


**QUALIDADE DA ÁGUA DISTRIBUÍDA POR ESTAÇÕES DE TRATAMENTO EM
SERGIPE ENTRE 2014 E 2021: SÍNTESE DE INDICADORES E ANÁLISE
MULTIVARIADA**

**WATER QUALITY DISTRIBUTED BY TREATMENT PLANTS IN SERGIPE BETWEEN
2014 AND 2021: SYNTHESIS OF INDICATORS AND MULTIVARIATE ANALYSIS**

**CALIDAD DEL AGUA DISTRIBUIDA POR PLANTAS DE TRATAMIENTO EN SERGIPE
ENTRE 2014 Y 2021: SÍNTESIS DE INDICADORES Y ANÁLISIS MULTIVARIADO**

 <https://doi.org/10.56238/arev8n6-079>

Data de submissão: 16/05/2026

Data de publicação: 16/06/2026

Edson Iglesias

Mestre em Recursos Hídricos

Instituição: Universidade Federal de Sergipe (UFS)

E-mail: edsoniglesias2008@gmail.com

Marcos Eric Barbosa Brito

Doutor em Engenharia Agrícola

Instituição: Universidade Federal de Sergipe (UFS)

E-mail: marcoseric@academico.ufs.br

Wellington Gonzaga do Vale

Doutor em Produção Vegetal

Instituição: Universidade Federal de Sergipe (UFS)

E-mail: valewg@gmail.com

Raimundo Rodrigues Gomes Filho

Doutor em Engenharia Agrícola

Instituição: Universidade Federal de Sergipe (UFS)

E-mail: rrgomesfilho@gmail.com

Ketylen Vieira Santos

Doutoranda em Desenvolvimento e Meio Ambiente

Instituição: Universidade Federal de Sergipe (UFS)

E-mail: ketylensv@gmail.com

Alane Regina Rodrigues dos Santos

Doutora em Desenvolvimento e Meio Ambiente

Instituição: Universidade Federal de Sergipe (UFS)

E-mail: alane-rs@hotmail.com

Jaqueline Ribeiro de Jesus

Doutoranda em Desenvolvimento e Meio Ambiente

Instituição: Universidade Federal de Sergipe (UFS)

E-mail: jaqueline.ribbeiro@gmail.com

RESUMO

Este estudo avaliou a qualidade da água tratada e distribuída por seis Estações de Tratamento de Água (ETAs) do estado de Sergipe, no período de 2014 a 2021, a partir de dados secundários previamente sistematizados do Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (SISAGUA) e da Companhia de Saneamento de Sergipe (DESO). Foram considerados os parâmetros cloro residual, turbidez e coliformes totais, com análise de conformidade em relação aos padrões de potabilidade, síntese por indicador relativo de qualidade e interpretação multivariada por GT Biplot. O indicador foi utilizado como medida comparativa e não normativa, evitando extrapolações numéricas não sustentadas pela matriz bruta disponível. Os resultados indicaram variações espaciais e temporais entre ETAs, municípios abastecidos e anos avaliados, com melhor desempenho relativo em 2016 para a maior parte das localidades. Também foram observadas recorrências de coliformes totais fora do padrão, oscilações nos teores de cloro residual e episódios de elevação da turbidez, sugerindo fragilidades associadas à desinfecção, à estabilidade operacional e/ou à recontaminação ao longo da rede de distribuição. Conclui-se que a integração entre indicadores, avaliação de conformidade e análise multivariada contribui para identificar parâmetros críticos e apoiar decisões voltadas ao controle operacional e à vigilância sanitária da água distribuída à população.

Palavras-chave: Água Potável. Abastecimento Público. SISAGUA. GT Biplot. Sergipe.

ABSTRACT

This study evaluated the quality of treated water supplied by six Water Treatment Plants (WTPs) in the state of Sergipe, Brazil, from 2014 to 2021, using previously systematized secondary data from the Drinking Water Quality Surveillance Information System (SISAGUA) and the Sergipe Sanitation Company (DESO). Residual chlorine, turbidity, and total coliforms were analyzed through compliance assessment with drinking-water standards, synthesis by a relative quality indicator, and multivariate interpretation using GT Biplot. The indicator was used as a comparative and non-normative measure, with interpretation based on consolidated results and without numerical extrapolations not supported by the available raw data matrix. The results indicated spatial and temporal variations among WTPs, supplied municipalities, and evaluated years, with relatively better performance in 2016 for most locations. Recurring non-compliant samples for total coliforms, fluctuations in residual chlorine levels, and episodes of increased turbidity were also observed, suggesting weaknesses related to disinfection, operational stability, and/or recontamination along the distribution network. The integrated use of indicators, compliance assessment, and multivariate analysis helped identify critical parameters and support decisions aimed at operational control and sanitary surveillance of the water supplied to the population.

Keywords: Drinking Water. Public Water Supply. SISAGUA. GT Biplot. Sergipe.

