADOS

Os resultados estão apresentados conforme a etapalização da metodologia.

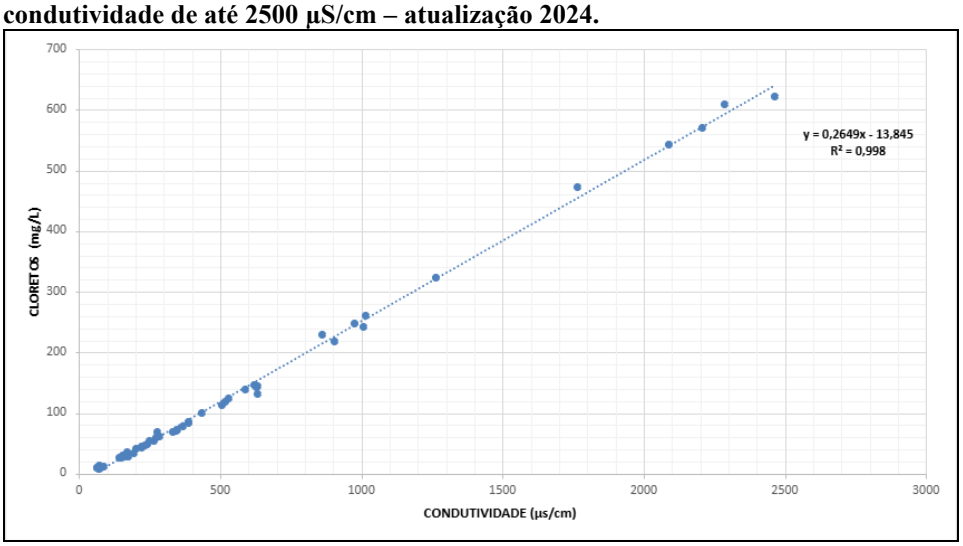
1) Correlação entre condutividade e cloretos

O Rio Reis Magos apresenta uma condutividade, sem intrusão da cunha salina, variando de 50 a 70 µS/cm e uma concentração de cloretos de 7 a 10 mg/L. Desde o início da operação da ETA, no ano de 2017, até o ano de 2023 os máximos valores de condutividade registrados estavam em torno de 2.500 a 3.000 µS/cm.

Contudo, no ano de 2024, devido a uma escassez hídrica na Bacia do Rio Reis Magos, houve um significativo avanço da cunha salina na qual foram registrados os maiores valores de condutividade no Rio, chegando a 13.864 µS/cm no dia 18/09/2024.

A curva de correlação entre os resultados das análises de condutividade e de cloretos foi elaborada para uma condutividade de até 2.500 µS/cm, conforme apresentado na Figura 6. A curva apresentada está atualizada com os valores do ano de 2024.

Figura 6 - Correlação entre resultados de condutividade e cloretos no Rio Reis Magos para condutividade de até 2500 µS/cm – atualização 2024.

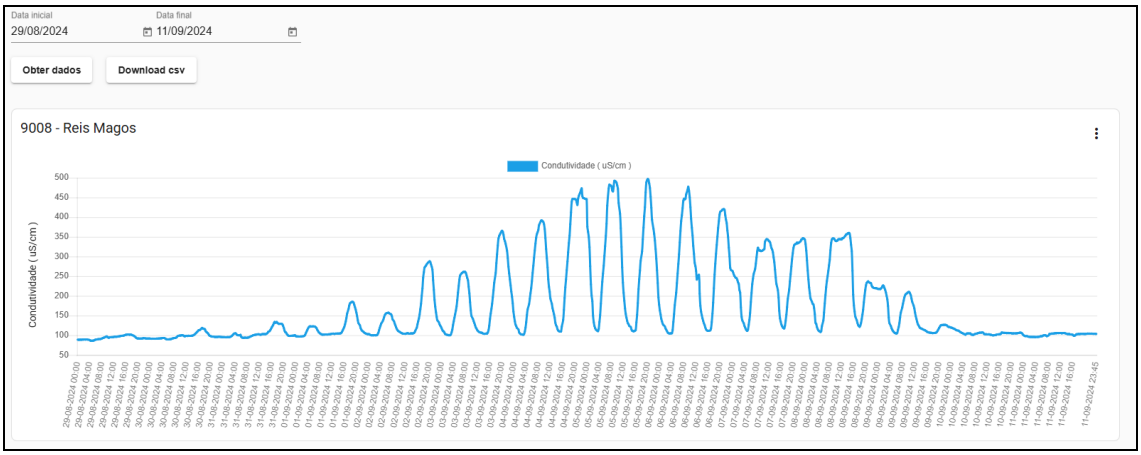


Através dos resultados de correlação apresentados na Figura 6, verifica-se que a concentração de cloretos será cerca de 250 mg/L (VMP da Portaria GM/MS nº 888/2021), quando a condutividade estiver entre 900 e 1000 µS/cm.

