

Artigo

Avaliação dos Parâmetros Físico-Químicos da Água de Abastecimento em Diferentes Bairros do Município de Salvaterra (Arquipélago do Marajó, PA)

de Assis, D. M. S.;* de Lima, A. B.; da Silva, E. R. M.; Silva, A. S.; Barbosa, I. C. C.

Rev. Virtual Quim., 2017, 9 (5), 1825-1839. Data de publicação na Web: 25 de julho de 2017

<http://rvq.sbgq.org.br>

Evaluation of the Physical and Chemical Parameters of the Water Supply in Different Neighborhoods of the Municipality of Salvaterra (Marajó Archipelago, PA)

Abstract: Water, as it has a fundamental role for living beings, must be obtained from reliable sources of supply, so that its properties do not suffer abrupt changes between treatment and distribution. In this sense, the present work had the objective of verifying by means of physical-chemical analyzes, if the water that is treated and distributed by the local supply company in the municipality of Salvaterra suffers variations in its physical and chemical properties from the treatment to the distribution, as well How to compare the results with Ministry of Health ordinance 2,914. For the physico-chemical analyzes were used the instrumental and volumetric methods. The results of the analyzes were submitted to the Tukey test, Principal Component Analysis (PCA) and Hierarchical Cluster Analysis (HCA). The data revealed that the parameters analyzed are in compliance with Ministry of Health ordinance 2,914, in that they are sufficient to explain the variation of the parameters between the ETA and the districts, thus, a monitoring study is necessary, associated to analyzes for potability purposes.

Keywords: Water supply; physicochemical analysis; multivariate analysis.

Resumo

A água, por possuir um papel fundamental para os seres vivos, deve ser obtida de fontes de abastecimento confiáveis, de tal modo que suas propriedades não sofram alterações bruscas entre o tratamento e a distribuição. Neste sentido, o presente trabalho teve como objetivo verificar por meio de análises físico-químicas, se a água que é tratada e distribuída pela companhia de abastecimento local no município de Salvaterra sofre variações em suas propriedades físicas e químicas do tratamento até a sua distribuição, bem como comparar os resultados com a portaria 2.914 do Ministério da Saúde. Para as análises físico-químicas foram empregados os métodos instrumental e volumétrico. Os resultados das análises foram submetidos ao teste de Tukey, Análise de Componentes Principais (PCA) e Análise Hierárquica de Agrupamentos (HCA). Os dados revelaram que os parâmetros analisados estão em conformidade com a portaria 2.914 do Ministério da Saúde, no entanto não são suficientes para explicar a variação dos parâmetros entre a Estação de Tratamento de Água (ETA) e os bairros, assim, faz-se necessário um estudo de monitoramento, associado as análises microbiológicas para fins de potabilidade.

Palavras-chave: Água de abastecimento; análises físico-químicas; análise multivariada.

* Universidade do Estado do Pará, Centro de Ciências Naturais e Tecnologia, Tv. Enéas Pinheiro, 2626, Marco, CEP 66095-100, Belém-PA, Brasil.

 davison-assis@hotmail.com

DOI: [10.21577/1984-6835.20170107](https://doi.org/10.21577/1984-6835.20170107)

Avaliação dos Parâmetros Físico-Químicos da Água de Abastecimento em Diferentes Bairros do Município de Salvaterra (Arquipélago do Marajó, PA)

Davison Márcio S. de Assis,^{a,*} Aldaiane B. de Lima,^b Emerson Renato M. da Silva,^c Antonio dos S. Silva,^d Ivan Carlos da C. Barbosa^e

^a Universidade do Estado do Pará, Centro de Ciências Naturais e Tecnologia, Tv. Enéas Pinheiro, 2626, Marco, CEP 66095-100, Belém-PA, Brasil.

^b Universidade do Estado do Pará, Curso de Licenciatura Plena em Ciências Naturais-Biologia, Campus XIX, Rodovia PA-154, Km 28, CEP 68860-000, Salvaterra-PA, Brasil.

^c Universidade Federal Rural da Amazônia, Curso de Engenharia Ambiental e Energias renováveis da Belém-PA, Campus Belém, Avenida Perimetral s/n, Terra Firme (Montese), CEP 66077-830, Belém-PA, Brasil.

^d Universidade Federal do Pará - UFPA, Faculdade de Farmácia, Av. Augusto Correa 1, Campus do Guamá, Caixa Postal 8608, CEP 66075-110, Belém-PA, Brasil.

^e Universidade Federal Rural da Amazônia, Instituto Socioambiental de Recursos Hídricos, Centro de Tecnologia Agropecuária, Campus Belém, Avenida Perimetral s/n, Terra Firme (Montese), CEP 66077-830, Belém-PA, Brasil.

* davison-assis@hotmail.com

Recebido em 27 de março de 2017. Aceito para publicação em 20 de julho de 2017

1. Introdução

2. Material e Métodos

2.1. Tipo de pesquisa e área de estudo

2.2. Coleta, armazenamento e transporte das amostras

2.3. Análises *in situ* e laboratoriais

2.4. Tratamento estatístico dos dados

3. Resultados e Discussão

3.1. Comparação dos parâmetros físico-químicos entre a ETA e os bairros

3.2. Análise estatística multivariada: PCA e HCA

4. Conclusão

1. Introdução

A água é o recurso natural mais abundante no planeta, é indispensável para todas as formas de vida. É utilizada para o consumo humano, para atividades socioeconômicas, e tem grande importância na saúde, na qualidade de vida e no desenvolvimento das populações.¹ Das inúmeras fontes que a água para consumo humano pode ser obtida, uma delas é o manancial subterrâneo, podendo ser captada no aquífero confinado ou artesianos.²