RESUMEN

Este estudio evaluó la calidad del agua tratada y distribuida por seis Estaciones de Tratamiento de Agua (ETAs) del estado de Sergipe, Brasil, entre 2014 y 2021, a partir de datos secundarios previamente sistematizados del Sistema de Información de Vigilancia de la Calidad del Agua para Consumo Humano (SISAGUA) y de la Compañía de Saneamiento de Sergipe (DESO). Se analizaron los parámetros cloro residual, turbidez y coliformes totales mediante evaluación de conformidad con los estándares de potabilidad, síntesis por indicador relativo de calidad e interpretación multivariante por GT Biplot. El indicador fue utilizado como medida comparativa y no normativa, con interpretación basada en resultados consolidados y sin extrapolaciones numéricas no sustentadas por la matriz bruta de datos disponible. Los resultados indicaron variaciones espaciales y temporales entre

ETAs, municipios abastecidos y años evaluados, con mejor desempeño relativo en 2016 para la mayor parte de las localidades. También se observaron recurrencias de coliformes totales fuera del estándar, oscilaciones en los niveles de cloro residual y episodios de aumento de la turbidez, lo que sugiere fragilidades asociadas a la desinfección, la estabilidad operacional y/o la recontaminación a lo largo de la red de distribución. Se concluye que la integración entre indicadores, evaluación de conformidad y análisis multivariante contribuye a identificar parámetros críticos y apoyar decisiones orientadas al control operacional y a la vigilancia sanitaria del agua distribuida a la población.

Palabras clave: Agua Potable. Abastecimiento Público. SISAGUA. GT Biplot. Sergipe.

1 INTRODUÇÃO

A qualidade da água destinada ao consumo humano depende de uma cadeia operacional que envolve captação, tratamento, reservação, distribuição e vigilância contínua. Nas Estações de Tratamento de Água (ETAs), etapas como coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção são responsáveis por reduzir partículas, matéria orgânica e microrganismos, adequando a água aos padrões de potabilidade. Entretanto, a segurança sanitária não se encerra na saída da estação, pois a água pode sofrer alterações ao longo da rede de distribuição, especialmente em sistemas sujeitos a variações de pressão, intermitência, tempo de residência elevado, fragilidades estruturais e pontos de recontaminação (Kumpel; Nelson, 2016; WHO, 2022).

Entre os parâmetros de rotina, turbidez, cloro residual e coliformes totais assumem papel central no controle da qualidade da água tratada e distribuída. A turbidez está associada à presença de partículas em suspensão e pode indicar limitações nos processos de clarificação e filtração, além de interferir na eficiência da desinfecção. O cloro residual permite avaliar a permanência da barreira sanitária ao longo da rede. A presença de coliformes totais, por sua vez, sinaliza necessidade de investigação operacional, pois pode estar relacionada a falhas no tratamento, na reservação ou na distribuição (Brasil, 2021; WHO, 2022).

No Brasil, a Portaria GM/MS nº 888/2021 estabelece procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano, definindo padrões de potabilidade e responsabilidades para sistemas de abastecimento e soluções alternativas (Brasil, 2021). A análise de séries históricas permite ultrapassar a verificação pontual da conformidade normativa, favorecendo a identificação de recorrência de desvios, diferenças entre unidades e parâmetros mais sensíveis à perda de qualidade. Nesse contexto, bases como o Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (SISAGUA) constituem instrumentos relevantes para estudos aplicados, pois reúnem registros capazes de subsidiar a vigilância em saúde ambiental e o planejamento de ações em saneamento (Oliveira Júnior et al., 2019).

No estado de Sergipe, a avaliação de ETAs distribuídas em diferentes contextos hidrográficos e operacionais permite compreender como os sistemas de abastecimento respondem a condições ambientais, territoriais e de distribuição distintas. A comparação entre unidades como Cajaíba, Candeias/Ribeira, Lagarto, Propriá, Delmiro Gouveia e Gilberto Freire é pertinente por envolver captações associadas a diferentes mananciais, municípios com distintos portes populacionais e redes de abastecimento com extensões e vulnerabilidades variadas.

A avaliação integrada de conformidade, indicadores sintéticos e técnicas multivariadas pode ampliar a capacidade de interpretação dos dados de monitoramento. O uso de um indicador relativo

de qualidade permite sintetizar informações de parâmetros distintos, enquanto o GT Biplot possibilita visualizar relações entre anos, variáveis e unidades analisadas. Essa combinação é útil para identificar padrões de similaridade, parâmetros discriminantes e anos associados a melhores ou piores desempenhos relativos (Yan; Kang, 2003).

Diante disso, este estudo avaliou a qualidade da água tratada e distribuída por seis ETAs do estado de Sergipe entre 2014 e 2021. Foram analisados cloro residual, turbidez e coliformes totais, com base em dados secundários do SISAGUA e da Companhia de Saneamento de Sergipe (DESO), mediante avaliação de conformidade, síntese por indicador relativo de qualidade e análise multivariada pelo método GT Biplot.

