

Plano de Monitoramento da Qualidade da Água para Consumo Humano PMQACH

Recomendações para a revisão Bianual do PMQACH

Maio 2023

Plano de Monitoramento da Qualidade da Água para Consumo Humano PMQACH

Recomendações para a revisão Bianual do PMQACH

Maio 2023

Apoio:



SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1 - APRESENTAÇÃO..... | 1 |
| 2 - EQUIPE TÉCNICA..... | 3 |
| 3 - OBJETIVOS..... | 4 |
| 4 - RECOMENDAÇÕES PARA REVISÃO DO PMQACH..... | 5 |
| 4.1 - Parâmetros..... | 5 |
| 4.1.1 - Giardia spp. e Cryptosporidium spp. | 5 |
| 4.1.2 - Demais parâmetros..... | 6 |
| 4.2 - Malha amostral | 7 |
| 4.3 - Frequência de amostragem | 8 |
| 4.3.1 - Frequência de amostragem em pontos sem tratamento | 9 |
| 4.3.2 - Frequência de amostragem em pontos com tratamento..... | 9 |
| 5 - PRINCIPAIS RECOMENDAÇÕES PARA A 2ª REVISÃO BIANUAL DO PMQACH..... | 10 |
| 6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 11 |



LISTA DE QUADROS

| | |
|----------------------------------|---|
| Quadro 2-1 - Equipe técnica..... | 3 |
|----------------------------------|---|

LISTA DE FIGURAS

Figura 4-1 - Esquema ilustrando modificações à frequência amostral após a 1ª Revisão do PMQACH. Notas se referem a legislação aplicada.....8



PLANO DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO - PMQACH
Plano de Monitoramento da Qualidade da Água para Consumo Humano - PMQACH
4106-00-DIV-RL-0002-00

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 **Avaliação Espaço temporal para SAI SAC e SAA e análises estatísticas**

1 - APRESENTAÇÃO

O Plano de Monitoramento da qualidade da água para consumo humano (PMQACH) é realizado nos municípios impactados pelo rompimento da barragem de Fundão, ocorrido em 5 de novembro de 2015 e que tiveram os sistemas de abastecimento de água atingidos direta ou indiretamente. O monitoramento acontece nos sistemas de abastecimento de água com ou sem tratamento e nas soluções alternativas coletivas e individuais.

Os objetivos do PMQACH são a prevenção de riscos à saúde humana em decorrência de possíveis alterações na qualidade da água e a verificação das melhorias dos sistemas de tratamento e abastecimento de água, descritos na Cláusula 171 do Termo de Transação de Ajustamento de Conduta-TTAC. A partir desses objetivos e de deliberações CIF e Notas Técnicas da CT Saúde foram definidas as bases mínimas do PMQACH e os pontos de monitoramento, o PMQACH teve início em setembro de 2018.

Em março de 2020, o monitoramento foi interrompido em decorrência do isolamento imposto pela pandemia de COVID-19, sendo retomado em 29/06/2020, em 56 pontos previamente selecionados pela CT-Saúde. O último relatório anual, que considerou o período de julho de 2021 a julho de 2022, apresentou resultados de 281 pontos amostrais. Destaca-se que em agosto de 2021 foi protocolada a primeira revisão bianual do PMQACH, contendo as diretrizes e etapas previstas para o monitoramento corrente, que teve início em janeiro de 2022.

Os parâmetros atualmente monitorados estão de acordo com a legislação vigente, sendo dividido da seguinte forma:

| Sistema | Tipo de captação (origem da água) | Ponto de coleta | Parâmetro | Ponto avaliado | Resolução aplicada | Frequência |
|----------------|-----------------------------------|---|---|----------------|---------------------------------------|---|
| Com tratamento | Subterrânea | Captação subterrânea | pH, microbiológico, parâmetros organolépticos e substâncias químicas que representam risco à saúde (exceto orgânicos) | Captação | CONAMA n° 396/2008 | Mensal - período seco e quinzenal - período chuvoso |
| | | Saída do sistema de abastecimento e solução alternativa | pH, microbiológico, parâmetros organolépticos e substâncias químicas que representam risco à saúde (exceto orgânicos) | Saída | Artigo n° 43, Portaria MS n° 888/2021 | |
| | Superficial | Captação superficial | pH, microbiológico, parâmetros organolépticos e substâncias químicas que representam risco à saúde (exceto orgânicos) Clorofila-a, cianobactérias, cianotoxinas Giardia spp e Cryptosporidium spp. | Captação | CONAMA n° 357/2005 | |
| | | Saída do sistema de abastecimento e solução alternativa | pH, microbiológico, parâmetros organolépticos e substâncias químicas que representam risco à saúde (exceto orgânicos) | Saída | Artigo n° 43, Portaria MS n° 888/2021 | |
| Sem tratamento | Superficial e subterrânea | Saída do sistema de abastecimento e solução alternativa | pH, microbiológico, parâmetros organolépticos e substâncias químicas que representam risco à saúde (exceto orgânicos) | Saída | Artigo n° 43, Portaria MS n° 888/2021 | Mensal |
| | Superficial | Saída de solução alternativa, quando captação superficial | pH, microbiológico, parâmetros organolépticos e substâncias químicas que representam risco à saúde (exceto orgânicos) Clorofila-a, cianobactérias, cianotoxinas Giardia spp. e Cryptosporidium spp. | Saída | Artigo n° 43, Portaria MS n° 888/2021 | |

2 - EQUIPE TÉCNICA

A seguir é apresentado o **Quadro 2-1** da equipe técnica da WSP Brasil.

Quadro 2-1 - Equipe técnica.

| PROFISSIONAL DA WSP BRASIL | FORMAÇÃO | FUNÇÃO | REGISTRO GERAL/CTF IBAMA |
|------------------------------------|--|---|-----------------------------------|
| Déborah Regina de Oliveira e Silva | Bióloga, mestre e doutora em Ecologia, Conservação e Manejo de Vida Silvestre (UFMG) | Gerente | CRBio 87804/04 CTF 5810376 |
| Maria Isabel de Almeida Rocha | Bióloga (UNIRIO), mestre e doutora em Biofísica (UFRJ) | Análise dos dados e elaboração do Relatório | CRBio 29943/02 CTF 7176839 |
| Clarice Casa Nova dos Santos | Bióloga (UNIRIO), mestre em Ecologia (UFRJ) e doutora em Ecologia (UFRJ) | Análise dos dados e elaboração do Relatório | CRBio:126.349/02-D CTF 5685234 |
| Marina Xavier | Engenheira química (UFF) | Análise de dados | CREA-RJ 2023101531 |



3 - OBJETIVOS

O objetivo deste documento é apresentar a CT-Saúde, de forma pontual e justificada tecnicamente, as recomendações de ajustes e otimização para a Segunda Revisão Bianual do PMQACH, visando sugerir adequações nos parâmetros, frequência e malha amostral atualmente implementadas pelo programa, para atender de forma eficiente os seus objetivos.

4 - RECOMENDAÇÕES PARA REVISÃO DO PMQACH

4.1 - Parâmetros

4.1.1 - *Giardia* spp. e *Cryptosporidium* spp.

O monitoramento de *Giardia* spp. e *Cryptosporidium* spp. ocorre nos pontos de SAA (Sistema de Abastecimento de Água), onde são registrados resultados de *E. coli* com médias geométricas móvel ao longo de 12 meses consecutivos for maior ou igual a 1000 NMP/100mL (Portaria GM/MS 888/2021, art. 29). Esses microrganismos são vinculados a falta de saneamento, provocando contaminação das águas para consumo humano.

Levando-se em conta que existe relação de resultados desses microrganismos com *E. coli*, uma vez que sua avaliação é determinada pelo aumento contínuo desse tipo de bactéria (*E. coli*), deve-se tomar como base algumas particularidades:

- Bactérias *E. coli* pertencem ao grupo dos coliformes termotolerantes, cujo habitat exclusivo é o intestino humano e de animais homeotérmicos, onde ocorrem em densidades elevadas (CONAMA 357/2005);
- Artigos científicos indicam que existe uma relação direta entre a densidade de *E. coli* e a turbidez da água (Cinotto, 2005, Smith et al. 2008, Khedikar et al., 2021).

Seguindo essas premissas, uma avaliação regular e frequente de *E. coli* e de turbidez seriam suficientes para investigar contaminação por esgoto na água para consumo humano em ambientes com ou sem tratamento. Além disso, a Portaria n. 888 GM/MS determina que em sistemas de tratamento com filtração, os ensaios exigidos para *Giardia* spp. e *Cryptosporidium* spp. são dispensados, quando há a comprovação de resultados de turbidez inferior a 0,3 uT (Art. 29, §11º), mais uma vez dando indícios de uma relação próxima entre a presença de microrganismos de interesse sanitário e a turbidez.

Nos pontos onde de *Giardia* spp. e *Cryptosporidium* spp. foram monitorados durante a vigência do PMQACH, não houve quantificação de resultados para ambos os organismos. Isso indica que ou os (oo)cistos desses microrganismos não chegam ao sistema de tratamento ou, quando chegam, a remoção foi eficiente nas ETAs avaliadas.

Considerando que: i) as análises da turbidez e de *E. coli* são avaliações confiáveis para investigação de contato da água com esgoto sanitário, ii) monitoramento de *Giardia* spp. e *Cryptosporidium* spp. não apresentaram resultados quantificáveis nas análises realizadas até o momento e, iii) a presença desses microrganismos na água estão relacionadas a falta de saneamento básico, recomenda-se a exclusão da contabilização desses microrganismos no monitoramento do PMQACH.

4.1.2 - Demais parâmetros

A NT n° 54/2021-CT Saúde que define as bases mínimas para a revisão de 2 anos do PMQACH, utilizou como critério para reformulação dos parâmetros monitorados, aqueles que tiveram resultados abaixo do LQ durante o período monitorado, conforme indicado no seguinte trecho:

“Por oportuno, informa-se que durante os dois primeiros anos de monitoramento, constatou-se que diversos parâmetros tiveram resultados satisfatórios durante todas as campanhas. Mediante isso, considera-se apropriada a retirada dos seguintes parâmetros (...)”

Esses dados foram apresentados a CT-Saúde nos relatórios de 2020-2021 e de 2021-2022. Seguindo essa linha, analisando os parâmetros que apresentaram resultados considerados satisfatórios durante, pelo menos, 75% do período monitorado a partir da segunda revisão bianual (a partir de janeiro/2022), recomenda-se a exclusão do monitoramento dos seguintes parâmetros: amônia e nitrito, antimônio total, arsênio total, cádmio total, chumbo total, , cobre dissolvido e total, cromo total, mercúrio total, selênio total, urânio total e cianotoxinas (microcistinas e saxitoxinas). Além desses, recomenda-se a

exclusão de *Giardia* spp. e *Cryptosporidium* spp., como indicado no item 4.1.1 - *Giardia* spp. e *Cryptosporidium* spp.

4.2 - Malha amostral

Baseando-se nos resultados encontrados na avaliação da variação de dados ambientais dos pontos do tipo SAI (**Anexo 1**) é importante tecer algumas considerações importantes para a revisão bianual do PMQACH. A variação de dados ambientais nos pontos pertencentes a atual malha amostral do PMQACH foi pequena e a maioria dos pontos monitorados foram similares, justificando a exclusão dos pontos com esse tipo de abastecimento (SAI).