No Brasil, cerca de 40% dos municípios utilizam a fonte subterrânea de água para suprir suas necessidades hídricas, e várias cidades também usam essa fonte de acordo com sua disponibilidade.³ Na Amazônia a água subterrânea por ser abundante e de excelente qualidade, é crescente sua perspectiva de exploração, por apresentar vantagens práticas e econômicas quanto a sua captação, e por dispensar tratamentos químicos, exceto a desinfecção.⁴

Como possui um papel fundamental para todos os seres vivos, a água para o consumo humano deve ser obtida através de fontes de abastecimentos confiáveis, para isso, é necessário que seus padrões de qualidade obedçam aos prescritos na legislação vigente, para assim, promover saúde a todos os seres que a consomem, e, portanto, está dissociada à veiculação de agentes contaminantes e/ou patogênicos⁵.

O tratamento da água implica na utilização de substâncias químicas como o cloro, por exemplo, que em dosagens inadequadas, sejam altas ou baixas podem tornar a água prejudicial à saúde.⁶ E quando as suas propriedades físico-químicas e/ou microbiológicas se encontram alteradas, isso configura um quadro de risco para os consumidores.⁷ Neste sentido, o homem deve estar atento aos fatores que podem interferir negativamente na qualidade da água de consumo humano.⁸

A água é um dos principais veículos de patogenias, neste sentido é imprescindível

sua avaliação.⁹ Para que seja considerada potável deve obedecer aos padrões estabelecidos na Portaria 2914 do Ministério da saúde, que dispõe sobre os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e o seu padrão de potabilidade.¹⁰

Nos sistemas de distribuição de água potável, a qualidade desta pode sofrer uma série de variações, fazendo com que a qualidade da água que chega nas torneiras dos usuários se diferencie daquela que deixa a estação de tratamento.¹¹

Diante dessas considerações, o presente trabalho teve como objetivo avaliar e comparar os padrões físico-químicos da água de abastecimento, entre a Estação de Tratamento de Água (ETA) e os bairros do Coqueirinho, Marabá, Paes de Carvalho e Centro no município de Salvaterra-PA, afim de verificar se há variações da água tratada na Estação de Tratamento de Água (ETA) até chegar nas torneiras dos consumidores finais. Secundariamente, os resultados foram comparados com a portaria 2914 do Ministério da Saúde.

2. Material e Métodos

2.1. Tipo de pesquisa e área de estudo

A pesquisa desenvolvida neste trabalho foi quanti-qualitativa,¹² em que os dados quantitativos e qualitativos foram coletados e analisados para se compreender se existe variações da água tratada na ETA até chegar nas torneiras dos consumidores finais.

A área estudada foi o município de Salvaterra, no qual está localizado na mesorregião do Marajó, inserido na microrregião do Arari, no Estado do Pará. Possui uma extensão territorial de 704 km², sendo o menor município, em extensão, no Arquipélago do Marajó.¹³ Suas coordenadas geográficas são 00° 45' 21" de latitude e 48° 45' 54" de longitude W Greenwich.¹⁴

A Figura 1 apresenta o mapa de localização dos pontos de coleta de água nos bairros Coqueirinho, Marabá, Paes de Carvalho, Centro e na Estação de Tratamento

de Água (ETA). Esses pontos foram escolhidos, pelo fato dos mesmos serem abastecidos pela água tratada da companhia de abastecimento local.

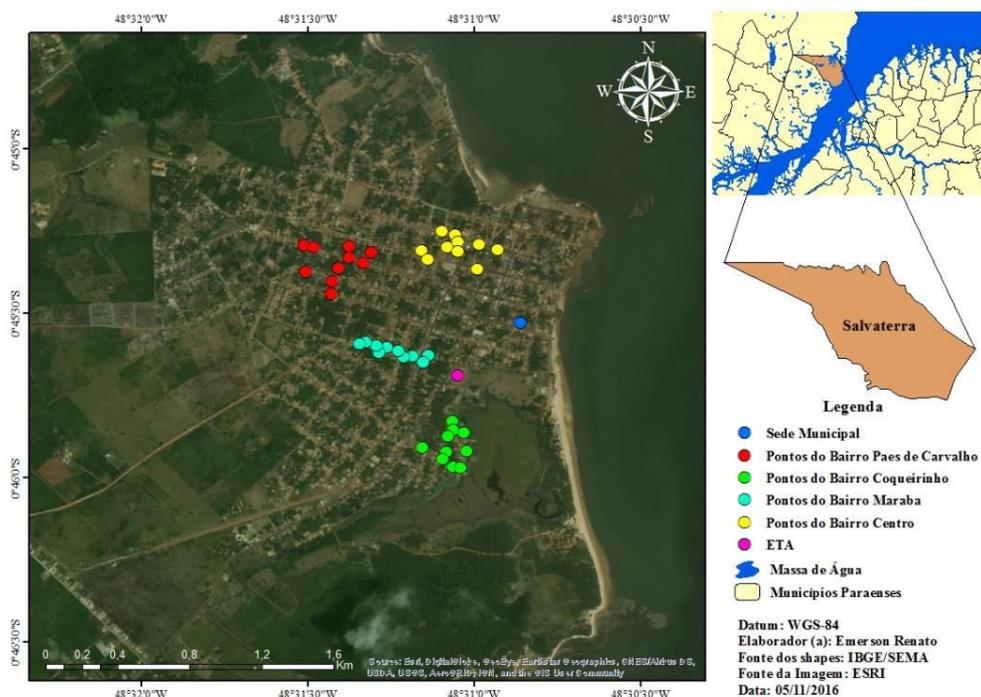


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo. **Fonte:** Autoria própria, 2017

2.2. Coleta, armazenamento e transporte das amostras

As coletas nos bairros ocorreram em pontos previamente selecionados. Em cada bairro foram selecionadas dez residências, totalizando quarenta casas, nas quais foram coletadas uma amostra de água em cada uma, além das três amostras coletadas na ETA.