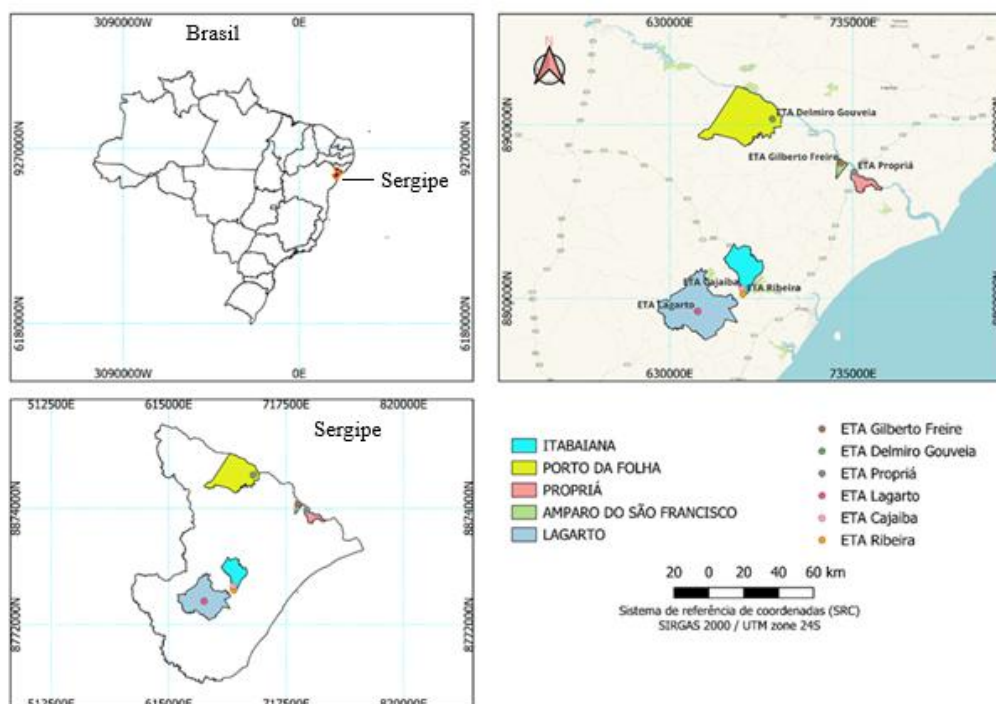
2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO E UNIDADES AVALIADAS

O estudo foi desenvolvido no estado de Sergipe, localizado na região Nordeste do Brasil, em área caracterizada por diversidade hidrográfica, climática e socioambiental. O território sergipano apresenta sistemas de abastecimento associados a diferentes bacias hidrográficas, com distintas condições de captação, tratamento e distribuição de água.

Foram avaliadas seis ETAs operadas pela Companhia de Saneamento de Sergipe: Cajaíba, Candeias/Ribeira, Lagarto, Propriá, Delmiro Gouveia e Gilberto Freire. Essas unidades foram selecionadas em razão da disponibilidade de série histórica consolidada, da relevância para o abastecimento público estadual e da distribuição em diferentes contextos hidrográficos e territoriais (Figura 1).

Figura 1. Localização das Estações de Tratamento de Água avaliadas no estado de Sergipe



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

As ETAs Cajaíba e Candeias/Ribeira estão localizadas em Itabaiana e integram o Sistema Integrado do Agreste, com captação associada aos rios Traíras e Jacarecica e ao riacho Ribeira. A ETA Lagarto abastece municípios atendidos pelo Sistema Piauitinga, com captação no rio Piauitinga e na barragem Dionísio Machado. A ETA Propriá abastece municípios da região do baixo São Francisco, com captação no rio São Francisco. A ETA Delmiro Gouveia, localizada em Porto da Folha, atende municípios do sertão sergipano, também com captação associada ao rio São Francisco. A ETA Gilberto Freire, localizada em Amparo do São Francisco, abastece municípios atendidos pela adutora Sertaneja, com captação igualmente vinculada ao rio São Francisco.

A inclusão dessas unidades permitiu comparar sistemas inseridos em diferentes realidades hidrográficas, territoriais e operacionais, contemplando municípios de maior e menor porte, redes de distribuição com extensões distintas e áreas com diferentes níveis de vulnerabilidade hídrica.

2.2 FONTE DOS DADOS, ESCOPO E TRATAMENTO DA BASE

Foram utilizados dados secundários de monitoramento da qualidade da água, provenientes do SISAGUA e de registros disponibilizados pela DESO, referentes ao período de 2014 a 2021. Os parâmetros considerados foram cloro residual, turbidez e coliformes totais. O cloro residual foi interpretado como indicador da manutenção da barreira sanitária na distribuição; a turbidez, como

indicador da presença de partículas e da eficiência dos processos de clarificação e filtração; e os coliformes totais, como indicador microbiológico de possíveis falhas no tratamento, na reservação ou na rede de distribuição.