Complementando a análise estatística, a NT n° 54/2021-CT Saúde, define que nos pontos onde os monitoramentos foram interrompidos devido a pandemia, identificados na 17ª Planilha, deveriam ser retomados, contemplando as 24 coletas, conforme trecho abaixo:

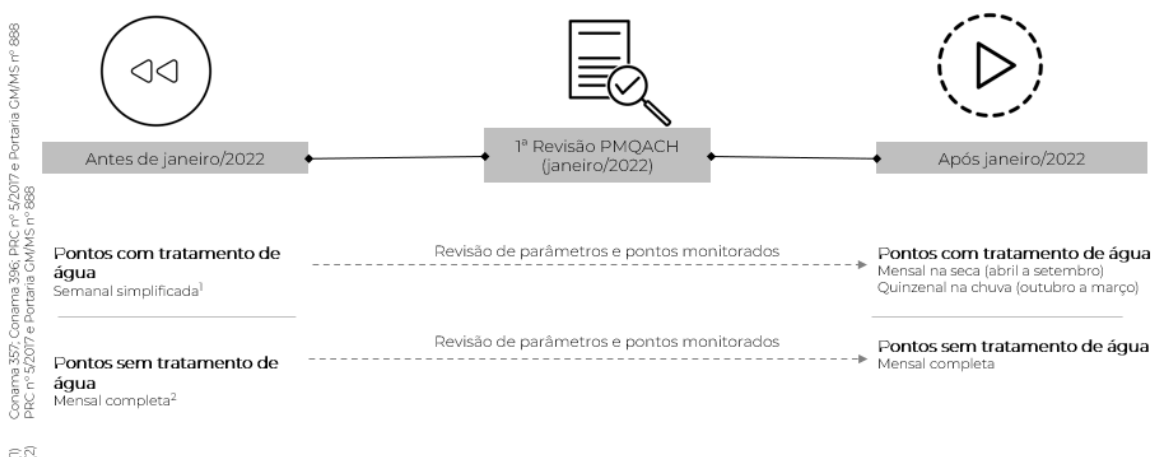
Considerando-se a interrupção do monitoramento em alguns pontos de coleta, devido a pandemia, para os pontos relativos aos locais de monitoramento identificados na 17ª planilha, deverão ser contempladas as 24 coletas, conforme Portaria GM/MS n.888, de 04 de maio de 2021, que altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação n. 5/2017.

O monitoramento nesses pontos está sendo realizado de forma contínua e, dessa forma, após o término das 24 campanhas, deverão ser excluídos da malha amostral do PMQACH. Após um período de 2 anos sendo monitorados, entende-se que esses pontos possuem a caracterização adequada da água para eventuais tomadas de decisão quanto a destinação do uso da água. Reforça-se que, de acordo com a Portaria GM/MS n.888/2021, a água deve ser utilizada para consumo somente após o tratamento e não houve alterações relevantes no período de 2 anos que justifique a continuidade do monitoramento.

4.3 - Frequência de amostragem

A frequência amostral é um importante aspecto a ser considerado para uma proposta eficiente para o monitoramento da qualidade da água (Sanders & Adrian 1978; Strobl & Robillard, 2008). Neste contexto, é essencial a contínua reavaliação da efetividade da frequência de amostragem, levando em consideração os diferentes tipos de captação, abastecimento e tratamento realizado nos pontos monitorados do PMQACH. Após a primeira revisão bianual do PMQACH, iniciada em janeiro de 2022, foram consideradas as particularidades de cada um dos sistemas de abastecimento, com a adequação proposta de monitoramento, conforme mostrado na **Figura 4-1**.

Figura 4-1 - Esquema ilustrando modificações à frequência amostral após a 1ª Revisão do PMQACH. Notas se referem a legislação aplicada.



Desta maneira, após análise e avaliação estatística dos dados disponíveis (**Anexo 1**) observa-se que a adequação da frequência amostral é possível, de modo a, continuamente, permitir a comparação e monitoramento da qualidade da água para consumo humano. Em pontos com tratamento (tipo SAA e SAC), o monitoramento da qualidade da água é prevista por lei para garantir a qualidade da água veiculada para consumo.

O PMQACH possui um banco de dados contendo um histórico de monitoramento, sendo importante, periodicamente, uma avaliação estatística para verificar as redundâncias do programa ou a necessidade de manutenção de frequência e pontos amostrais. Os resultados apresentados a seguir são uma síntese do que foi observado nas análises estatísticas que estão detalhadas no **Anexo 1**.

4.3.1 - Frequência de amostragem em pontos sem tratamento

Como mencionado no item 4.2 - Malha amostral, indica-se o encerramento das atividades nos pontos de monitoramento do tipo SAI, cujo tratamento é ausente. Da mesma forma, os pontos sem tratamento indicados na 17^a planilha de revisão terão seu monitoramento encerrado após 24 meses de campanhas.

A avaliação estatística evidenciou a proximidade espaço temporal dos valores registrados durante o monitoramento, indicando que o monitoramento sendo realizado a cada trimestre não provocará perdas nos resultados obtidos. Sendo assim, os pontos sem tratamento que serão mantidos após a 2^a Revisão Bianual do PMQACH devem ser monitorados trimestralmente.

4.3.2 - Frequência de amostragem em pontos com tratamento

Na análise de dados obtidos nos pontos ‘ativos’ da malha amostral não foi possível observar diferenças significativas entre meses monitorados, porém nota-se alterações significativas na variação de dados obtidos entre os trimestres (**Anexo 1**). Estes resultados sugerem que durante o período seco, em pontos com tratamento, o monitoramento seja feito na frequência trimestral.

Adicionalmente, no período chuvoso, esses pontos são, atualmente, monitorados quinzenalmente cada quinzena. No entanto, não foram observadas diferenças estatísticas significativas na variação de dados ambientais entre as quinzenas amostradas (**Anexo 1**). Este resultado possibilita a alteração da frequência de amostragem: de quinzenal para mensal.

5 - PRINCIPAIS RECOMENDAÇÕES PARA A 2ª REVISÃO BIANUAL DO PMQACH

- Finalização do monitoramento de *Giardia* spp. e *Cryptosporidium* spp., visto que o monitoramento foi realizado frequentemente por mais de 1 ano, apresentando todos os resultados abaixo do limite de quantificação. Além disso, os resultados de turbidez na saída do tratamento, podem suprimir os ensaios com *Giardia* spp. e *Cryptosporidium* spp., tal como previsto na legislação;
- Exclusão do monitoramento dos seguintes parâmetros: amônia e nitrito, antimônio total, arsênio total, cádmio total, chumbo total, cobre dissolvido e total, cromo total, mercúrio total, selênio total, urânio total e cianotoxinas (microcistinas e saxitoxinas) nos pontos amostrais em que são monitorados. Essa recomendação é feita porque esses parâmetros apresentaram resultados satisfatórios durante o período avaliado a partir da 1ª revisão bianual, sendo oportuna a sua retirada, tal como citado na NT n. 54/2021, do CT-Saúde, que utilizou do mesmo critério;
- Exclusão do monitoramento dos pontos SAI, visto que não foram observadas alterações nas variações dos dados ambientais. Além do embasamento estatístico, considera-se que no período monitorado os pontos amostrais SAI foram caracterizados a contento;
- Alteração de frequência de amostragem para trimestral para os pontos sem tratamento; - Alteração de frequência de amostragem para mensal durante o período chuvoso em pontos com tratamento, com base nas análises estatísticas apresentadas (**Anexo 1**);
- Alteração da frequência de amostragem para trimestral durante o período seco em pontos SAA e SAC, com e sem tratamento, com base nas análises estatísticas apresentadas (**Anexo 1**).

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL (2005). Conselho Nacional do Meio Ambiente - Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Estabelece a classificação das águas doces, salobras e salinas do território nacional e determina as diretrizes e padrões para o seu enquadramento, bem como para o monitoramento de sua qualidade. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 18 mar. 2005. Seção 1, p. 58-63.

BRASIL (2018). Conselho Nacional do Meio Ambiente - Resolução CONAMA nº 396, de 3 de abril de 2018. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 4 abr. 2018. Seção 1, p. 63-65.

BRASIL (2021) Ministério da Saúde. Portaria GM/MS nº888 de 04 de maio de 2021. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 07 maio 2021. Seção 1, p. 127.

CINOTTO, P.J., (2005). Occurrence of fecal-indicator bacteria and protocols for identification of fecal-contamination sources in selected reaches of the West Branch Brandywine Creek, Chester County, Pennsylvania: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2005-5039, 91 p

ISHA P KHEDIKAR, A R TEMBHURKAR, KULDEEP R., DABHEKAR & B J GODBOLEY (2021) Effect of turbidity on survival of *Escherichia coli*, fecal coliform and total coliform in grey water by using solar disinfection (SODIS). 2021. Journal of Physics: Conference Series. doi:10.1088/1742-6596/1913/1/012068

SANDERS, T. G., & ADRIAN, D. D. (1978). Sampling frequency for river quality monitoring. *Water Resources Research*, 14(4), 569-576.

SMITH RP, PAIBA GA, ELLIS-IVERSEN J. (2008) Short communication: turbidity as an indicator of *Escherichia coli* presence in water troughs on cattle farms. *J Dairy Sci*. 2008 May;91(5):2082-5. doi: 10.3168/jds.2007-0597. PMID: 18420638.

STROBL, R. O., & ROBILLARD, P. D. (2008). Network design for water quality monitoring of surface freshwaters: A review. *Journal of environmental management*, 87(4), 639-648.

**Anexo 1 - Avaliação Espaço Temporal para SAI SAC e SAA e
Análises Estatísticas**

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 - APRESENTAÇÃO | 1 |
| 2 - OBJETIVO | 2 |
| 3 - METODOLOGIA | 3 |
| 3.1 - Análise dos Dados | 3 |
| 3.2 - Avaliação Espaço-Temporal da Qualidade da Água para Consumo Humano do PMQACH | 6 |
| 4 - RESULTADOS | 8 |
| 4.1 - Pontos sem tratamento | 8 |
| 4.2 - Pontos com tratamento | 18 |
| 5 - CONCLUSÕES | 24 |
| 6 - REFERÊNCIAS | 25 |



LISTA DE TABELAS

| | |
|---|---|
| Tabela 3-1 – Lista de pontos de monitoramento do PMQACH - Planilha 1. (1ª revisão bianual do PMQACH)..... | 3 |
|---|---|

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 4-1 – Diagrama da PCA realizada mostrando a contribuição de cada uma das variáveis testadas..... | 9 |
| Figura 4-2 - Diagrama da PCA realizada mostrando variação ambiental nos pontos analisados. | 11 |
| Figura 4-3 – Síntese esquemática dos resultados encontrados na análise estatística nos pontos SAI..... | 13 |
| Figura 4-4 – Variação do alumínio total, amônia como N, amônia como NH ₃ e sólidos dissolvidos totais entre seca e chuva nos pontos do tipo SAI do PMQACH. Barras simbolizam desvio padrão inferior e superior e pontos simbolizam valores <i>outliers</i> encontrados..... | 14 |
| Figura 4-5 – Variação do pH, turbidez, cromo total e chumbo total entre seca e chuva nos pontos do tipo SAI do PMQACH..... | 16 |
| Figura 4-6 – Diagrama da PCA realizada mostrando a contribuição das principais variáveis analisadas..... | 19 |
| Figura 4-7 - Síntese esquemática dos resultados encontrados na análise estatística nos pontos SAA e SAC no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro)..... | 21 |
| Figura 4-8 - Diagrama da PCA realizada mostrando a contribuição das principais variáveis analisadas..... | 22 |



PLANO DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO - PMQACH
Plano de Monitoramento da Qualidade da Água para Consumo Humano - PMQACH
4106-00-DIV-RL-0002-00

LISTA DE ANEXOS

Apêndice 1 Resultados das Análises estatísticas realizadas



1 - APRESENTAÇÃO

Monitoramentos ambientais robustos e de longo prazo são necessários, porém o desenho amostral deve ser revisto com frequência, para que o esforço amostral e a qualidade dos dados gerados estejam em harmonia. Uma frequência amostral inadequada, por exemplo, pode fornecer informações ambientais redundantes. Dessa forma, é importante reavaliar periodicamente a eficiência do monitoramento realizado, através do teste de resultados obtidos. Assim, o presente documento apresenta as análises estatísticas que embasaram as recomendações para a segunda revisão bianual do PMQACH.