As coletas ocorreram durante três dias no mês de junho do ano de 2016, no período seco. Nos dois primeiros dias foram coletadas as amostras dos quatro bairros e analisados os parâmetros *in situ*, sendo dois bairros por dia, um no período da manhã e outro no da tarde, e no terceiro dia foram coletadas e analisadas somente as amostras da ETA, no período da tarde.

Todas as amostras foram coletadas em

frascos plásticos estéreis de 1 litro, acondicionadas em um recipiente térmico com gelo, e em seguida foram transportadas até a cidade de Belém para o Laboratório de Físico-química do Centro de Tecnologia Agropecuária (CTA) na Universidade Federal Rural da Amazônia, (UFRA).

2.3. Análises *in situ* e laboratoriais

Para as análises *in situ* foram adotados alguns métodos instrumentais.

Na determinação do potencial hidrogeniônico (pH, adimensional) foi utilizando um pHmetro de campo digital *Instrutherm*[®], modelo PH-1900 devidamente calibrado com soluções tamponadas (pH 4,0 e 7,0).

A condutividade elétrica (CE) expressa em

$\mu\text{S cm}^{-1}$ foi determinada por meio de um condutímetro portátil *Instrutherm*[®], modelo CD-850, previamente calibrado com solução padrão de $1413 \mu\text{S cm}^{-1}$. A temperatura (expressa em grau Celsius, °C) e o oxigênio dissolvido (OD) expresso em mg L^{-1} foram determinados utilizando-se um oxímetro portátil *Instrutherm*[®], modelo MO-910, também calibrado antecipadamente.

Para determinação da turbidez (expressa em unidade de turbidez, uT), foi utilizado um turbidímetro portátil *Instrutherm*[®], modelo TD-300, devidamente calibrado com soluções de 0 e 100 uT. Os sólidos totais dissolvidos (STD ou TDS), expresso em mg L^{-1} , foi determinado utilizando-se uma sonda HANNA, modelo HI-9829.

A determinação dos parâmetros de cloreto (Cl^-), acidez total, alcalinidade total, íons cálcio (Ca^{2+}), íons magnésio (Mg^{2+}) e dureza total, todos expressos em mg L^{-1} foram realizadas no Laboratório de físico-química do CTA na UFRA-Belém, através de métodos volumétricos amplamente recomendados para análises de água.^{15,16,17}

2.4. Tratamento estatístico dos dados

Após as análises físico-químicas, os resultados foram tabulados no software Microsoft Office Excel[®] 2013. Em seguida, os dados foram submetidos ao teste de Tukey, assim como aplicado a Análise de Componentes Principais (PCA) e Análise Hierárquica de Agrupamentos (HCA), por meio do software Minitab 16 Statistical[®].

3. Resultados e Discussão

3.1. Comparação dos parâmetros físico-químicos entre a ETA e os bairros

A Tabela 1 fornece os valores gerais referentes às médias e desvio padrão dos parâmetros de pH, Oxigênio Dissolvido (OD), temperatura, turbidez, Sólidos Totais Dissolvidos (STD) e Condutividade Elétrica (CE) determinados após as análises das amostras dos bairros Coqueirinho (CQ), Marabá (MB), Paes de Carvalho (PC), Centro (CT) e na Estação de Tratamento de Água (ETA). Assim como os valores máximos permitidos (VMP) dispostos na portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde.

De acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$), evidenciado na representação por letras, os valores de pH, dispostos na Tabela 1, nos bairros e na ETA não apresentaram variação significativa.

Verifica-se que os valores de pH no bairro do Marabá e na ETA foram inferiores aos dos bairros do Coqueirinho, Paes de Carvalho e Centro, em média o pH permaneceu em torno de 8,0, indicando a basicidade da água. Esses valores encontram-se em conformidade com a portaria 2914/2011. Segundo Heller¹⁸ o valor de pH dentro dos limites desejáveis contribui para uma maior estabilidade do cloro na água de abastecimento, dificultando a proliferação de microrganismos patogênicos.

Com relação ao parâmetro oxigênio dissolvido (OD), nota-se que o bairro do Coqueirinho apresentou um valor acima dos demais bairros e da ETA, atrás com as mesmas médias vieram a ETA e o Centro, seguidos do Paes de Carvalho e Marabá respectivamente. Com base no resultado do teste de Tukey ($p < 0,05$), nota-se que o bairro do Marabá apresentou variação significativa com os demais bairros e a ETA.

O baixo teor ou até mesmo a ausência de OD em águas, é um indicador de poluição.¹⁹ Assim, se análises físico-químicas detectarem em águas subterrâneas baixo teor ou inexistência de OD, isso pode indicar possível contaminação dos lençóis freáticos por material orgânico.