No presente artigo, o escopo foi padronizado para água tratada e distribuída. Assim, menções à água bruta foram mantidas apenas quando necessárias para contextualizar a influência dos mananciais sobre a operação das ETAs, sem ampliar a análise para uma avaliação autônoma da qualidade da água captada.

2.3 AVALIAÇÃO DE CONFORMIDADE

A avaliação de conformidade considerou os padrões de potabilidade da Portaria GM/MS nº 888/2021, adotada como referência normativa principal por se tratar da norma brasileira específica para controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano (Brasil, 2021). A Resolução CONAMA nº 357/2005 foi utilizada apenas como referência complementar para contextualização dos corpos hídricos e mananciais associados às captações, não como norma central de julgamento da água distribuída.

Para cada ETA e período avaliado, foram interpretadas ocorrências de conformidade e não conformidade, com atenção à frequência e à recorrência dos desvios descritos na base analítica previamente sistematizada pelos autores. Essa opção metodológica evita tratar registros pontuais como tendência geral e valoriza a leitura integrada dos parâmetros ao longo da série histórica.

2.4 INDICADOR SINTÉTICO RELATIVO DE QUALIDADE DA ÁGUA

O estudo utilizou um Índice de Qualidade da Água (IQA) para sintetizar o desempenho relativo das ETAs e dos municípios abastecidos. No presente artigo, o índice é tratado como indicador sintético relativo, empregado para comparar padrões de desempenho entre localidades e anos, e não como índice oficial ou normativo de potabilidade.

Essa delimitação é necessária porque a matriz bruta original não estava disponível na etapa de elaboração deste artigo. Portanto, não foram recalculados valores completos do índice por amostra, município e ano, nem foram criadas novas classes numéricas. A interpretação apresentada baseia-se nos resultados consolidados e nos gráficos multivariados previamente sistematizados pelos autores, preservando os achados sem extrapolar dados inexistentes.

Desse modo, expressões como melhor desempenho relativo, maior instabilidade e parâmetro crítico referem-se aos padrões observados no conjunto dos resultados consolidados, e não a novos cálculos realizados nesta etapa. Essa decisão metodológica garante transparência, reduz o risco de

inconsistência numérica e mantém a coerência entre a base analítica disponível e a interpretação apresentada neste artigo.

2.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA E GT BIPLLOT

As análises estatísticas do estudo foram realizadas no ambiente RStudio, versão 1.2.1335, com uso do pacote ExpDes.pt, versão 1.2.0 (Ferreira; Cavalcanti; Nogueira, 2018). Para a construção dos biplots, foi utilizado o pacote GGEBiplotGUI. A análise multivariada foi conduzida por meio do método GT Biplot, considerando os anos como elementos de comparação e os parâmetros de qualidade da água como características discriminantes.

Os biplots foram interpretados a partir da direção e do comprimento dos vetores, da proximidade entre pontos e da distribuição dos anos em relação aos eixos principais. Vetores mais longos indicam maior contribuição da variável para a diferenciação dos dados; ângulos menores entre vetores sugerem associação positiva; e pontos próximos indicam comportamento semelhante entre anos ou unidades avaliadas. Para preservar a concisão do manuscrito, foram inseridos biplots representativos de uma localidade associada a cada ETA, enquanto os resultados dos demais municípios foram sintetizados em quadro interpretativo.

2.6 ASPECTOS ÉTICOS E LIMITAÇÕES METODOLÓGICAS

Por se tratar de pesquisa baseada em dados secundários de monitoramento operacional e de vigilância da qualidade da água, sem coleta direta com seres humanos ou identificação individual de usuários, o estudo não envolveu procedimentos de entrevista, experimentação ou exposição de participantes.

Como limitação metodológica, reconhece-se que bases secundárias podem apresentar diferenças na periodicidade de amostragem, lacunas de registros, variações na forma de lançamento dos dados e mudanças operacionais ao longo do período analisado. Além disso, a indisponibilidade da matriz bruta original nesta etapa impediu o reprocessamento integral dos dados e a rerepresentação de valores numéricos completos por amostra, município e ano.

Essa limitação não permite inferências quantitativas adicionais além daquelas derivadas dos resultados consolidados disponíveis. Por esse motivo, a análise prioriza padrões relativos, interpretação multivariada, sínteses por ETA e discussão operacional dos parâmetros críticos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 PANORAMA GERAL DOS PARÂMETROS AVALIADOS

A análise da qualidade da água tratada e distribuída pelas seis ETAs evidenciou variações espaciais e temporais nos parâmetros cloro residual, turbidez e coliformes totais entre 2014 e 2021. Essas variações indicam que o desempenho das unidades não depende exclusivamente do tratamento intramuros da estação, mas também das condições dos mananciais, da operação dos sistemas, da extensão das redes de distribuição e da manutenção da barreira sanitária até o ponto de consumo.