2 - OBJETIVO

O principal objetivo deste documento Anexo é apresentar os resultados da avaliação estatística utilizada na recomendação da revisão do PMQACH, trazendo uma síntese da avaliação dos pontos monitorados após a 1º Revisão Bianual do PMQACH, realizada em 2021. Este documento busca justificar as seguintes recomendações: (i) interrupção do monitoramento dos pontos SAI, fechando o ciclo de 24 amostragens realizadas; (ii) alteração da frequência de monitoramento em pontos com tratamento de água (SAC e SAA); (iii) redução do número de parâmetros monitorados, com ênfase em metais e turbidez.

3 - METODOLOGIA

3.1 - Análise dos Dados

Para a avaliação da eficiência da malha e frequência amostral foram considerados os dados obtidos pelo PMQACH, desde setembro/2018 a junho/2022, exceto quando o recorte temporal necessário foi apenas referente ao período após a 1ª revisão bianual do PMQACH, realizada em janeiro/2022. Os pontos monitorados foram divididos por sistemas (principalmente pela forma de abastecimento – SAI, SAC ou SAA – e pelo tratamento – com e sem tratamento). Vale ressaltar que os pontos desconsiderados após a última revisão bianual não foram avaliados no presente documento. Os pontos considerados para a análise de dados estão apresentados na **Tabela 3-1**.

Tabela 3-1 – Lista de pontos de monitoramento do PMQACH - Planilha 1. (1ª revisão bianual do PMQACH).

| Nome | Código | Município | Forma de abastecimento | UTM (X) | UTM (Y) |
|--|------------------------|-------------------------|------------------------|---------|---------|
| SAA - Pedras - Mariana | PMQACH 230 | Mariana | SAA | 688566 | 7756013 |
| SAA - Borba - Mariana | PMQACH 238 | Mariana | SAA | 687793 | 7754024 |
| SAA - Reservatório de Paracatu de Baixo - Mariana | PMQACH 246 | Mariana | SAA | 684805 | 7753560 |
| SAA - Reservatório Camargos - Mariana | PMQACH 417 | Mariana | SAA | 666759 | 7757570 |
| SAA - Barra Longa | PMQACH 36 | Barra Longa | SAA | 705100 | 7756398 |
| SAA - P Tub 01 Gesteira - Barra Longa / SAA - P Tub 02 Gesteira - Barra Longa * | PMQACH 37/PMQACH 38 | Barra Longa | SAA | 695956 | 7759011 |
| SAA - Gesteira - Barra Longa * | PMQACH 39 | Barra Longa | SAA | 695956 | 7759011 |
| SAA - Santana - Mina Subterranea - Rio Doce | PMQACH 313 | Rio Doce | SAA | 720849 | 7762936 |
| SAA - Marimondo - POCO - Rio Doce | PMQACH 314 | Rio Doce | SAA | 720363 | 7762693 |
| SAA - Zito Soares - Santa Cruz do Escalvado | PMQACH 316 | Santa Cruz do Escalvado | SAA | 734581 | 7766688 |
| SAA - Merengo - Santa Cruz do Escalvado | PMQACH 317 | Santa Cruz do Escalvado | SAA | 728481 | 7770063 |
| SAA - Biboca - Sao Jose do Goiabal | PMQACH 328 | São José do Goiabal | SAA | 739401 | 7786264 |



PLANO DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO - PMQACH

Plano de Monitoramento da Qualidade da Água para Consumo Humano - PMQACH

4106-00-DIV-RL-0002-00

| Nome | Código | Município | Forma de abastecimento | UTM (X) | UTM (Y) |
|---|------------|-----------------------|------------------------|---------|---------|
| SAA - Lagoa das Palmeiras - Sao Jose do Goiabal | PMQACH 329 | São José do Goiabal | SAA | 752197 | 7797418 |
| SAA - COPASA - Santana do Paraíso | PMQACH 319 | Santana do Paraíso | SAA | 769800 | 7850878 |
| SAA - ETA Perpetuo Socorro - Belo Oriente | PMQACH 76 | Belo Oriente | SAA | 777097 | 7862518 |
| SAA - ETA Pedra Corrida - Periquito | PMQACH 297 | Periquito | SAA | 799248 | 7886487 |
| SAA - ETA de Alpercata | PMQACH 02 | Alpercata | SAA | 185395 | 7897577 |
| SAA - Eta Santa Rita - Governador Valadares | PMQACH 134 | Governador Valadares | SAA | 186015 | 7907536 |
| SAA - Eta Recanto Sonhos - Governador Valadares | PMQACH 135 | Governador Valadares | SAA | 204230 | 7911972 |
| SAA - Eta Vila Isa - Governador Valadares | PMQACH 136 | Governador Valadares | SAA | 189226 | 7909545 |
| SAA - Eta Central - Governador Valadares | PMQACH 137 | Governador Valadares | SAA | 189543 | 7911798 |
| SAA - Eta Sao Vitor - Governador Valadares | PMQACH 138 | Governador Valadares | SAA | 215068 | 7909345 |
| SAA - ETA Tumiritinga | PMQACH 350 | Tumiritinga | SAA | 232140 | 7896020 |
| SAA - ETA Sao Tome - Tumiritinga | PMQACH 351 | Tumiritinga | SAA | 231910 | 7896015 |
| SAA - ETA Galileia | PMQACH 121 | Galileia | SAA | 232705 | 7896522 |
| SAA - ETA - Copasa - Resplendor | PMQACH 303 | Resplendor | SAA | 262835 | 7862455 |
| SAA - ETA - Copasa - Resplendor - cap alternativa *** | PMQACH 429 | Resplendor | SAA | 262824 | 7862450 |
| SAA - Itueta | PMQACH 158 | Itueta | SAA | 272116 | 7851078 |
| SAA - ETA Santo Antonio Rio Doce - Aimores ** | PMQACH 01 | Aimorés | SAA | 288460 | 7842628 |
| SAA - Aimores - Sede - Captacao - Aimores ** | PMQACH 416 | Aimorés | SAA | 282135 | 7842275 |
| SAA - ETA Sede - Baixo Guandu | PMQACH 34 | Baixo Guandu | SAA | 288881 | 7841535 |
| SAA - ETA Mascarenhas - Baixo Guandu | PMQACH 35 | Baixo Guandu | SAA | 298136 | 7842383 |
| SAA - ETA I - Colatina | PMQACH 107 | Colatina | SAA | 327719 | 7838721 |
| SAA - ETA II - Colatina | PMQACH 108 | Colatina | SAA | 328196 | 7840219 |
| SAA - ETA IV - Colatina | PMQACH 109 | Colatina | SAA | 321294 | 7839901 |
| SAA - ETA IFES - Colatina | PMQACH 110 | Colatina | SAA | 315159 | 7843134 |
| SAA - ETA Itapina - Colatina | PMQACH 111 | Colatina | SAA | 310310 | 7839670 |
| SAA - SAAE - Sede - Linhares | PMQACH 163 | Linhares | SAA | 370680 | 7846607 |
| SAA - ETA Regencia - Linhares | PMQACH 164 | Linhares | SAA | 413586 | 7827817 |
| SAA - SAAE - Povoacao - Linhares | PMQACH 184 | Linhares | SAA | 416702 | 7834884 |
| SAA - SAAE - Pontal do Ipiranga - Linhares | PMQACH 185 | Linhares | SAA | 425274 | 7876999 |
| SAA - ETA de Barra do Riacho - Aracruz | PMQACH 03 | Aracruz (Litoral Sul) | SAA | 388585 | 7807604 |
| SAA - ETA de Vila do Riacho - Aracruz | PMQACH 04 | Aracruz (Litoral Sul) | SAA | 390738 | 7815852 |
| SAC - C Pipa - Ponte do Gama - Mariana | PMQACH 423 | Mariana | SAC | 666759 | 7757570 |



| Nome | Código | Município | Forma de abastecimento | UTM (X) | UTM (Y) |
|--|------------|----------------------------|------------------------|-------------|-------------|
| SAC - Prefeitura - Sao Lourenco - Bugre | PMQACH 414 | Bugre | SAC | 777495 | 7861791 |
| SAC - Reservatório Prefeitura | PMQACH 415 | Fernandes Tourinho | SAC | 800000 | 7885535 |
| SAC - Bonisenha - Reservatorio - Marilandia | PMQACH 253 | Marilândia | SAC | 341716 | 7841904 |
| SAC - Daianny B Barbosa - Batista - Marilandia | | Marilândia | SAC | 350022.0444 | 7840167.659 |
| SAC - Emeief Maria Coutinho - Sao Mateus | PMQACH 330 | São Mateus (Litoral Norte) | SAC | 418005 | 7909240 |
| SAC - Simone Silva - Linhares | PMQACH 194 | Degredo | SAC | 424039 | 7865258 |
| SAC - Benedito Borges - Linhares | PMQACH 212 | Degredo | SAC | 424682 | 7872937 |
| SAC - Maria da Penha Borges Carapina - Linhares | PMQACH 214 | Degredo | SAC | 424656 | 7872150 |
| SAI - Bar do Mel - Pedro Costa - Linhares | PMQACH 190 | Degredo | SAI | 424160 | 7863734 |
| SAI - Leocadio Leite Costa - Linhares | PMQACH 191 | Degredo | SAI | 423662 | 7863265 |
| SAI - Marli Araujo dos Santos - Linhares | PMQACH 192 | Degredo | SAI | 423485 | 7863124 |
| SAI - Carlos Pereira - Linhares | PMQACH 193 | Degredo | SAI | 423942 | 7862346 |
| SAI - Luiza Leite - Linhares | PMQACH 197 | Degredo | SAI | 425590 | 7860171 |
| SAI - Joao Carlos Henrique - Linhares | PMQACH 198 | Degredo | SAI | 425840 | 7858668 |
| SAI - Daniel - Vila - Linhares | PMQACH 199 | Degredo | SAI | 423869 | 7859730 |
| SAI - Sidneia - Vila - Linhares | PMQACH 200 | Degredo | SAI | 423979 | 7859492 |
| SAI - Eliana - Vila - Linhares | PMQACH 201 | Degredo | SAI | 423720 | 7859941 |
| SAI - Ivanete da Vitoria Borges - Linhares | PMQACH 202 | Degredo | SAI | 423740 | 7859851 |
| SAI - Ednalva - Paulinho - Vila - Linhares | PMQACH 203 | Degredo | SAI | 423732 | 7859819 |
| SAI - Ademar da Vitoria Borges - Vila - Linhares | PMQACH 204 | Degredo | SAI | 423798 | 7859827 |
| SAI - Cristovao Cordeiro de Lima - Linhares | PMQACH 205 | Degredo | SAI | 424988 | 7865325 |
| SAI - Raiane Eusebio - Linhares | PMQACH 206 | Degredo | SAI | 424169 | 7865848 |
| SAI - Eliete Alves - Linhares | PMQACH 207 | Degredo | SAI | 424688 | 7866233 |
| SAI - Ailton Penha Leite - Linhares | PMQACH 208 | Degredo | SAI | 424486 | 7869923 |
| SAI - Antonio Silverio - Linhares | PMQACH 209 | Degredo | SAI | 424482 | 7875762 |
| SAI - Jose Borges Pinto - Linhares | PMQACH 211 | Degredo | SAI | 424809 | 7873294 |