Tabela 1. Médias gerais e desvio padrão geral dos parâmetros físicos

Pontos Amostrais	pH	OD (mg L ⁻¹)	Temperatura (°C)	Turbidez (uT)	STD (mg L ⁻¹)	CE (µS cm ⁻¹)
CQ	8,16 ^A ± 0,22	7,24 ^A ± 0,28	28,23 ^C ± 0,36	2,99 ^B ± 0,39	27,73 ^B ± 0,46	55,43 ^B ± 0,81
MB	7,85 ^A ± 0,83	4,87 ^B ± 1,68	29,08 ^{AB} ± 0,86	3,73 ^{AB} ± 0,42	27,76 ^B ± 0,23	55,70 ^B ± 0,62
PC	8,18 ^A ± 0,30	6,80 ^A ± 1,16	28,27 ^{BC} ± 0,77	3,88 ^A ± 0,36	27,03 ^B ± 0,19	54,20 ^B ± 0,36
CT	8,30 ^A ± 0,02	7,22 ^A ± 0,11	29,14 ^A ± 0,63	3,88 ^A ± 0,95	27,60 ^B ± 0,49	55,06 ^B ± 0,95
ETA	7,87 ^A ± 0,34	7,22 ^A ± 0,32	28,47 ^{ABC} ± 0,25	1,86 ^C ± 0,76	34,89 ^A ± 14,47	69,90 ^A ± 28,00
VMP*	6 a 9,5	-	-	5 uT	1000 mg L ⁻¹	-

Nota: Médias seguidas pela mesma letra na coluna não apresentam diferença significativa entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Os itens com tracejado (-) não são preconizados pela portaria. *VMP: Valores Máximos Permitidos. Fonte: Autoria própria, **2017**.

Para o parâmetro temperatura, o teste de Tukey ($p < 0,05$), aponta que a ETA compartilhou características com todos os bairros analisados. Entretanto, o bairro do Coqueirinho apresenta diferença significativa com os bairros Marabá e Centro e apresenta semelhanças com os demais bairros. O Centro por sua vez, divergiu significativamente do Coqueirinho e Paes de Carvalho, e compartilhou características com os demais.

No resultado das análises físico-químicas, observa-se que os valores da temperatura variam em média de 28 °C a 29 °C.

Com base nos resultados do parâmetro temperatura dispostos na tabela 1 observa-se que os bairros Coqueirinho e Paes de Carvalho, em que as coletas e as análises ocorrem no período da manhã, apresentaram uma temperatura menor em relação aos bairros do Marabá e Centro, onde as análises de temperatura foram realizadas no período

da tarde. Por esse motivo acredita-se que essa variação se deva aos períodos de coleta e análises das amostras. Pois a temperatura é influenciada por fatores tais como latitude, altitude, estação do ano, período do dia, taxa de fluxo e profundidade.²⁰ A legislação não estabelece valores para o parâmetro temperatura.

De acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$), para o parâmetro turbidez, a ETA apresentou diferença significativa com todos os bairros. O Marabá compartilhou características com todos os grupos, exceto a ETA, conjectura-se que isso ocorra pelo fato do bairro do Marabá está localizado em uma região intermediária entre esses bairros. O Centro e o Paes de Carvalho não apresentaram diferença significativa entre si, o Coqueirinho compartilhou características com o Marabá e divergiu significativamente com os demais.

Quanto ao resultado das análises físico-químicas da turbidez, as médias dos bairros

encontram-se acima das médias obtidas na ETA. Acredita-se que isso se deva ao trajeto que a água percorre ao longo de sua distribuição, visto que ela foi aumentando progressivamente da ETA até os bairros do Coqueirinho e Marabá, depois se mantendo estável nos bairros Paes de Carvalho e Centro, considerando que este é o respectivo trajeto que a água percorre no processo de distribuição.

O parâmetro turbidez corresponde a um indicador sentinela estabelecido pela legislação, que funciona como um sinalizador de ineficiência no tratamento, pois quando se encontra elevada na água tratada indica que alguma operação do processo de tratamento está inadequada.²¹

Embora possa ter origem natural e não trazendo inconvenientes sanitários, é esteticamente indesejável na água para consumo humano.²²

A portaria do MS 2.914/2011, estabelece que o valor máximo permitido na água para consumo humano é de até 5 uT (unidade de turbidez), e com base nos resultados, todos os valores para turbidez estão dentro dos limites aceitáveis pela portaria.

Quanto ao teor de sólidos totais dissolvidos (STD), observa-se que o valor obtido na ETA foi superior aos bairros analisados. STD é a soma de todos os constituintes químicos dissolvidos na água²³, e na ETA de Salvaterra, a única etapa química que compõe o tratamento da água é a cloração que é realizada com um dosador.

A FUNASA²⁴ estabelece que em sistemas de tratamento de água para o abastecimento público, faz-se necessário a utilização de um clorador no processo de desinfecção, que é um aparelho que regula a quantidade do produto a ser ministrado, de tal modo que a dosagem aplicada fique em torno de 1,0 mg.L⁻¹, para que, após o tempo de contato, se obtenha na saída do tratamento, no mínimo 0,5 mg.L⁻¹.

Deste modo, acredita-se que pelo fato do processo de cloração ser realizado na ETA, a

água que foi coletada na mesma deva possuir em maiores quantidades constituintes químicos dissolvidos e possivelmente esse processo possa ser o maior contribuinte para a elevada concentração de STD na ETA. O teste de Tukey ($p < 0,05$) aponta que a ETA apresentou diferença significativa em relação aos bairros e nos bairros não houve diferença significativa entre si.

Em relação à condutividade elétrica (CE), assim como no resultado dos STD, a ETA apresentou um valor mais elevado que nos bairros. Acredita-se que esse resultado apresente relação com o de STD, pois a condutividade de uma água indica a sua capacidade de transmitir corrente elétrica, em função da presença de substâncias dissolvidas, que se dissociam em ânion e cátion.²⁵ Este resultado também pôde ser confirmado no trabalho de Motta e colaboradores,²⁶ onde o aumento da condutividade elétrica foi acompanhado pelo aumento dos sólidos totais dissolvidos.