De modo geral, a turbidez apresentou comportamento relativamente mais estável quando comparada aos parâmetros microbiológicos, embora tenham sido registrados episódios de elevação em determinados anos e localidades. Tais eventos podem estar associados a variações da água captada, maior aporte de sedimentos, chuvas intensas, processos erosivos e ajustes operacionais no tratamento.

O cloro residual apresentou oscilações relevantes ao longo do período, sugerindo necessidade de controle contínuo da dosagem e da persistência do desinfetante na rede. Valores reduzidos podem comprometer a barreira sanitária, enquanto valores elevados podem indicar ajustes compensatórios ou dificuldades de estabilização operacional.

Os coliformes totais constituíram a principal criticidade sanitária observada. Sua recorrência em amostras fora do padrão sugere episódios de falha na desinfecção, contaminação na reservação ou recontaminação ao longo da rede de distribuição. Embora coliformes totais não indiquem necessariamente contaminação fecal, sua presença em água tratada exige investigação operacional e resposta corretiva.

3.2 DESEMPENHO TEMPORAL E INTERPRETAÇÃO DO INDICADOR RELATIVO

A comparação temporal indicou predominância de melhor desempenho relativo em 2016 para a maior parte das localidades avaliadas. Esse padrão foi registrado em diferentes ETAs e municípios, sugerindo maior estabilidade operacional ou condições ambientais mais favoráveis naquele ano. Entretanto, o comportamento não foi uniforme em todas as unidades: a ETA Candeias/Ribeira apresentou desempenho crítico em 2016, enquanto Graccho Cardoso, abastecido pela ETA Gilberto Freire, teve destaque relativo em 2020.

A identificação de anos de melhor ou pior desempenho deve ser interpretada de forma relativa, uma vez que a matriz bruta original não foi reprocessada nesta etapa. Assim, os resultados permitem reconhecer padrões comparativos e períodos de maior instabilidade, mas não devem ser lidos como nova série numérica de IQA recalculada.

Anos com maior instabilidade foram associados à elevação de turbidez, oscilações de cloro residual e ocorrência de amostras com coliformes totais fora do padrão. Esses desvios podem refletir fatores ambientais, como chuvas e maior carga de partículas nos mananciais, e fatores operacionais, como falhas de desinfecção, intermitência, maior tempo de residência da água ou vulnerabilidades em reservatórios e redes de distribuição.

3.3 SÍNTESE POR ETA E IMPLICAÇÕES OPERACIONAIS

A síntese interpretativa dos principais padrões observados por ETA é apresentada no Quadro 1.

Quadro 1. Síntese interpretativa dos principais padrões observados por ETA no período de 2014 a 2021

ETA	Localidades consideradas	Padrão observado sem extrapolação numérica	Implicações operacionais
Gilberto Freire	Amparo do São Francisco, Aquidabã, Canhoba, Cumbe, Feira Nova, Graccho Cardoso, Itabi, Nossa Senhora das Dores e Nossa Senhora de Lourdes	Predomínio de melhor desempenho relativo em 2016; em Graccho Cardoso, destaque relativo em 2020. O padrão geral indicou variação entre municípios abastecidos pela mesma ETA, com recorrência de coliformes totais fora do padrão e oscilações de cloro residual.	Reforçar controle microbiológico, verificar pontos vulneráveis da rede de distribuição e ajustar a dosagem de cloro conforme extensão, tempo de residência e condições operacionais.
Propriá	Cedro de São João, Propriá e Telha	Variações temporais associadas à captação no rio São Francisco e às condições de distribuição. A análise indicou necessidade de leitura conjunta da turbidez, da desinfecção e da ocorrência de coliformes totais.	Monitorar simultaneamente água captada, eficiência da filtração e permanência de cloro residual na rede de distribuição.
Cajaíba	Itabaiana e Macambira	Macambira apresentou melhor desempenho relativo em 2016, enquanto Itabaiana teve destaque relativo em 2014. Em 2020, observou-se maior criticidade associada à turbidez nas duas localidades.	Otimizar coagulação, floculação e filtração em períodos de maior aporte de partículas e variação da qualidade da água captada.