2) Aquisição, instalação e operacionalização da estação de condutividade

A Figura 7 apresenta uma imagem do site onde é realizado o monitoramento da condutividade. É possível acessar o site através de qualquer aparelho (computador ou celular, por exemplo) que tenha acesso à internet, não sendo necessário estar logado na rede da Companhia. Os usuários do sistema são os operadores, os técnicos, os analistas e os gestores responsáveis pela ETA Reis Magos.

Figura 7 - Imagem do site onde é realizado o acompanhamento dos valores de condutividade. Período:29/08 a 11/09/2024



3) Definição do valor de condutividade para interromper/retornar a captação

A Tabela 1 apresenta o resultado do teste expedito de percepção de sabor realizado na água tratada da ETA Reis Magos, em 12/11/2019, considerando o parâmetro condutividade.

Tabela 1: Resultado do teste expedito de percepção de sabor realizado na água tratada da ETA Reis Magos.

Horário	Condutividade (µS/cm)	Percepção de sabor salobro	Cloretos[1] (mg/L)
10:55	235	não perceptível	46
11:10	263	não perceptível	54
11:40	302	não perceptível	65
12:10	476	muito pouco perceptível	113
13:25	610	pouco perceptível	150
13:55	610	pouco perceptível	150
14:50	594	pouco perceptível	146
15:50	395	não perceptível	90

[1] Resultados de cloretos a partir da curva de correlação do ano de 2019.

Como a percepção de sabor é muito variável em cada pessoa, umas são mais sensíveis que outras, então a favor da segurança a equipe da operação da ETA Reis Magos, partir dos resultados da Tabela 1, no ano de 2019, definiu como referência para a tomada de decisão o valor de 300 µS/cm. Esse valor corresponde a aproximadamente 64 mg/L de cloretos, que está significativamente abaixo do VMP pela Portaria GM/MS nº 888/2021. Dessa forma, no ano de 2019 definiu-se que a captação da ETA seria interrompida quando a condutividade atingisse o valor de 300 µS/cm e seria retomada quando a condutividade estivesse abaixo dos 300 µS/cm.

No ano de 2022, foi alterado o valor de referência para paralisação/retorno da captação de forma a permitir que a ETA operasse por um tempo maior, e consequentemente não incorresse em desabastecimento da população, principalmente aquelas que não possuem reservatório de água em suas residências. Foram definidos dois valores distintos: 400 µS/cm para paralisação e 500 µs/cm para o retorno (quando os valores de condutividade estivessem em decaimento). Essa alteração no valor de referência não gerou reclamações pelos clientes com relação à percepção de sabor salobro na água. A Tabela 2 mostra, para um período crítico de avanço de cunha salina, o comparativo de tempo de paralisação da captação previsto, no procedimento antigo (sem a estação de condutividade), e realizado com o novo procedimento a partir da instalação da Estação de Condutividade.

Tabela 2 - Comparativo de tempo de paralisação da captação antes (com o procedimento antigo) e depois (com a instalação da Estação de Condutividade).

Data	Tempo de paralisação (horas)		Condutividade Máxima (µS/cm)	Condutividade de paralisação/retorno (µS/cm)
	Previsto com o procedimento anterior	Realizado com a Estação de Condutividade		
05/10/2021	3	0	227	300/300
06/10/2021	3	1	320	300/300
06/10/2021	3	0	232	300/300
07/10/2021	3	2	464	300/300
07/10/2021	3	0	238	300/300
08/10/2021	3	0	239	300/300
12/09/2022	3	2	784	300/300
12/09/2022	3	0	452	300/300
13/09/2022	3	3	957	300/300
13/09/2022	3	2	571	300/300
14/09/2022	3	3	796	300/300

Tabela 2 (cont.) - Comparativo de tempo de paralisação da captação antes (com o procedimento antigo) e

depois (com a instalação da Estação de Condutividade).