A Tabela 2 fornece os valores gerais referentes às médias e desvio padrão dos parâmetros de Acidez, Alcalinidade, Cloreto, Cálcio (Ca²⁺), Magnésio (Mg²⁺) e Dureza Total determinados após as análises das amostras dos bairros Coqueirinho (CQ), Marabá (MB), Paes de Carvalho (PC), Centro (CT) e na Estação de Tratamento de Água (ETA). Assim como os valores máximos permitidos (VMP) dispostos na portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde.

Observando a Tabela 2, verifica-se que a acidez na ETA apresentou um valor acima dos obtidos nos bairros, os quais apresentaram valores díspares entre si. Conforme Felski e colaboradores,²⁷ águas ácidas, por serem menos mineralizadas são mais recomendáveis para o consumo do que as águas alcalinas. No entanto, o alto teor de acidez além de conferir um sabor amargo na água pode causar corrosão nas tubulações.²⁸ A portaria 2.914/2011 não preconiza VMP para esse parâmetro.

Tabela 2. Médias e desvio padrão geral dos parâmetros químicos

Pontos Amostrais	Acidez (mg L ⁻¹)	Alcalinidade (mgL ⁻¹)	Cloreto (mg L ⁻¹)	Ca ²⁺ (mg L ⁻¹)	Mg ²⁺ (mg L ⁻¹)	Dureza Total (mg L ⁻¹)
CQ	10,20 ^B ± 2,86	6,56 ^A ± 1,31	14,84 ^A ± 0,98	0,97 ^A ± 0,16	1,08 ^A ± 0,27	6,87 ^A ± 0,83
MB	12,10 ^{AB} ± 2,60	4,90 ^B ± 0,62	15,52 ^A ± 0,94	0,84 ^A ± 0,17	0,95 ^A ± 0,18	6,04 ^A ± 0,46
PC	9,71 ^B ± 3,01	4,66 ^B ± 0,92	14,71 ^A ± 0,91	1,00 ^A ± 0,23	1,08 ^A ± 0,31	6,94 ^A ± 1,13
CT	15,58 ^A ± 3,06	5,80 ^{AB} ± 0,74	14,58 ^A ± 0,94	1,00 ^A ± 1,19	1,06 ^A ± 0,27	6,87 ^A ± 0,89
ETA	18,13 ^A ± 7,60	5,80 ^{AB} ± 1,70	17,14 ^A ± 4,44	1,11 ^A ± 0,24	0,90 ^A ± 0,31	6,48 ^A ± 1,06
VMP*	-	-	250 mg/L	-	-	500 mg/L

Nota: Médias seguidas pela mesma letra na coluna não apresentam diferença significativa entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Os itens com tracejado (-) não são preconizados pela portaria. *VMP: Valore Máximos Permitidos. Fonte: Autoria própria, **2017**.

Por meio do teste de Tukey ($p < 0,05$), a ETA e o Centro não apresentaram diferença significativa entre si. O Coqueirinho e o Paes de Carvalho não apresentaram diferenças significativas entre si. O Marabá compartilhou características com todos os bairros e com a ETA, conjectura-se que pelo fato de estar em uma área de intermédio entre os bairros.

Os valores médios de alcalinidade obtidos na ETA e no Centro foram inferiores ao do Coqueirinho e superiores ao do Marabá e Paes de Carvalho. Em águas para o consumo humano, a alcalinidade em concentrações moderadas não possui significado sanitário. No entanto, em níveis elevados, pode ocasionar um sabor desagradável.²⁴

De acordo com o teste Tukey ($p < 0,05$), para os valores de alcalinidade, observa-se que o bairro do Centro e a ETA não apresentaram diferenças significativas entre si. Porém, por apresentarem médias

próximas aos valores de Coqueirinho, Marabá e Paes de Carvalho, os mesmos compartilham letras iguais na mesma coluna.

De acordo com os resultados de cloreto, na ETA suas concentrações apresentaram-se acima da dos bairros. Os cloretos encontram-se presentes normalmente em águas naturais em quantidades muito variáveis, sua concentração depende de condições químicas, podendo ser provenientes de depósitos minerais, para águas subterrâneas, por exemplo.¹⁸ E em sistemas de abastecimento, o elevado teor de cloreto pode ser associado ao processo de cloração, muitas vezes, realizado de maneira incorreta.

Mesmo em concentrações elevadas, os cloretos presentes na água não causam prejuízo à saúde, no entanto conferem um sabor salgado na água.²⁹ No presente estudo, os valores encontrados estão de acordo com o permitido pela portaria 2.914/11, que é de até 250 mg L⁻¹. Segundo o teste de Tukey

($p < 0,05$), as amostras analisadas nos bairros e na ETA não apresentaram diferenças significativas entre si.

Analisando os resultados para o teor de cálcio (Ca^{2+}), segundo o teste de Tukey ($p < 0,05$), observa-se que a ETA e os bairros não apresentaram diferença significativa entre si. Da mesma maneira, os resultados do teor de magnésio (Mg^{2+}) na ETA e nos bairros não diferiram significativas entre si.

Analisando os resultados das concentrações de dureza total, segundo o teste de Tukey ($p < 0,05$), observa-se que as amostras dos bairros e da ETA não apresentaram diferenças significativas.