ETA	Localidades consideradas	Padrão observado sem extrapolação numérica	Implicações operacionais
Candeias/Ribeira	Campo do Brito	Diferentemente do padrão predominante nas demais ETAs, 2016 representou comportamento crítico, com menor desempenho relativo no conjunto analisado. O padrão sugere instabilidade simultânea entre indicador relativo, cloro residual, turbidez e coliformes totais.	Priorizar revisão operacional, controle da desinfecção, investigação de não conformidades microbiológicas e avaliação da estabilidade da rede de distribuição.
Delmiro Gouveia	Carira, Frei Paulo, Monte Alegre, Nossa Senhora Aparecida, Nossa Senhora da Glória, Pinhão, Pedra Mole, Poço Redondo, Porto da Folha e São Miguel do Aleixo	Predomínio de melhor desempenho relativo em 2016 em diferentes localidades. Apesar disso, houve registros de amostras com cloro residual fora do padrão e presença de coliformes totais em alguns municípios.	Fortalecer controle da desinfecção, manutenção da rede e monitoramento de pontos distantes ou vulneráveis, especialmente pela ampla área de cobertura no sertão sergipano.
Lagarto	Riachão do Dantas	Não houve padrão de melhor desempenho claramente consolidado. O ano de 2014 destacou-se por maior instabilidade, com associação a cloro residual e coliformes totais.	Reforçar controle operacional da cloração, investigar oscilações na qualidade da água captada e ampliar o monitoramento microbiológico na distribuição.

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

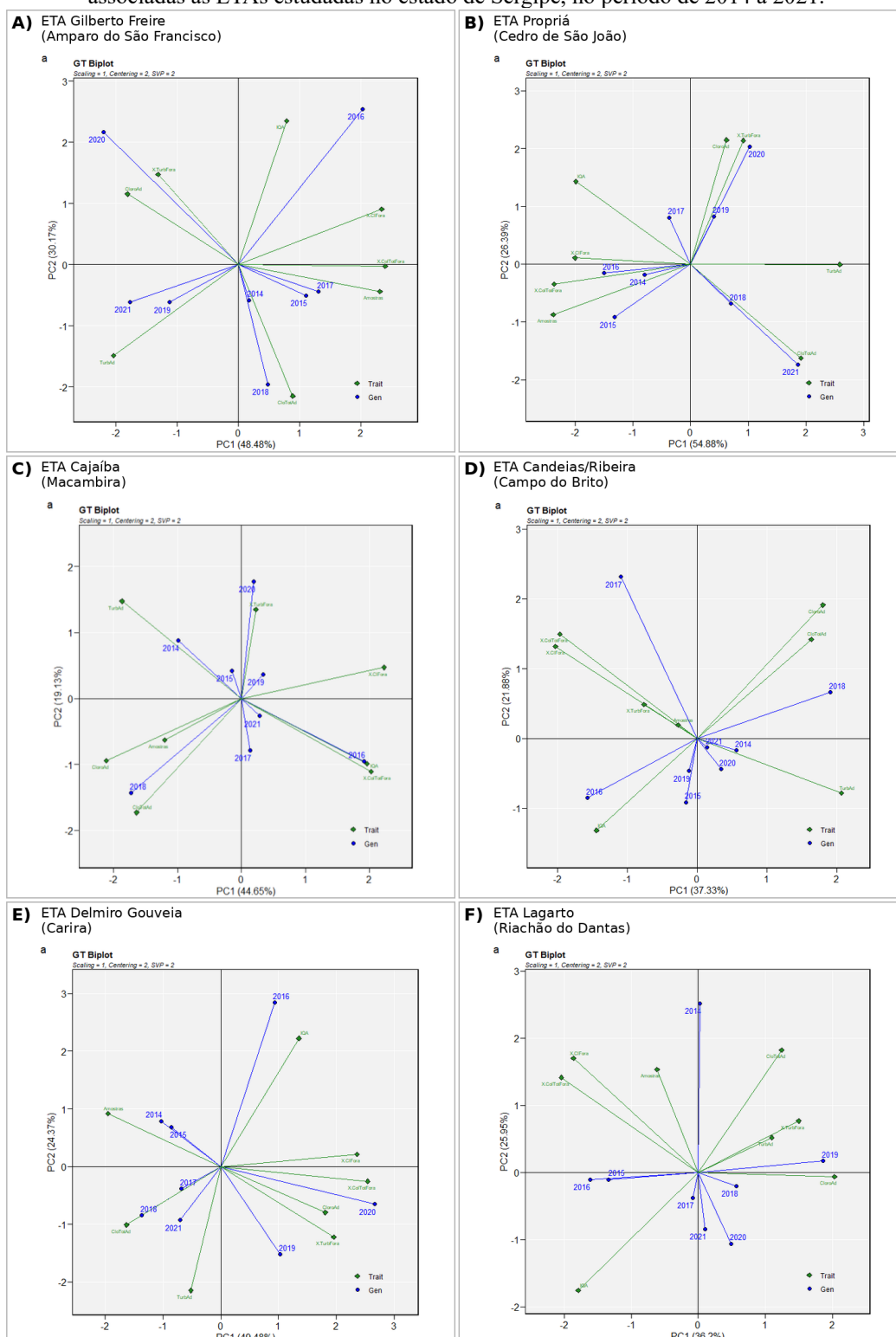
3.4 INTERPRETAÇÃO DA ANÁLISE MULTIVARIADA PELO GT BIPLLOT

A análise multivariada por GT Biplot foi utilizada como ferramenta complementar à avaliação de conformidade e à síntese por indicador relativo de qualidade da água. Sua finalidade foi permitir a visualização integrada da relação entre os anos avaliados e os parâmetros cloro residual, turbidez e coliformes totais, contribuindo para identificar padrões de associação, dispersão e instabilidade entre as localidades representativas das ETAs estudadas.