(*) Os pontos SAA - P Tub 01 Gesteira - Barra Longa / SAA - P Tub 02 Gesteira - Barra Longa são a captação do ponto SAA - Gesteira - Barra Longa, formando apenas um sistema;

(**) Aimorés - SAA - Sede - Captação - Aimorés - ponto referente a coleta de captação do SAA - ETA Santo Antonio Rio Doce - Aimorés. Coleta apenas de captação realizada na ETA da sede do município;

(***) SAA - ETA - Copasa - Resplendor - cap alternativa - ponto referente a captação alternativa do ponto SAA - ETA - Copasa - Resplendor,. Coleta realizada somente na captação.

Os parâmetros com mais de 75% de dados censurados (abaixo ou acima do limite de quantificação) não foram utilizados, sendo eles: Amônia (como N) (mg/L), Antimônio dissolvido (mg/L), Antimônio total (mg/L), Arsênio dissolvido (mg/L), Arsênio total (mg/L), Cadmio dissolvido (mg/L), Cadmio total (mg/L), Chumbo dissolvido (mg/L), Chumbo total (mg/L), Cianeto (mg/L), Clorofila a ($\mu\text{g/l}$), Cobre dissolvido (mg/L), Cromo dissolvido (mg/L), Cromo total (mg/L), Densidade de cianobactérias (cel/mL), Gosto e Odor (Intensidade), Mercúrio dissolvido (mg/L), Mercúrio total (mg/L), Microcistina ($\mu\text{g/l}$), Níquel dissolvido (mg/L), Níquel total (mg/L), Nitrito (como N) (mg/L), Nitrito (mg/L), Saxitoxinas totais ($\mu\text{g/l}$), Selênio dissolvido (mg/L), Selênio total (mg/L), Urânio dissolvido (mg/L), Urânio total (mg/L).

3.2 - Avaliação Espaço-Temporal da Qualidade da Água para Consumo Humano do PMQACH

Testes estatísticos não paramétricos foram aplicados para identificar diferenças significativas entre os resultados para cada parâmetro entre os diferentes períodos de amostragem (Kruskal-Wallis). De maneira geral, o teste de Kruskal-Wallis é uma maneira de descobrir se há diferenças estatisticamente significativas entre os grupos, sem fazer suposições sobre a distribuição dos dados. Se o valor p do teste for menor que o nível de significância escolhido (geralmente 0,05), podemos concluir que há diferenças estatisticamente significativas entre os grupos. Caso contrário, não há evidências estatísticas suficientes para rejeitar a hipótese de que não há diferenças entre os grupos.

Além disso, também foram realizadas análises multivariadas para examinar as interações complexas entre variáveis ambientais e as tendências de mudança ao longo do tempo e nos pontos analisados. Assim, Análises de Componentes Principais (PCA) foram utilizadas para observar padrões temporais e espaciais. Para a realização das análises PCA os dados foram normalizados e padronizados antes da realização do teste.

Cabe ressaltar, que a PCA é apresentada na forma de diagramas bidimensionais, onde são apresentados dois eixos (um eixo horizontal – x, e um eixo vertical- y), estes eixos podem ser interpretados como gradientes ambientais (ou componentes principais) formados pela variação dos múltiplos parâmetros incluídos nas análises. Estes parâmetros, por sua vez, têm sua representação por meio de vetores (as setas representadas na PCA), cuja proximidade com cada um dos eixos indica maior correlação com o gradiente observado. Já a posição dos pontos no gráfico indica como as observações estão relacionadas entre si, em termos das variáveis originais. Por exemplo, se dois pontos estão próximos um do outro, isso indica que as observações correspondentes têm valores semelhantes para as variáveis utilizadas. Se um ponto está afastado dos demais, isso pode indicar que essa observação tem valores muito diferentes para as variáveis.

As PCAs apresentam um percentual de explicabilidade da variação de dados observados, obtido para ambos os eixos representados. No entanto, a fim de complementar a visualização gráfica apresentada pelas PCAs, foram realizadas Análises Multivariadas de Variância Permutacional (PERMANOVA), para avaliar a significância da diferença entre grupos de amostras, considerando simultaneamente múltiplas variáveis dependentes ou respostas. Os resultados de uma PERMANOVA são geralmente apresentados em uma tabela, que contém as estatísticas de teste, os graus de liberdade e os valores de p. O valor de p é usado para determinar se as diferenças observadas entre os grupos são estatisticamente significativas.

Adicionalmente às análises realizadas, gráficos de dispersão e *boxplots* foram utilizados para mostrar a variação de parâmetros ao longo do tempo. Todas as análises foram realizadas utilizando-se a linguagem R (R Core Team, 2022) e através da utilização do pacote estatístico *vegan* (Oksanen et al. 2020).

4 - RESULTADOS

4.1 - Pontos sem tratamento

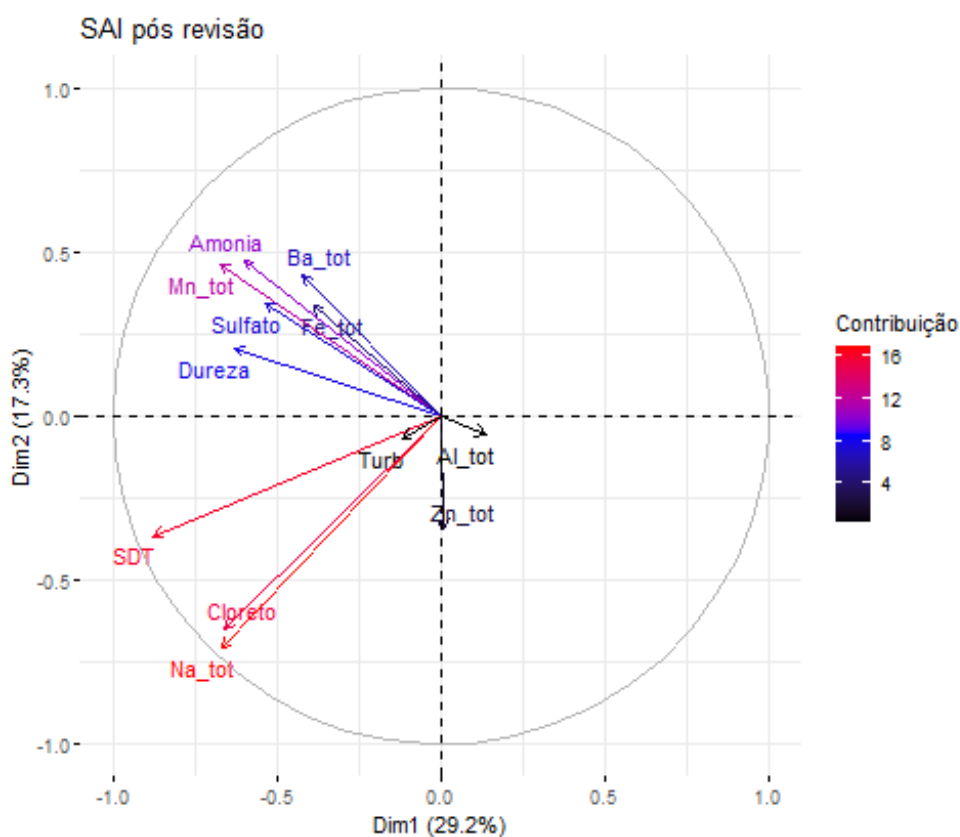
Os pontos sem tratamento, de abastecimento tipo SAI (soluções alternativas individuais) foram testados a fim de observar alterações sazonais (entre os períodos secos e chuvosos), espaciais e variações ao longo dos meses monitorados (mudanças temporais).

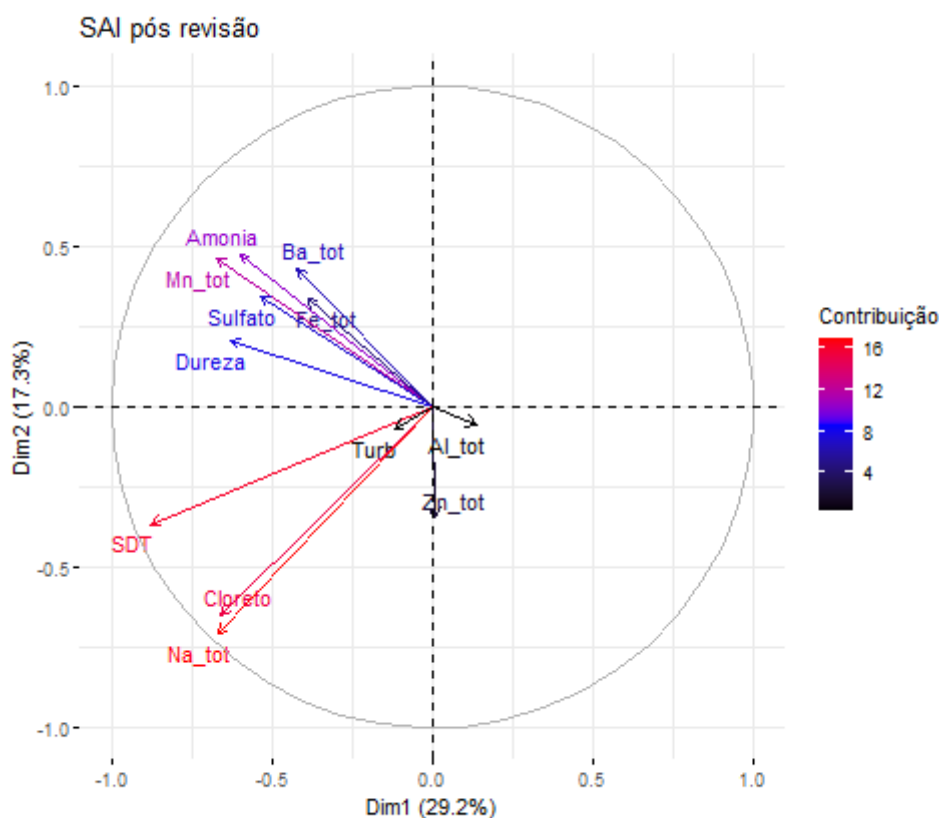
De maneira geral, na PCA realizada, observa-se que as variáveis que melhor explicaram a variação de dados ambientais nos pontos selecionados foram: sólidos dissolvidos totais, cloreto total e sódio total (**Figura 4-1**). A análise de ordenação explicou 46,53% da variação de dados ambientais nos pontos SAI nos dois primeiros eixos representados (no eixo x observa-se explicabilidade de 29,23%, e no eixo y de 17,30%).