Quanto à classificação da água ao seu grau de dureza, a água analisada pode ser considerada como mole ou branda, pois os resultados foram inferiores a 50 mg.L^{-1} de CaCO_3 . Tal característica imprime a água a facilidade em dissolver (fazer espuma) sabão, pela baixa concentração dos íons cálcio e magnésio.³⁰ Segundo a portaria em destaque neste trabalho, o limite máximo permitido para dureza total em água potável deve ser 500 mg L^{-1} . O que indica, portanto, que neste requisito, a água analisada está dentro dos limites aceitáveis.

3.2. Análise estatística multivariada: PCA e HCA

Com o objetivo de conduzir uma melhor interpretação dos dados multivariados, foram utilizadas as médias gerais de sete pontos em cada um dos quatro bairros e, as médias das

amostras da ETA. Esses pontos escolhidos foram os que mais contribuíram para a separação dos grupos durante a elaboração dos gráficos de PCA e HCA.

Os parâmetros utilizados para conduzir a análise estatística foram oxigênio dissolvido (OD), temperatura ($^{\circ}\text{C}$), turbidez (NTU), sólidos totais dissolvidos (STD), condutividade elétrica (CE), acidez e alcalinidade. Esses parâmetros foram escolhidos com base no mesmo critério adotado para a escolha dos sete pontos em cada bairro.

Para melhor interpretação dos dados, resultantes das análises físico-químicas e químicas, aplicou-se a PCA (*Principal Component Analysis*). A PCA é uma ferramenta de compreensão, utilizada com o objetivo de reduzir a dimensionalidade de um conjunto de dados e detectar variáveis mais significativas com o mínimo de perda dos dados originais, preservando o máximo de informação possível.³¹

Foi construída uma matriz de dados com os sete pontos selecionados, que correspondem a trinta e uma amostras de água e sete variáveis (31x7).

Deste modo, a PCA projetou inicialmente os dados em um espaço com sete dimensões no plano (7 PCs), mas apenas as seis componentes principais iniciais (PC1: 34,0%, PC2: 24,2%, PC3: 17,8%, PC4: 10,2%, PC5: 7,8% E PC6: 5,9%) foram mais significativas, totalizando 99,9% da variância dos dados. Desta maneira, obteve-se o gráfico de *score* por meio da projeção PC1 x PC2, como observado na Figura 2.

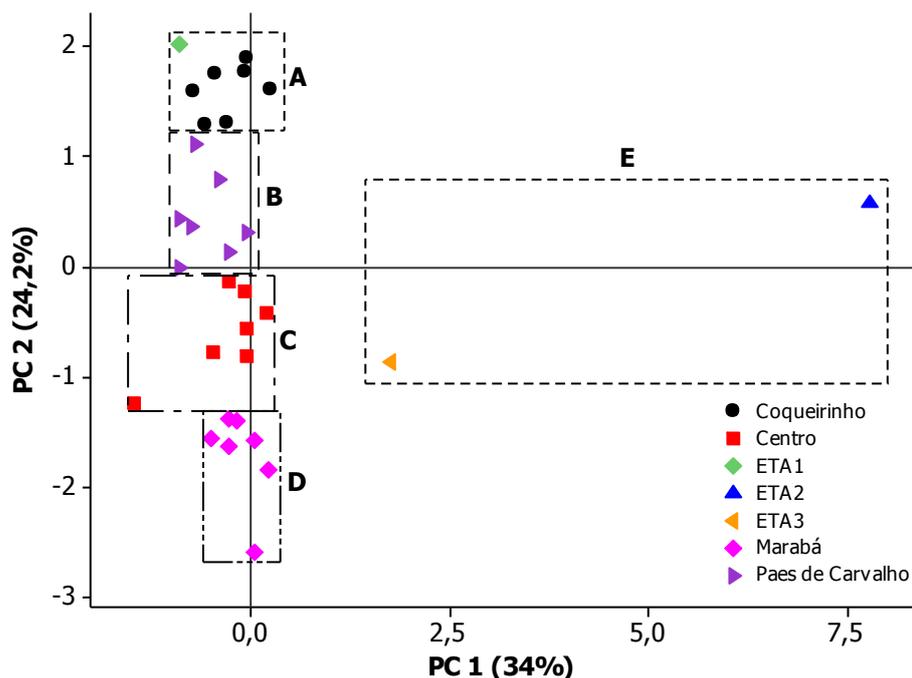


Figura 2. Gráfico dos scores PC1 x PC2 correspondentes às amostras analisadas nos bairros e na ETA. **Fonte:** Autoria própria, 2017

Analisando o gráfico de *scores* foi possível observar claramente a separação de cinco grupos (destacados nos quadros), os quais foram Coqueirinho e ETA 1 (grupo A), Paes de Carvalho (grupo B), Centro (grupo C), Marabá (grupo D) e ETA3 e ETA 2 (grupo E). Os grupos formados representaram uma diferença entre as amostras de águas de abastecimento coletadas nos bairros do Coqueirinho, Marabá, Paes de Carvalho, Centro e as ETA 1, 2 e 3. Essa separação foi influenciada por meio das propriedades físico-químicas distintas de cada bairro e das amostras da ETA.

No gráfico de *loading*, representado pela Figura 3, observa-se que a alcalinidade e o oxigênio dissolvido (OD), foram os parâmetros que contribuíram significativamente para a separação dos grupos A e B.

De acordo com os resultados das análises físico-químicas para estes parâmetros, o bairro do Coqueirinho e a ETA (grupo A) apresentaram as maiores médias em relação aos demais bairros, comprovando a formação deste grupo. O bairro Paes de Carvalho, por sua vez, apresentou uma das menores médias para estes parâmetros, o que explica a formação do grupo B.