Na interpretação dos biplots, a proximidade entre os pontos indica maior similaridade no comportamento dos anos avaliados, enquanto o afastamento sugere maior diferenciação temporal. A direção dos vetores representa a associação entre as variáveis, e o comprimento desses vetores indica a capacidade de cada parâmetro em discriminar os resultados. Assim, anos posicionados na direção de vetores associados à turbidez ou aos coliformes totais tendem a representar situações de maior atenção operacional, sobretudo quando esses parâmetros aparecem relacionados a não conformidades. O cloro residual, por sua vez, exige interpretação cautelosa, pois sua contribuição depende da permanência em faixa adequada: valores reduzidos podem indicar perda da barreira

sanitária, enquanto valores elevados podem sinalizar ajustes operacionais compensatórios ou instabilidade no processo de desinfecção (Figura 2).

Figura 2. Biplots representativos da relação entre anos avaliados e parâmetros de qualidade da água em localidades associadas às ETAs estudadas no estado de Sergipe, no período de 2014 a 2021.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024). A figura apresenta um exemplo gráfico por ETA; os demais municípios foram sintetizados no Quadro 1.

A seleção desses gráficos teve como finalidade demonstrar os principais padrões multivariados sem reproduzir integralmente todos os biplots gerados na base analítica previamente sistematizada. Desse modo, a figura funciona como evidência visual da aplicação da técnica, enquanto o Quadro 1 organiza a síntese interpretativa dos padrões observados para o conjunto das ETAs e localidades consideradas.

De modo geral, os biplots indicaram que a qualidade da água distribuída não apresentou comportamento homogêneo ao longo da série histórica. Em algumas unidades, a turbidez apareceu como parâmetro relevante para a diferenciação dos anos, sugerindo influência de partículas em suspensão, variações na qualidade da água captada ou limitações nos processos de clarificação e filtração. Em outras situações, a presença de coliformes totais e as oscilações de cloro residual indicaram fragilidades relacionadas à desinfecção, à reservação ou à possibilidade de recontaminação ao longo da rede de distribuição.

Nas ETAs vinculadas ao rio São Francisco, como Gilberto Freire, Propriá e Delmiro Gouveia, a análise multivariada reforçou a necessidade de acompanhamento simultâneo da qualidade da água captada, da eficiência do tratamento e da manutenção do cloro residual na rede. Embora a captação em um manancial de grande porte represente maior disponibilidade hídrica, a segurança da água distribuída depende da estabilidade operacional do sistema, da integridade das estruturas de reservação e da continuidade do monitoramento em diferentes pontos da distribuição.

Nas ETAs Cajaíba e Candeias/Ribeira, associadas ao Sistema Integrado do Agreste, os biplots evidenciaram sensibilidade a variações de turbidez e a oscilações no desempenho dos parâmetros avaliados. Esse padrão indica a necessidade de atenção aos processos de coagulação, floculação, filtração e desinfecção, especialmente em períodos de maior aporte de sedimentos ou alteração da qualidade da água captada. No caso da ETA Candeias/Ribeira, o comportamento crítico observado em 2016 reforça que os padrões temporais não devem ser generalizados para todas as unidades, pois cada sistema responde de forma distinta às condições ambientais, operacionais e estruturais.

Na ETA Lagarto, a análise indicou maior instabilidade relativa, sem consolidação clara de um ano de melhor desempenho. Esse resultado sugere a necessidade de fortalecer o controle da cloração e o monitoramento microbiológico, sobretudo em períodos de maior variação da qualidade da água captada ou de alterações operacionais no sistema de abastecimento.

Portanto, o GT Biplot contribuiu para demonstrar que a qualidade da água distribuída pelas ETAs avaliadas resulta da interação entre múltiplos fatores, incluindo eficiência do tratamento, manutenção da barreira sanitária, características dos mananciais, extensão da rede e vulnerabilidades operacionais. A técnica mostrou-se útil para identificar padrões relativos e parâmetros mais sensíveis

à perda de qualidade, mas sua interpretação deve ser realizada em conjunto com a avaliação de conformidade, com a síntese por indicador relativo e com as limitações decorrentes da indisponibilidade da matriz bruta original.

3.5 PARÂMETROS CRÍTICOS E NÃO CONFORMIDADES

Entre os parâmetros avaliados, os coliformes totais representaram a principal criticidade sanitária. A ocorrência recorrente de amostras fora do padrão indica que a segurança microbiológica da água distribuída depende não apenas do tratamento na ETA, mas também da reservação, da integridade das adutoras e redes, do controle de pressão e da continuidade do abastecimento.