O manganês total, o ferro total e amônia também foram importantes na explicação dos gradientes ambientais encontrados nos pontos SAI do PMQACH (**Figura 4-1**). No diagrama bidimensional apresentado, é possível observar ainda a correlação entre parâmetros como sólidos dissolvidos totais (SDT), turbidez e metais totais (bário, ferro e manganês, por exemplo). Esta correlação direta entre estas variáveis é vista devido à proximidade de seus vetores no diagrama de ordenação. O eixo horizontal, evidencia, portanto, um gradiente ambiental formado pela variação dos dados obtidos nos pontos do PMQACH principalmente relacionado à presença de sólidos dissolvidos e a ocorrência de incrementos na concentração de sódio total e cloreto total.

Figura 4-1 – Diagrama da PCA realizada mostrando a contribuição de cada uma das variáveis testadas.

Mn_tot = manganês total; Ba_tot= bário total; Fe_tot= ferro total; Amônia= amônia como N; SDT = sólidos dissolvidos totais; Cloreto = cloreto total; Na_tot= sódio total, Al_tot= alumínio total, Turb= turbidez; Zn_tot= zinco total.

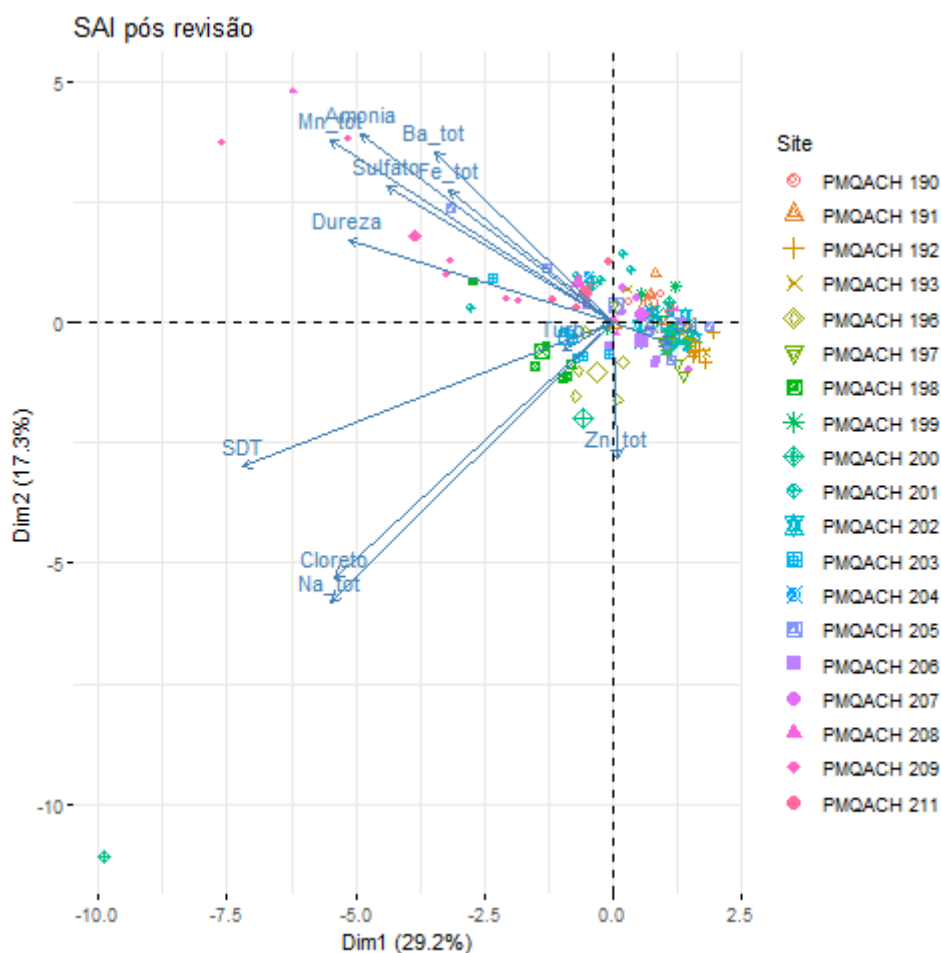


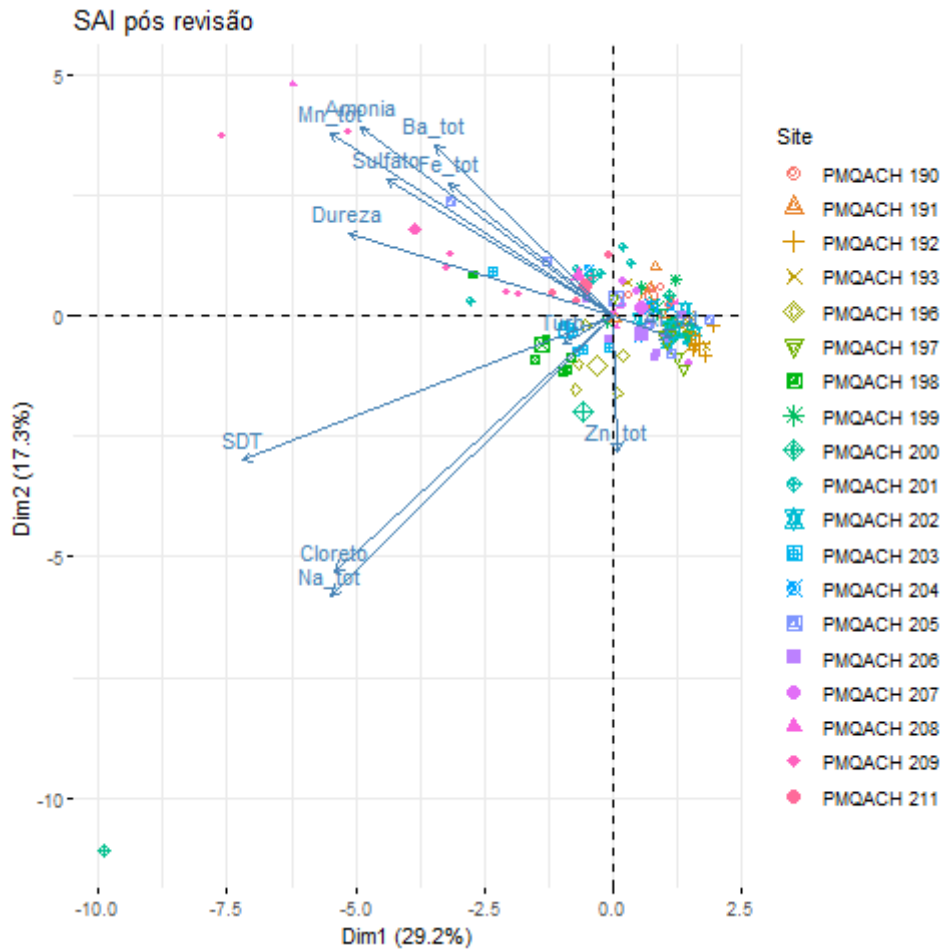


Na PCA realizada pode-se também observar as correlações espaciais às variáveis ambientais analisadas (**Figura 4-2**). Como explicado anteriormente, a proximidade de um determinado ponto a um vetor (variável ambiental-indicada nas setas/vetores) indica maior correlação positiva entre estes. Desta maneira, apesar de ser possível observar uma pequena variação ambiental nos pontos SAI analisados, a maioria dos pontos monitorados encontra-se aglomerado na nuvem de pontos notada próxima a origem do gráfico (cruzamento dos eixos horizontal e vertical). A pequena variação espacial notada, no entanto, refere-se aos maiores valores de amônia e alguns metais (manganês, bário e ferro), em alguns pontos isolados.

Figura 4-2 - Diagrama da PCA realizada mostrando variação ambiental nos pontos analisados.

Mn_tot = manganês total; Ba_tot= bário total; Fe_tot= ferro total; Amônia= amônia como N; SDT = sólidos dissolvidos totais; Cloreto = cloreto total; Na_tot= sódio total, Al_tot= alumínio total, Turb= turbidez; Zn_tot= zinco total.





Na PERMANOVA realizada nota-se variação geral de parâmetros ambientais nos pontos SAI do PMQACH. Os resultados da análise são mostrados no **Apêndice 1**, tabela S1. Ao analisarmos os resultados obtidos nas PERMANOVAs realizadas, é possível destacar que não houve diferenças estatisticamente significativas na variação de dados ambientais na interação entre os pontos, períodos e meses analisados (**Figura 4-3**), ou seja, não foi possível observar diferenças significativas na variação dos múltiplos parâmetros analisados nos pontos e períodos ($p > 0,05$). Assim como visualmente evidenciado na PCA, no entanto, observa-se pequenas variações pontuais em alguns parâmetros em pontos específicos, que contribuem para as diferenças estatísticas observadas na variação entre os pontos e entre os períodos (seco e chuvoso).

Figura 4-3 – Síntese esquemática dos resultados encontrados na análise estatística nos pontos SAI.