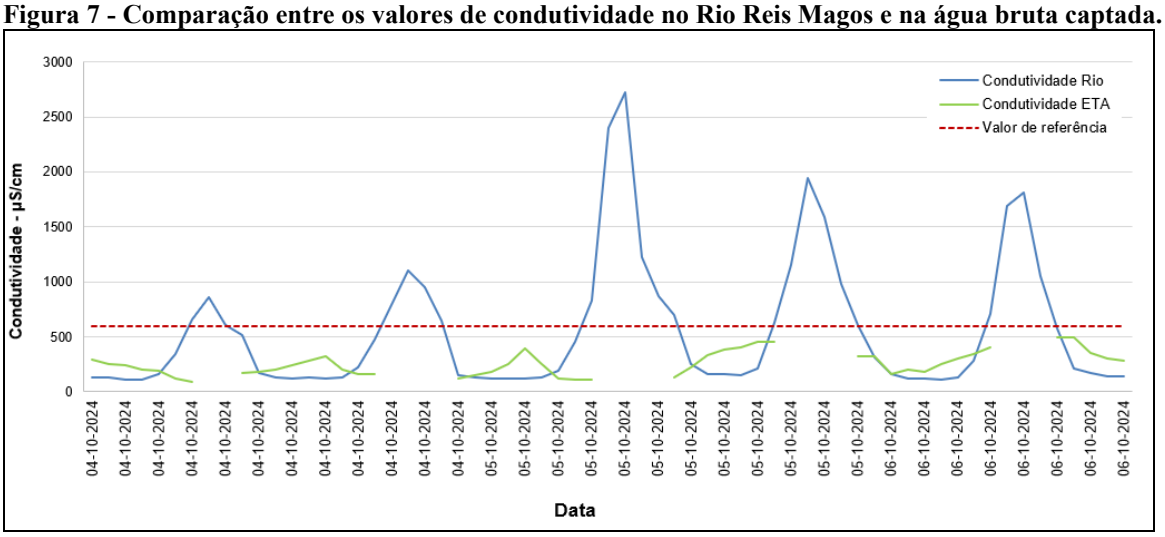
Data	Tempo de paralisação (horas)		Condutividade Máxima (µS/cm)	Condutividade de paralisação/retorno (µS/cm)
	Previsto com o procedimento anterior	Realizado com a Estação de Condutividade		
14/09/2022	3	0	259	300/300
24/09/2022	3	5	728	300/300
24/09/2022	3	5	887	300/300
25/09/2022	3	3	1181	400/500
25/09/2022	3	5	1247	400/500
26/09/2022	3	7	1643	400/500
26/09/2022	3	5	1585	400/500

Verifica-se, a partir da Tabela 2, que a instalação da Estação de Condutividade trouxe segurança operacional para a captação e tratamento da água na ETA Reis Magos, tendo em vista que são evitadas tanto paralisações desnecessárias, quanto captação de água com valores altos de condutividade, como por exemplo no dia 26/09/2022 no qual a ETA ficou 7 horas sem captar água devido aos valores elevados de condutividade.

Já no ano de 2024, devido a uma escassez hídrica na Bacia do Rio Reis Magos foi novamente alterado o valor de referência onde ficou definido que a captação da ETA seria interrompida quando a condutividade atingisse o valor de 600 µS/cm e seria retomada quando a condutividade estivesse abaixo dos 600 µS/cm. Também não foram recebidas reclamações pelos clientes de percepção de sabor salobro na água, complementando, os resultados do teste expedito apresentado na Tabela 1.

A Figura 7 apresenta uma comparação, para o ano de 2024, entre os valores de condutividade no Rio Reis Magos (monitorados pela Estação de Condutividade) e os valores de condutividade medidos na água bruta captada. As "falhas" na série de condutividade da ETA (linha verde) indicam os momentos de paralisação da captação da água bruta quando a condutividade no Rio atinge o valor de 600 µS/cm.

Figura 7 - Comparação entre os valores de condutividade no Rio Reis Magos e na água bruta captada.



Verifica-se, a partir da Figura 7, que o procedimento adotado de paralisação/retorno da captação com 600 µS/cm de condutividade manteve a condutividade da água captada em valores inferiores a 500 µS/cm. Dessa forma, fica validado que o valor de condutividade de 600 µS/cm é um valor seguro para a definição de parada/retomada da captação da ETA Reis Magos.