A turbidez também exige atenção, principalmente nos anos em que foram observados aumentos expressivos. Valores elevados podem indicar maior carga de partículas na água captada, alterações nos processos de coagulação e filtração ou maior entrada de sedimentos no manancial. Além do impacto estético, a turbidez pode reduzir a eficiência da desinfecção e favorecer a proteção de microrganismos.

As oscilações de cloro residual reforçam a necessidade de controle contínuo da desinfecção. A manutenção de cloro residual em faixa adequada é essencial para assegurar a proteção sanitária durante a distribuição. Valores baixos sugerem perda de barreira sanitária; valores elevados podem indicar dificuldade de estabilização do processo ou tentativa de compensar variações na qualidade da água.

3.6 IMPLICAÇÕES PARA A GESTÃO DOS SISTEMAS DE ABASTECIMENTO

Os resultados indicam que a gestão da qualidade da água deve integrar monitoramento contínuo, controle da desinfecção, proteção de mananciais e manutenção preventiva da rede de distribuição. A combinação entre avaliação de conformidade, indicador relativo e GT Biplot favorece a identificação de unidades prioritárias, anos críticos e parâmetros com maior influência na perda de qualidade.

Entre as medidas operacionais recomendáveis, destacam-se: aprimoramento do controle de cloro residual, intensificação do monitoramento em pontos críticos da rede, manutenção preventiva de reservatórios e adutoras, redução de perdas e intermitências e uso de sistemas de registro e análise contínua dos dados de qualidade.

A gestão dos mananciais também deve ser considerada parte do controle da qualidade da água distribuída. Episódios de turbidez elevada e variações na qualidade da água captada indicam a necessidade de proteger áreas de contribuição, recompor matas ciliares, controlar fontes difusas de

poluição e fortalecer a articulação entre companhia de saneamento, órgãos ambientais, vigilância em saúde e comitês de bacia.

Para pesquisas futuras, recomenda-se recuperar ou reconstruir a matriz bruta de dados, incorporar escalas temporais mensais ou sazonais e integrar variáveis meteorológicas, hidrológicas e de uso e ocupação do solo. Isso permitiria reprocessar integralmente o indicador sintético, testar a sensibilidade dos resultados e ampliar a robustez estatística das conclusões.

4 CONCLUSÕES

A avaliação da água tratada e distribuída por seis ETAs do estado de Sergipe entre 2014 e 2021 evidenciou variações espaciais e temporais nos parâmetros cloro residual, turbidez e coliformes totais. O ano de 2016 apresentou melhor desempenho relativo para a maior parte das localidades, embora esse padrão não tenha sido uniforme entre todas as unidades avaliadas.

Os coliformes totais constituíram a principal criticidade sanitária observada, enquanto oscilações de cloro residual e episódios de elevação da turbidez indicaram vulnerabilidades associadas à desinfecção, aos processos de tratamento e à possibilidade de recontaminação ao longo da rede de distribuição.

O uso combinado da avaliação de conformidade, do indicador sintético relativo e do GT Biplot mostrou-se útil para sintetizar a série histórica, comparar unidades de abastecimento e identificar parâmetros sensíveis à perda de qualidade. Entretanto, a indisponibilidade da matriz bruta original limita a rerepresentação de valores numéricos completos e impede novos reprocessamentos estatísticos nesta etapa.

Os resultados reforçam a necessidade de fortalecer o controle da desinfecção, ampliar o monitoramento em pontos críticos, reduzir perdas e intermitências, melhorar a manutenção de reservatórios e adutoras e integrar ações da companhia de saneamento com órgãos de vigilância e gestão de recursos hídricos. Tais medidas são essenciais para aumentar a segurança sanitária da água distribuída e aprimorar a gestão do abastecimento público em Sergipe.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 18 mar. 2005.
- BRASIL. Ministério da Saúde. 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. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 7 maio 2021.
- COMPANHIA DE SANEAMENTO DE SERGIPE (DESO). Relatório de Qualidade da Água. Aracaju: DESO, 2022.
- FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P. P.; NOGUEIRA, D. A. ExpDes.pt: Experimental Designs package. R package version 1.2.0, 2018.
- KUMPEL, E.; NELSON, K. L. Intermittent water supply: prevalence, practice, and microbial water quality. *Environmental Science & Technology*, v. 50, n. 2, p. 542–553, 2016.
- OLIVEIRA JÚNIOR, A. de et al. Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (SISAGUA): características, evolução e aplicabilidade. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, v. 28, n. 1, e2018117, 2019.
- RSTUDIO TEAM. RStudio: Integrated Development Environment for R. Boston: RStudio, PBC, 2018.
- SISTEMA DE INFORMAÇÃO DE VIGILÂNCIA DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO. Base de dados de monitoramento da qualidade da água. Brasília: Ministério da Saúde, 2021.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first and second addenda. Geneva: World Health Organization, 2022.
- YAN, W.; KANG, M. S. GGE Biplot Analysis: a graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists. Boca Raton: CRC Press, 2003.