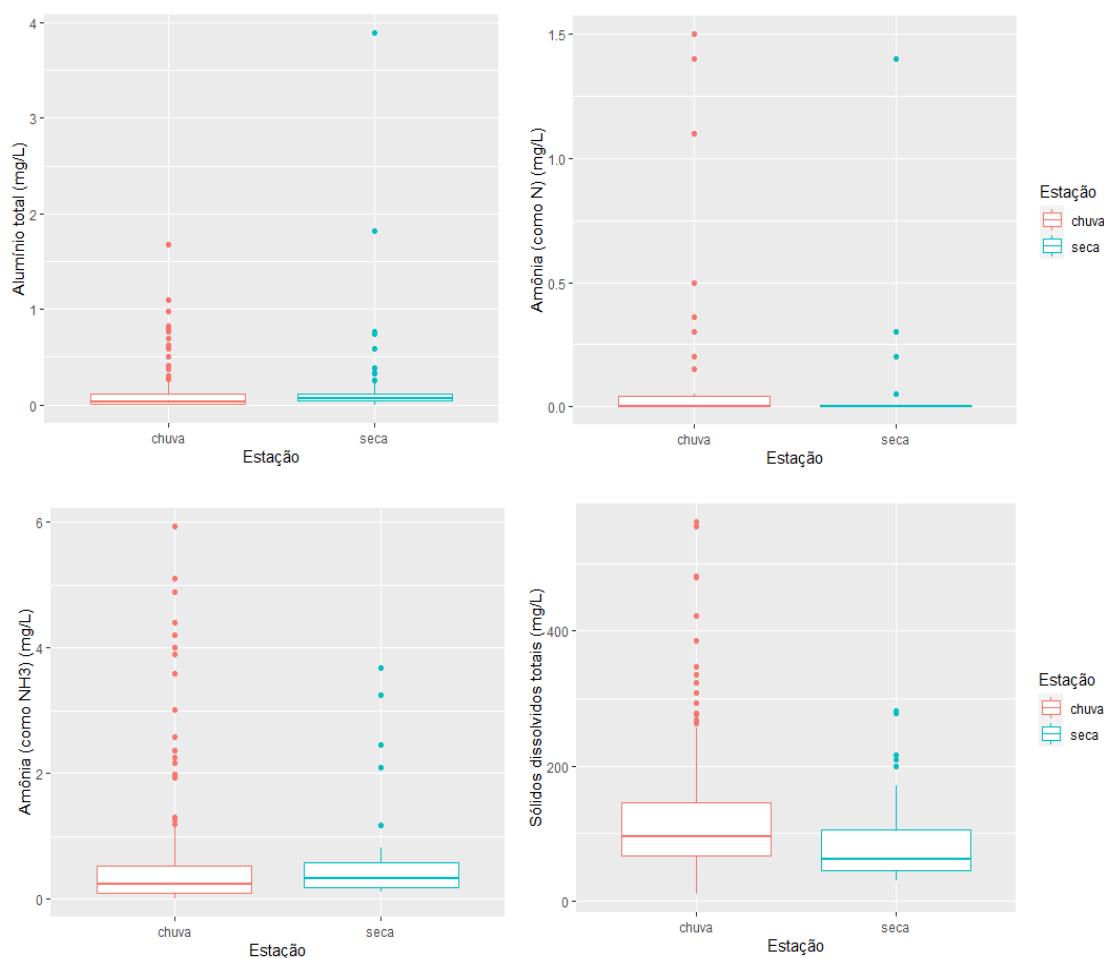
| Variação estatística em pontos SAI | | |
|------------------------------------|-----------------------|--------------------------|
| Tipo de variação | Valor de p encontrado | Interação significativa? |
| Entre os pontos ao longo dos meses | 0,42 | ⊘ |
| Apenas entre os pontos | 0,01 | ✓ |
| Apenas entre os períodos | 0,02 | ✓ |

| Variação estatística em pontos SAI | | |
|------------------------------------|-----------------------|--------------------------|
| Tipo de variação | Valor de p encontrado | Interação significativa? |
| Entre os pontos ao longo dos meses | 0,42 | ⊘ |
| Apenas entre os pontos | 0,01 | ✓ |
| Apenas entre os períodos | 0,02 | ✓ |

Por fim, em busca destas variações pontuais observadas nos modelos testados pela PERMANOVA, foram realizados testes não-paramétricos de variância (Kruskall-Wallis) tendo como variável respostas os parâmetros físicos e químicos e como fatores, os diferentes

períodos analisados (seco e chuvoso). A maioria das variáveis testadas não mostraram diferenças estatisticamente significativas ($p > 0,05$) entre os períodos analisados (seco/chuvoso), exceto: alumínio total, amônia (como N e como NH_3), chumbo total, cromo total, sólidos dissolvidos totais, turbidez e pH. Como observado nas **Figura 4-4** e **Figura 4-5**, esta pequena variação entre os períodos pontualmente e os valores discrepantes (ou outliers) são os principais motivadores destas diferenças estatísticas observadas.

Figura 4-4 – Variação do alumínio total, amônia como N, amônia como NH_3 e sólidos dissolvidos totais entre seca e chuva nos pontos do tipo SAI do PMQACH. Barras simbolizam desvio padrão inferior e superior e pontos simbolizam valores *outliers* encontrados.



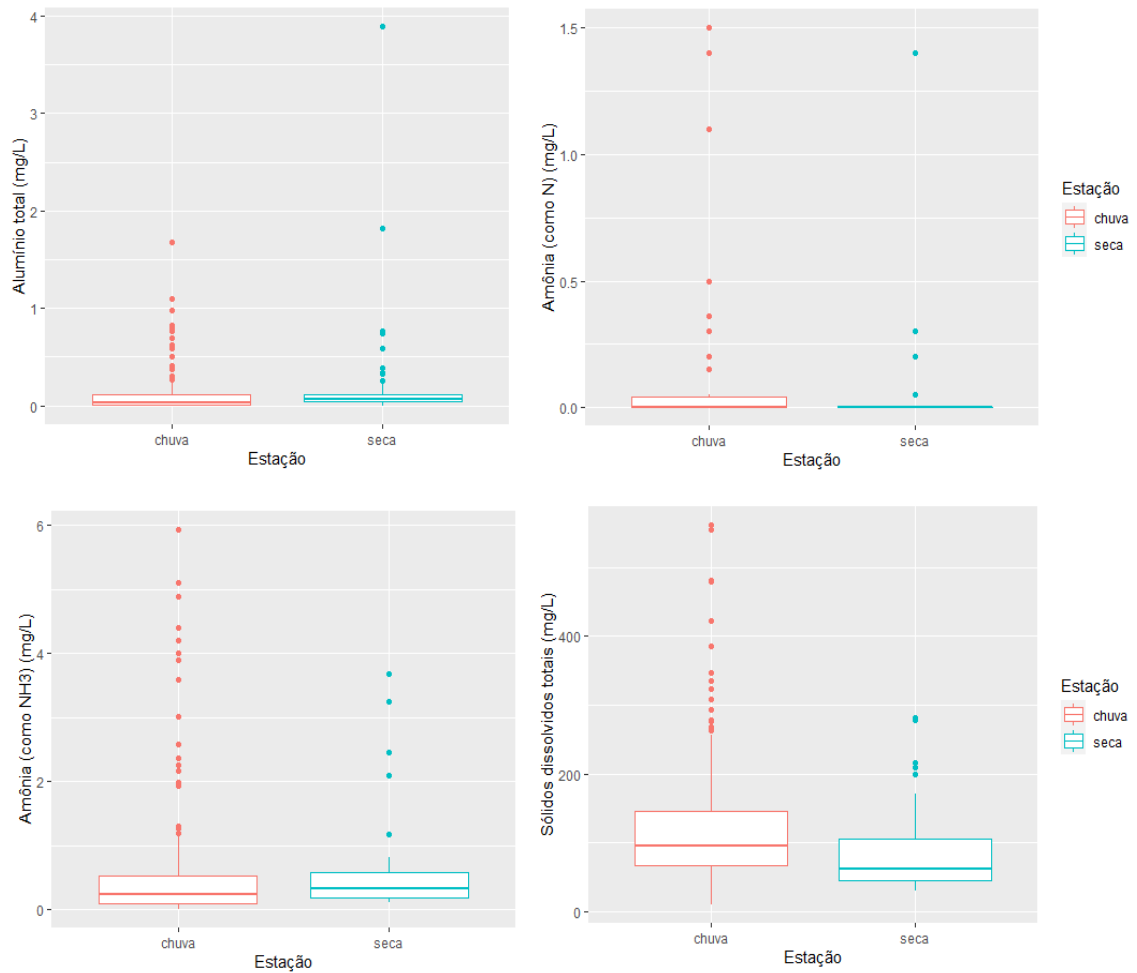
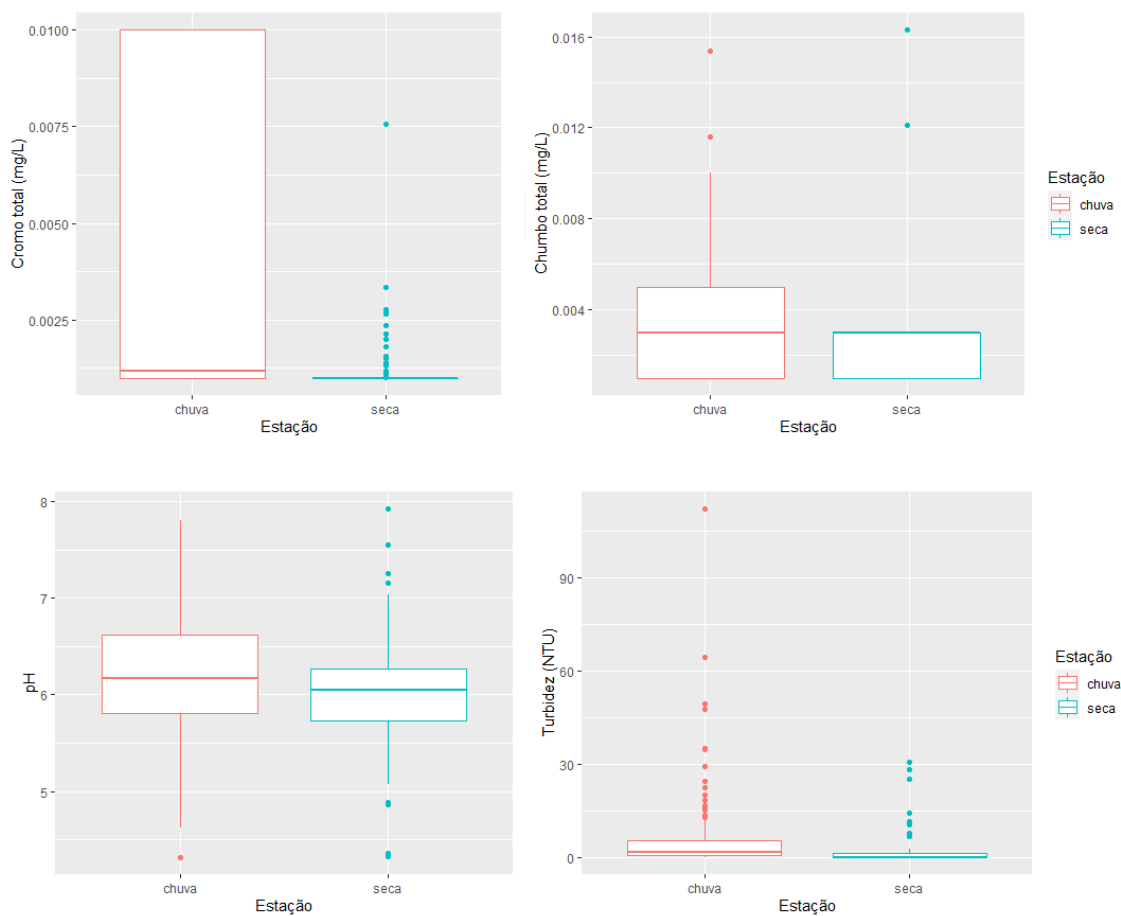
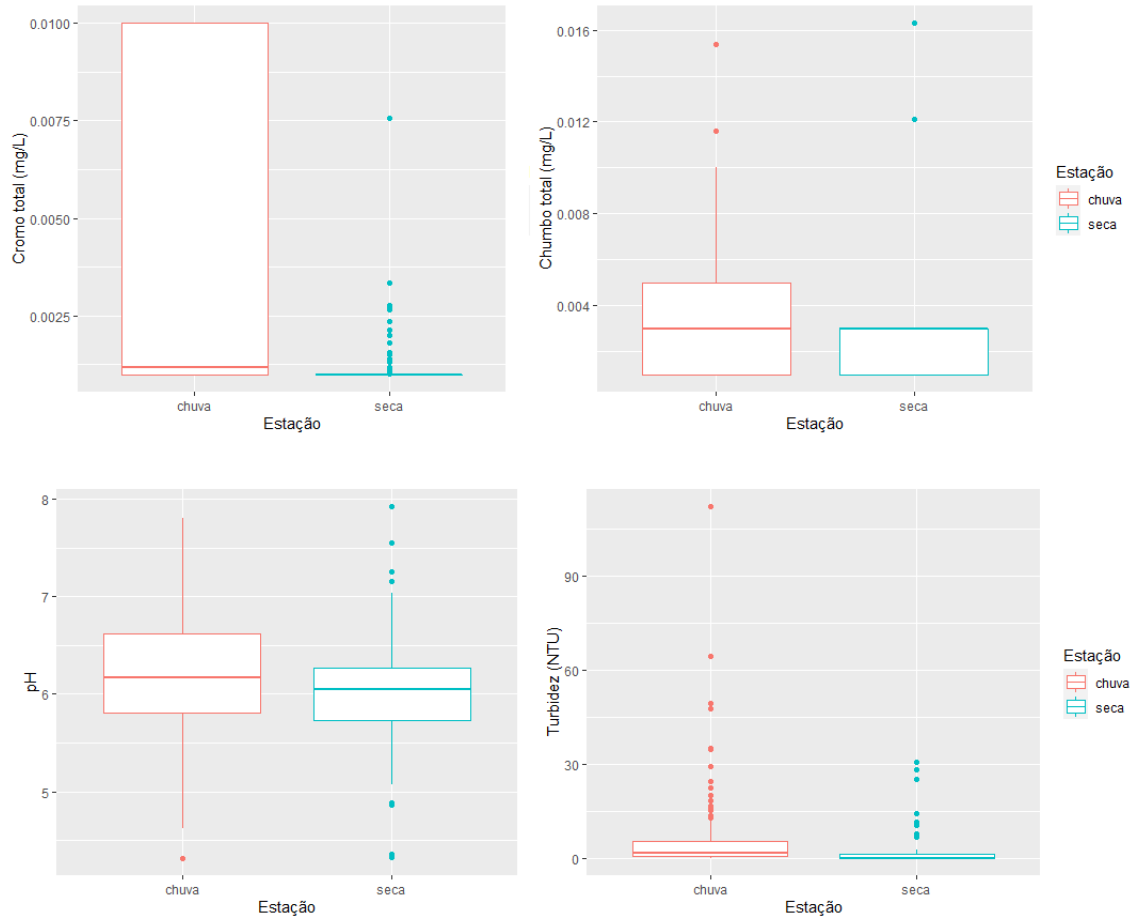