4) Instalação de comporta no Canal de Captação

A instalação da comporta foi realizada no final do ano de 2020, entretanto até o ano de 2024 não houve a necessidade de operacionalizá-la, tendo em vista que os procedimentos de paralisação/retomada da captação estavam funcionando perfeitamente, já que com a interrupção do bombeamento de água, cessava-se o fluxo de entrada da água no canal de captação. A Figura 8 apresenta uma foto da comporta instalada na entrada do canal de captação da ETA Reis Magos.

Figura 8 – Comporta instalada na entrada do canal de captação da ETA Reis Magos



Contudo, em 18/09/2024, mesmo com a paralisação da captação quando a condutividade registrou 600 µS/cm, foi identificada a entrada da cunha salina no canal de captação da ETA Reis Magos. O evento ocorrido foi resultado do processo de difusão dos íons cloretos de um meio mais concentrado (o Rio Reis Magos) para um menos concentrado (o canal de captação), em decorrência do maior avanço da cunha salina, uma vez que a vazão do Rio Reis Magos foi a menor já registrada desde o início da operação da ETA. Nesta data, a condutividade do Rio chegou ao valor de 13.864 µS/cm, conforme apresentado na Figura 9 e no canal de captação a condutividade variou de 998 a 3320 µS/cm, conforme apresentado na Figura 10.

Figura 9 - Imagem do site onde é realizado o acompanhamento dos valores de condutividade. Período:15/09 a 22/09/2024

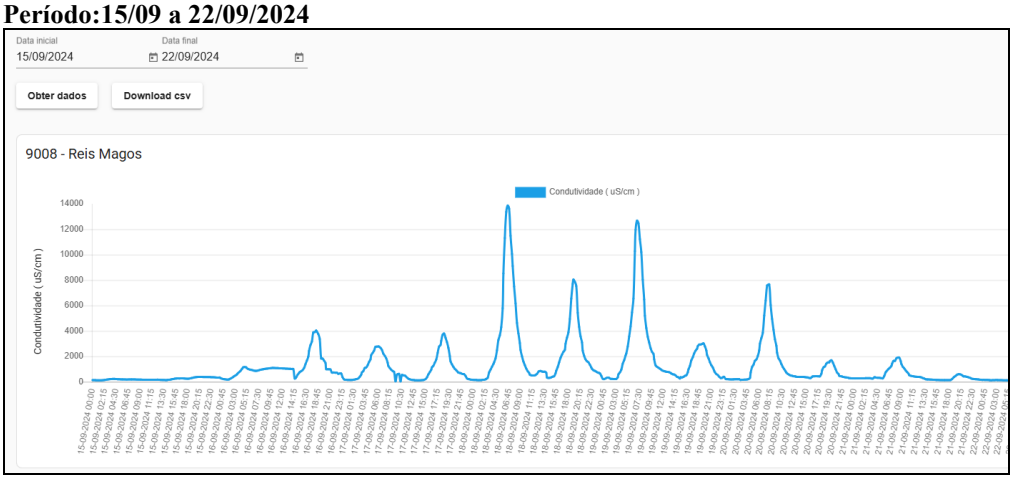
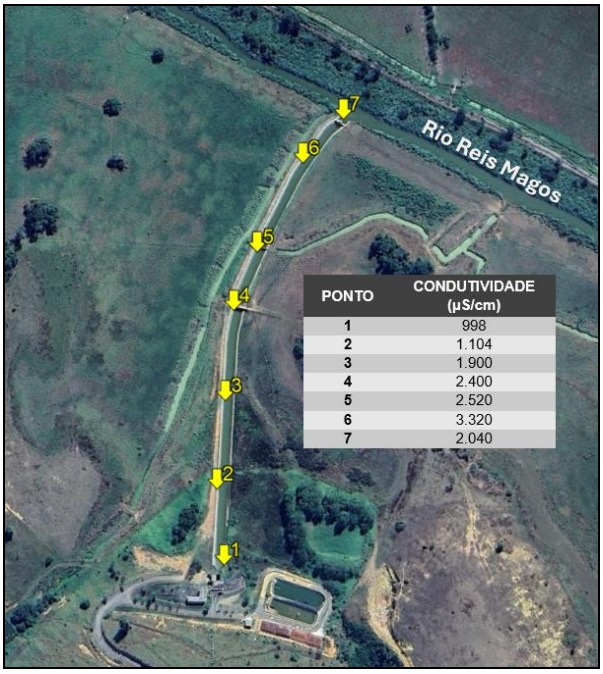


Figura 10 – Variação da condutividade ao longo do Canal de Captação no dia 18/09/2024.