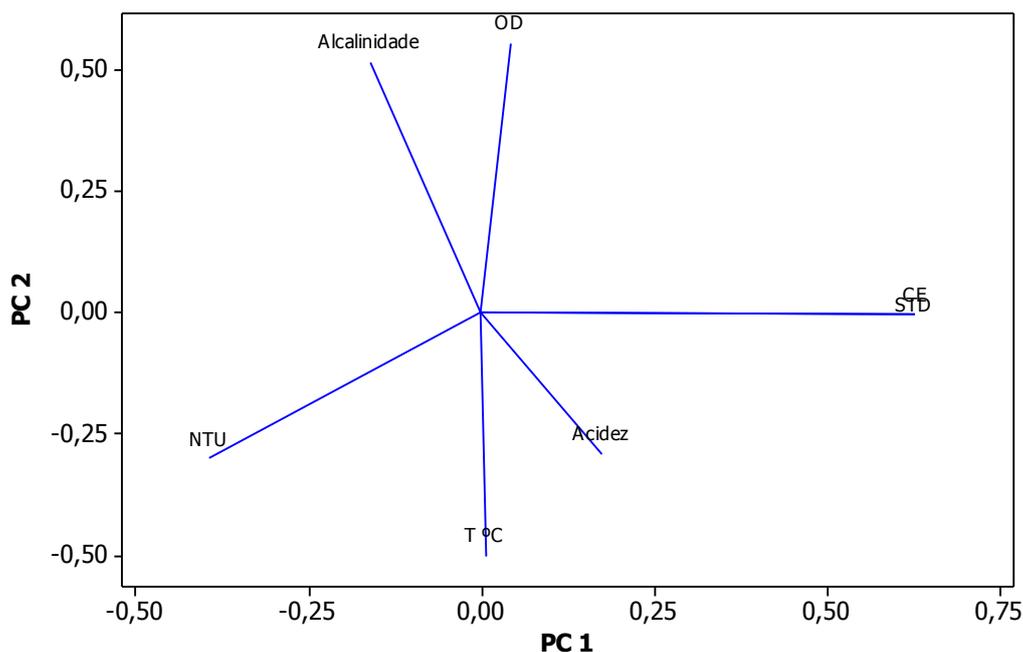


Figura 3. Gráfico de loadings correspondentes aos parâmetros que mais contribuíram para a separação e formação dos grupos. **Fonte:** Autoria própria, 2017

Os parâmetros turbidez (NTU) e temperatura ($^{\circ}\text{C}$) foram os que contribuíram significativamente para a separação dos grupos C e D, constituídos pelos bairros do Centro e Marabá respectivamente. Analisando os resultados das análises físico-químicas para estes parâmetros foi possível observar que os bairros Centro e Marabá apresentaram um dos maiores valores para

estes parâmetros, contribuindo para a separação desses grupos.

Os parâmetros que contribuíram significativamente para a formação do grupo E foram a condutividade elétrica (CE), sólidos totais dissolvidos (STD) e a acidez. Com base nos resultados das análises físico-químicas, a acidez, CE e STD nas ETAs foram os mais elevados em relação aos demais bairros.

Tabela 3. Valores de *loadings* para as componentes principais, variância explicada e variância acumulada

Parâmetros	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
OD (mg L^{-1})	0,043	0,553	-0,227	0,699	-0,079	-0,381
T ($^{\circ}\text{C}$)	0,006	-0,502	-0,483	0,091	-0,699	-0,130
NTU (μT)	-0,393	-0,301	0,232	0,637	0,035	0,543
STD (mg L^{-1})	0,626	-0,003	0,115	0,134	-0,114	0,264

CE ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	0,629	-0,005	0,116	0,128	-0,089	0,248
Acidez (mg L^{-1})	0,175	-0,292	-0,651	0,118	0,665	0,063
Alcalinidade (mg L^{-1})	-0,160	0,516	-0,459	-0,221	-0,202	0,639
Variância explicada (%)	34,0	24,2	17,8	10,2	7,8	5,9
Variância acumulada (%)	34,0	58,3	76,1	86,3	94,1	100

Nota: os valores mais significativos estão em negrito (*loading* > 0,50). Fonte: Autoria Própria, 2017.

A Tabela 3 com os pesos dos coeficientes referentes aos parâmetros determinados permite analisar através de valores (pesos), quais desses parâmetros tiveram maior importância e se correlacionaram com as componentes principais mais significativas.

A PC1, explicou 34,0% da variância dos dados, agrupando informações a respeito de STD (0,626), CE (0,626). A PC3, explicou 17,8% da variância dos dados, concentrando informações a respeito da acidez (-0,651) e a PC5, elucidou 7,8% da variância dos dados, também empregando informações a respeito da acidez (0,665). As PCs supracitadas foram as mais significativas para a separação do grupo E (ETA2 e ETA3).

Analisando conjuntamente o gráfico de *loading* e os valores da Tabela 3, negritados nas PCs 1, 3 e 5 foi possível explicar esse comportamento. De acordo com os resultados das análises físicas-químicas, as ETAS 2 e 3 foram as que apresentaram os valores mais elevados para os parâmetros supracitados. Fato este que contribuiu para o distanciamento deste grupo em relação aos demais.

A PC2 explicou 24,2 % da variância dos dados, pois concentrou informações a respeito das variáveis oxigênio dissolvido (OD) (0,553) e alcalinidade (0,516). O que contribuiu para a separação dos grupos A e B.