Figura 4-5 – Variação do pH, turbidez, cromo total e chumbo total entre seca e chuva nos pontos do tipo SAI do PMQACH.





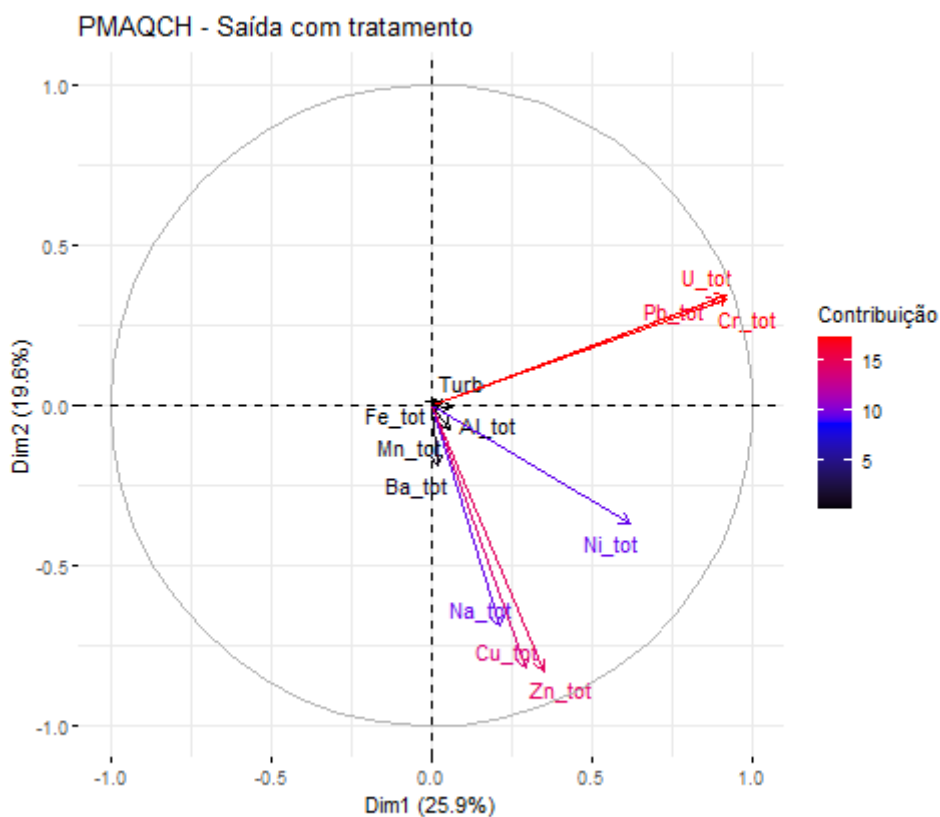
4.2 - Pontos com tratamento

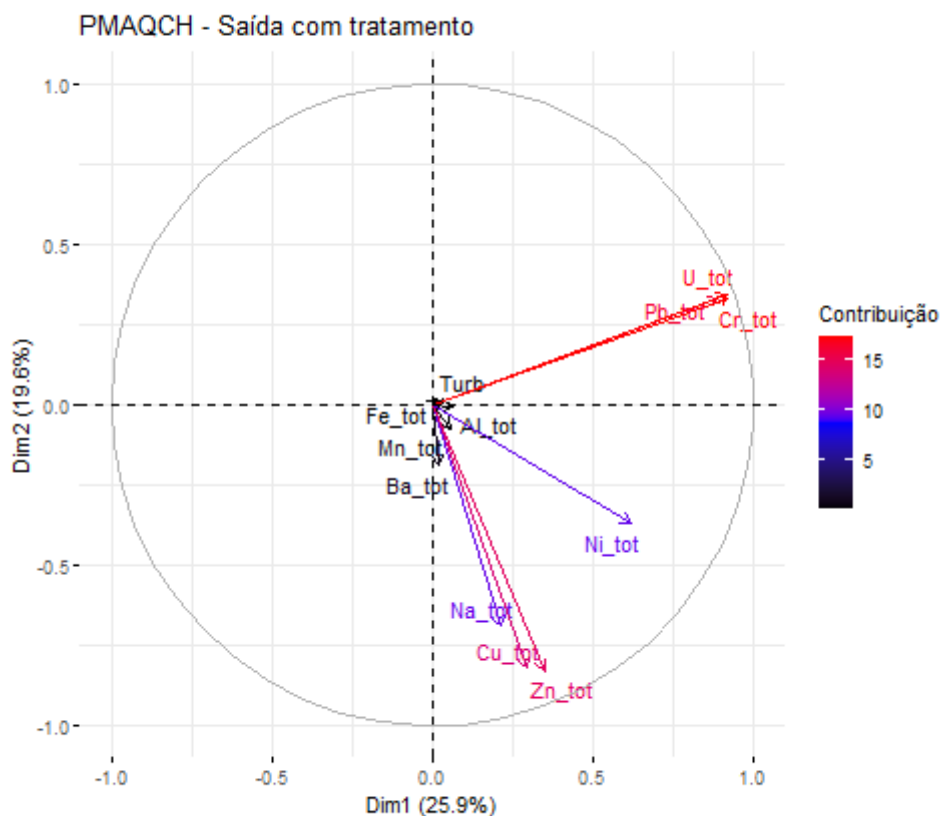
Os pontos com tratamento pertencentes ao PMQACH (após a revisão bianual) foram analisados na saída, a fim de buscar padrões de variação espaço-temporais.

A PCA realizada com os dados dos pontos ativos do PMQACH explicou nos seus dois primeiros eixos 45,42% da variação de dados ambientais nos pontos SAA e SAC analisados (**Figura 4-6**). No eixo horizontal (x) observa-se 25,87% de explicação e no eixo vertical (y) 19,55%. As variáveis que mais contribuíram para a explicação da variação observada foram, respectivamente: chumbo total, urânio total, cromo total, cobre total, zinco total, níquel total e sódio total. Apesar da pequena variação encontrada destes metais na série de dados analisada (variação majoritariamente abaixo dos limites preconizados pela legislação vigente para potabilidade da água para consumo humano), a presença de dados mensurados (e LQ) pode explicar a sua importância para a variação ambiental observada. Desta forma, aponta-se a importância preponderante da manutenção do monitoramento da série de metais, uma vez que eles são as principais variáveis cuja resposta pode ser evidenciada nos pontos de saída dos pontos com tratamento. Contudo, considerando que existem alguns metais/semimetais que foram poucas ou nenhuma quantificação e, ainda, que tais metais não foram utilizados nas análises estatísticas, recomenda-se que sejam excluídos do monitoramento os seguintes metais, semimetais e não metais: antimônio, arsênio, cádmio, chumbo, cobre, cromo, mercúrio, níquel, selênio e urânio.

Figura 4-6 – Diagrama da PCA realizada mostrando a contribuição das principais variáveis analisadas.

Mn_tot = manganês total; Ba_tot= bário total; Fe_tot= ferro total; Na_tot= sódio total, Al_tot= alumínio total, Turb= turbidez;
 Zn_tot= zinco total; Cu_tot= cobre total; Ni_tot= níquel total; U_tot= Urânio total; Cr_tot= cromo total; Pb_tot= mercúrio total





A PERMANOVA realizada com dados de todos os pontos “ativos” do PMQACH desde o início do monitoramento no período seco, mostra ainda que não houve diferença estatística entre os meses analisados, porém entre os trimestres já é possível observar alterações estatisticamente relevantes. Através destes resultados é possível apontar a eficiência do monitoramento trimestral para observar alterações na qualidade da água nestes pontos no período seco (**Figura 4-7, Tabela S2 - Apêndice 1**).

Adicionalmente, a PERMANOVA realizada com dados dos pontos “ativos” do PMQACH no período chuvoso, mostra que não houve diferenças estatísticas entre as quinzenas amostradas, mais uma vez ressaltando a efetividade de uma amostragem mensal, mesmo durante o período chuvoso (**Figura 4-7, Tabela S03 – Apêndice 1**).