Uma vez que os operadores da ETA Reis Magos estão bem capacitados e atentos ao período da intrusão salina, não houve distribuição de água fora dos padrões da Portaria GM/MS nº 888/2021 e a população foi abastecida pelo SAA Santa Maria enquanto a água do canal fosse drenada e o sistema reestabelecido.

A Tabela 3 apresenta os valores das vazões mínimas e da condutividade máxima do Rio Reis Magos registrados anualmente. Verifica-se, nitidamente, que em 2024 a maré teve maior força para entrar no estuário do Rio Reis Magos devido às menores vazões de água doce.

Tabela 3 – Vazões mínimas e condutividade máxima do Rio Reis Magos registrados anualmente.

ANO	VAZÃO MÍNIMA	CONDUTIVIDADE MÁXIMA
2019	906 L/s (21% Q90*)	2.882 µS/cm
2022	1.020 L/s (24% Q90)	1.950 µS/cm
2024	640 L/s (15% Q90)	13.864 µS/cm

*Q90 - vazão que é igualada ou superada em 90% do tempo em um rio ou curso d'água.

Assim, diante desse novo risco da difusão dos íons de cloreto ao longo do canal de captação, e a partir do histórico de condutividade do Rio Reis Magos x condutividade da ETA, adotou-se o procedimento de fechamento/abertura da comporta quando fosse registrado na Estação de Condutividade o valor de 3000 µS/cm.

4) Definição dos novos procedimentos

Como resumo dos novos procedimentos operacionais estabelecidos tem-se:

O Analista deve:

- Classificar o nível de criticidade para o avanço da cunha salina em função dos fatores ambientais (nível do rio, amplitude e horário das marés de sizígia) e definir o período de atenção em relação ao aumento da condutividade na entrada do Canal de Captação.
- Enviar boletins informativos ao gestor operacional e aos operadores da ETA sobre a possível necessidade de paralisação da captação, a partir da classificação do nível de criticidade, para que seja

dada maior atenção ao acompanhamento da movimentação da cunha salina e a necessidade de operacionalização da comporta.

- Informar ao gestor o período provável da necessidade de complementação da distribuição de água pelo Sistema Santa Maria (acionamento do booster).

O Operador da ETA deve:

- Acompanhar os valores de condutividade no Rio Reis Magos através do site da Estação de Condutividade.
- Paralisar a captação quando a condutividade atingir valor de condutividade definido pela equipe técnica. Os valores vigentes, a partir de setembro/2024, são:
    - A captação deverá ser paralisada quando **condutividade ≥ 600 µs/cm**
    - A captação será retornada quando **condutividade < 600 µs/cm,** quando os valores de condutividade estivessem na curva de decaimento
- Iniciar procedimentos de operacionalização da comporta:
    - O fechamento da comporta deve ser realizado quando **condutividade ≥ 3000 µs/cm**
    - A abertura da comporta deve ser realizada quando **condutividade < 3000 µs/cm,** quando os valores de condutividade estivessem na curva de decaimento

CONCLUSÕES

A adoção do parâmetro condutividade para o monitoramento da movimentação da cunha salina e a tomada de decisão, em relação ao abastecimento de água, foi uma decisão assertiva. A implantação da Estação de Condutividade como ferramenta para a gestão da salinidade na captação da ETA Reis Magos tem obtido resultados exitosos uma vez que, desde a sua implantação não houve captação e/ou distribuição de água com sabor salobro para a população.

Para ETAs em situações semelhantes, recomenda-se a elaboração de uma correlação entre condutividade e cloretos para cada manancial de captação, bem como a realização de teste de percepção de sabor, pois a população de cada localidade já está habituada a um sabor da água "típico". Entretanto, a correlação estabelecida para a ETA Reis Magos pode fornecer uma referência para outras ETAs a iniciarem o processo de gestão da cunha salina.

Para o sistema de gestão da cunha salina implantado, trabalhou-se com a compatibilização da necessidade operacional (captar água com qualidade) e com a variação dos fatores ambientais (hidrodinâmica dos rios e do mar) que não são possíveis de intervir a curto e médio prazo. Trata-se de um procedimento necessário para o fornecimento de água a uma população de aproximadamente 110 mil habitantes em conformidade com os padrões de potabilidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRASIL. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, 29 p. Disponível em: https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562. Acesso em 1 nov. 2022.