Figura 4-7 - Síntese esquemática dos resultados encontrados na análise estatística nos pontos SAA e SAC no período chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro)

| Variação estatística em pontos com tratamento | | |
|---|-----------------------|--------------------------|
| Tipo de variação observada | Valor de p encontrado | Interação significativa? |
| Entre os trimestres no período seco | 0,002 | ✓ |
| Entre os meses no período seco | 0,12 | ⊘ |
| Entre as quinzenas no período chuvoso | 0,82 | ⊘ |
| Entre os meses no período chuvoso | 0,47 | ⊘ |

| Variação estatística em pontos com tratamento | | |
|---|-----------------------|--------------------------|
| Tipo de variação observada | Valor de p encontrado | Interação significativa? |
| Entre os trimestres no período seco | 0,002 | ✓ |
| Entre os meses no período seco | 0,12 | ⊘ |
| Entre as quinzenas no período chuvoso | 0,82 | ⊘ |
| Entre os meses no período chuvoso | 0,47 | ⊘ |

Por fim, a PCA realizada com os dados quinzenais do período chuvoso dos pontos com tratamento ativos do PMQACH ilustra esta similaridade observada na análise PERMANOVA mostrada anteriormente. Os dois primeiros eixos da PCA explicaram no total 44,9% da variação de dados ambientais (eixo X= 24,7%; eixo y= 20,2%). No diagrama plotado não é possível observar uma diferenciação clara entre as quinzenas analisadas (**Figura 4-8**), com a grande maioria dos pontos agrupadas em torno da origem do gráfico (cruzamento dos eixos horizontal e vertical). Em geral, houve pequena variação entre os pontos amostrais obtidos em

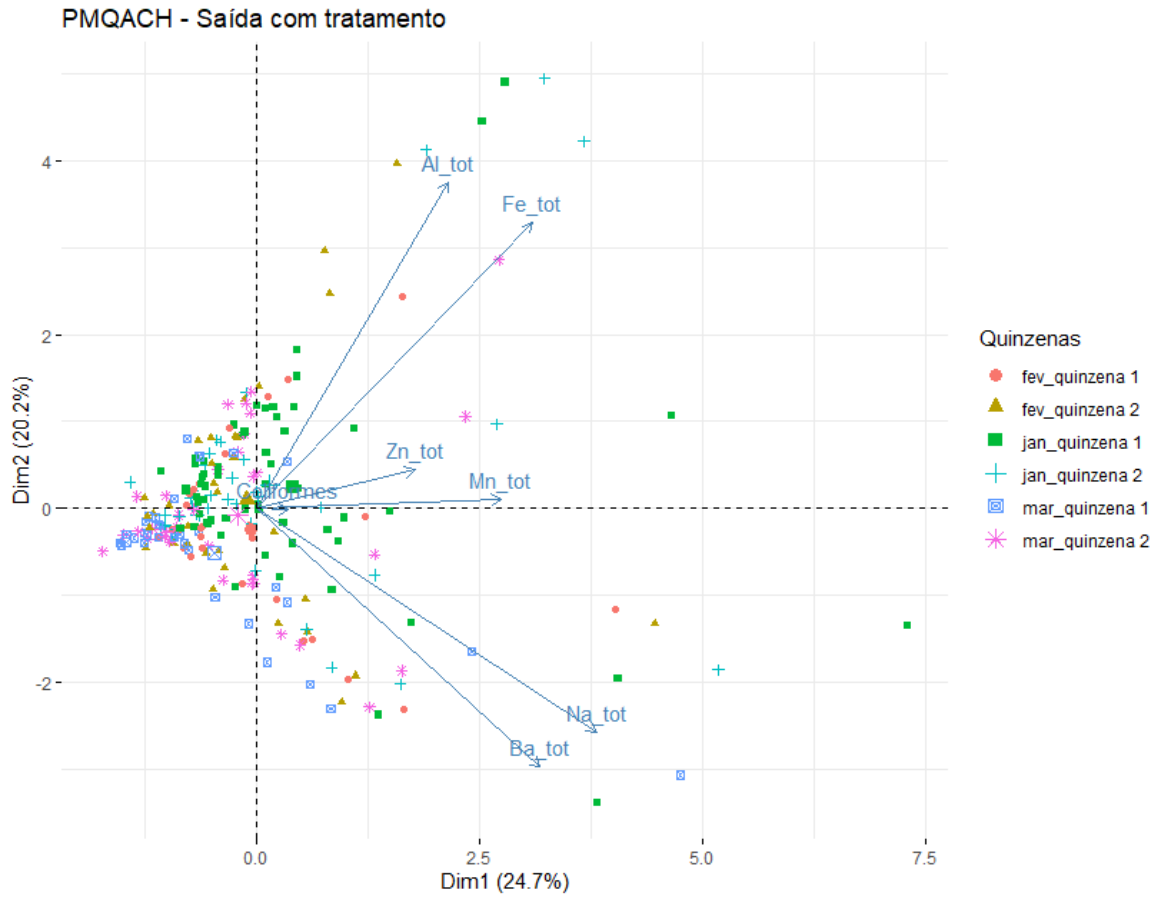
cada quinzena. Porém, é possível destacar a proximidade dos vetores relacionados a variação das concentrações de manganês total e zinco total ao eixo horizontal: o que indica um gradiente ambiental relacionado a estes parâmetros. Assim como a proximidade dos pontos relativos a janeiro (quinzena 1) indica maiores concentrações destas variáveis em amostras obtidas nesta quinzena.

Os resultados apresentados, a redundância dos dados quinzenais, que se apresentaram similares, corrobora para que o monitoramento no período chuvoso passe a ser mensal.

Figura 4-8 - Diagrama da PCA realizada mostrando a contribuição das principais variáveis analisadas.

Mn_tot = manganês total; Ba_tot= bário total; Fe_tot= ferro total; Na_tot= sódio total, Al_tot= alumínio total, Turb= turbidez; Zn_tot= zinco total; Cu_tot= cobre total; Ni_tot= níquel total; Colifomes = coliformes.





5 - CONCLUSÕES

O objetivo deste documento foi de analisar estatisticamente os dados do PMQACH de modo a apontar os principais resultados que justificam as recomendações para a revisão bianual deste Plano. Desta maneira, a análise estatística espacial e temporal dos pontos com e sem tratamento da atual malha amostral do PMQACH permitiram observar que:

1 – Em pontos sem tratamento, do tipo SAI, não foram observadas alterações contundentes na variação de dados ambientais.

2 – Em pontos com tratamento, dos tipos SAA e SAC, foram observadas variações temporais que confirmaram a importância do monitoramento continuado, porém evidencia também possíveis alterações na frequência amostral, que permitiram respostas e avaliações robustas da qualidade da água nos pontos monitorados.

Desta maneira, a análise de dados após tratamento estatístico permite sugerir as seguintes mudanças a ser tratadas no documento de Recomendações de Revisão Bianual do PMQACH:

- Devido à ausência de diferenças contrastantes nos pontos tipos SAI, e levando-se em consideração que estes pontos já são monitorados há mais de 2 anos, propõem-se o encerramento do monitoramento nestes pontos.
- Por não terem sido evidenciadas diferenças significativas entre os meses monitorados durante o período seco, é possível reduzir a frequência amostral em pontos com tratamento (SAA e SAC) para uma frequência trimestral (duas vezes durante o período seco).
- Por não terem sido evidenciadas diferenças significativas entre as quinzenas monitoradas durante o período chuvoso, é possível reduzir frequência de monitoramento: de quinzenal para mensal, durante o período chuvoso nos pontos com tratamento de água.

6 - REFERÊNCIAS

R Core Team (2022). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

Oksanen, J.; Blanchet, G; Friendly, M; Kindt, R; Legendre, P; et al. (2020). vegan: Community Ecology Package. R package version 2.5-7. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>

Apêndice 1 - Resultados das Análises Estatísticas Realizadas



PLANO DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO - PMQACH
Plano de Monitoramento da Qualidade da Água para Consumo Humano - PMQACH
4106-00-DIV-RL-0002-00

SUMÁRIO

| | |
|--|----------|
| 1 - Resultados das Análises Estatísticas Realizadas | 1 |
|--|----------|

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|---|
| Tabela S 1 – Resultados obtidos na PERMANOVA realizada com os dados dos pontos tipo SAI do PMQACH. Diferenças estatisticamente significativas são mostradas em negrito. | 1 |
| Tabela S 2 – Resultados obtidos na PERMANOVA realizada com os dados dos pontos tipo SAA e SAC de pontos ativos do PMQACH durante período seco (abril a setembro). Diferenças estatisticamente significativas são mostradas em negrito. | 1 |
| Tabela S 3 – Resultados obtidos na PERMANOVA realizada com os dados dos pontos tipo SAA e SAC de pontos ativos do PMQACH durante período chuvoso (outubro a março). Diferenças estatisticamente significativas são mostradas em negrito. | 1 |

1 - RESULTADOS DAS ANÁLISES ESTATÍSTICAS REALIZADAS

Tabela S 1 – Resultados obtidos na PERMANOVA realizada com os dados dos pontos tipo SAI do PMQACH. Diferenças estatisticamente significativas são mostradas em negrito.

| Modelo | Graus de liberdade | Soma dos quadrados | Média dos quadrados | Modelo F | R ² | Pr (>F) |
|-------------------|--------------------|--------------------|---------------------|----------|----------------|--------------|
| Sites:estação:mês | 67 | 2,0435 | 0,03 | 1,06 | 0,2506 | 0,423 |
| Sites | 18 | 4,9890 | 0,28 | 9,66 | 0,6118 | 0,001 |
| Estação | 1 | 0,1584 | 0,16 | 5,52 | 0,0194 | 0,01 |
| Mês | 3 | 0,4187 | 1,14 | 4,86 | 0,0513 | 0,02 |
| Resíduos | 19 | 0,5450 | 0,03 | | 0,0668 | |
| Total | 108 | 8,1546 | | | 1,0000 | |

Tabela S 2 – Resultados obtidos na PERMANOVA realizada com os dados dos pontos tipo SAA e SAC de pontos ativos do PMQACH durante período seco (abril a setembro). Diferenças estatisticamente significativas são mostradas em negrito.

| Modelo | Graus de liberdade | Soma dos quadrados | Média dos quadrados | Modelo F | R ² | Pr (>F) |
|-----------|--------------------|--------------------|---------------------|----------|----------------|-----------------|
| Trimestre | 1 | 1,729 | 1,72924 | 13,2083 | 0,00627 | 0,004975 |
| Mês | 4 | 0,849 | 0,21223 | 1,6211 | 0,00308 | 0,119403 |
| Resíduos | 2088 | 273,362 | 0,13092 | 0,99066 | | |
| Total | 2093 | 275,940 | | 1,00000 | | |

Tabela S 3 – Resultados obtidos na PERMANOVA realizada com os dados dos pontos tipo SAA e SAC de pontos ativos do PMQACH durante período chuvoso (outubro a março). Diferenças estatisticamente significativas são mostradas em negrito.

| Modelo | Graus de liberdade | Soma dos quadrados | Média dos quadrados | Modelo F | R ² | Pr (>F) |
|--------------|--------------------|--------------------|---------------------|----------|----------------|---------|
| Mês:Quinzena | 2 | 0,14213 | 0,07106 | 0,567998 | 0,00503 | 0,654 |
| Quinzena | 1 | 0,02658 | 0,02658 | 0,21247 | 0,00094 | 0,822 |
| Mês | 2 | 0,20740 | 0,10370 | 0,82885 | 0,00733 | 0,469 |
| Resíduos | 223 | 279,00994 | 0,12511 | | 0,98669 | |
| Total | 228 | 282,77116 | | | | |