Através dos resultados das análises físico-químicas dispostos nas Tabelas 1 e 2, o grupo A (Coqueirinho e ETA 1) apresentou maior média para o parâmetro OD e o grupo B (Paes de Carvalho) apresentou uma das menores médias para alcalinidade. Fatores que contribuíram para a separação deste grupo.

A PC4, explicou 10,2 % da variância dos dados, pois agrupou informações a respeito da variável turbidez (0,637), que contribuiu significativamente para a separação dos grupos C e D. A PC6 explicou 5,9% da variância dos dados, também agrupando informações a respeito da turbidez (0,543), contribuindo juntamente com a PC4 para a separação dos grupos C e D. Os resultados das análises físico químicas na Tabela 1 evidenciam que os bairros do Marabá e Coqueirinho apresentaram os menores valores para turbidez, fato este que contribuiu para a separação do grupo.

Os resultados obtidos das associações entre as variáveis físico-químicas, observadas na projeção das PCs (PC1 x PC2), por meio da associação entre os parâmetros determinados e empregando-se a padronização dos dados, ligações completas e distância euclidiana, obteve-se o dendrograma fornecido na Figura 4.

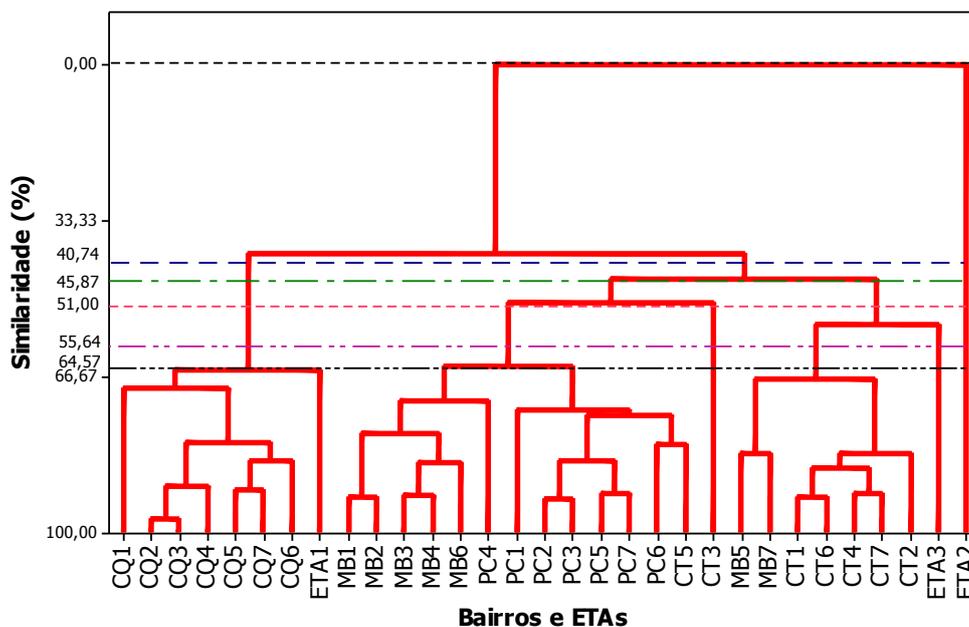


Figura 4. Dendrograma para as análises físico-químicas das amostras de águas de 4 bairros urbanos e a ETA. **Fonte:** Autoria própria, 2017

A Figura 4 representa o dendrograma obtido pela HCA, a HCA é usada para analisar um conjunto de dados em termos de grupos definidos dispostos de maneira hierárquica, de acordo com o grau de similaridade entre variáveis ou amostras.³¹ Analisando a Figura 4 foi possível observar o agrupamento entre 31 pontos analisados nos quatro bairros e nas amostras da ETA no município de Salvaterra.

No dendrograma observa-se a formação de dois grandes grupos, um formado pela ETA 2, não apresentou similaridade com nenhum dos agrupamentos. Confirmando assim o que a PC1 elucidou, uma vez que essa amostra foi a que mais se distanciou de todos os grupos. E o outro se constituiu por subgrupos formados pelos bairros e as ETAs 1 e 3. As linhas horizontais significam as similaridades dos grupos.

Analisando o dendrograma da esquerda para a direita foi observado uma similaridade no bairro do Coqueirinho (CQ) e a ETA 1, essa configuração deve-se aos parâmetros de alcalinidade e oxigênio dissolvido, confirmado pelo PCA.

Seguindo da esquerda para a direita, observa-se que o bairro do Paes de Carvalho

(PC) apresenta 64,57% de similaridade com a maioria das amostras do Marabá (MB), exceto as amostras MB5 e MB7, que possuem maior similaridade com a maioria das amostras do bairro Centro (CT). O PCA mostra que é a PC2 que os afasta. Enquanto que, a PC1 os une. Os parâmetros que levaram a formação desse agrupamento foram turbidez e a temperatura que apresentaram valores aproximados em suas médias.

A amostra CT3 apresentou uma similaridade de 51,00% com os bairros Paes de Carvalho e Marabá, exceto MB5 e MB7, e essa similaridade deve-se a proximidade das médias quanto aos parâmetros de turbidez e temperatura. No entanto, observa-se que a amostra CT3 se distanciou dos demais, devido ao valor elevado de turbidez.

O grupo formado pelas amostras do bairro do centro (CT), exceto as amostras CT3 e CT5, MB5 e MB7 e ETA 3 apresentaram 55,64% de similaridade entre si. O fator que levou a esta similaridade foram os parâmetros de turbidez e temperatura. No entanto, a amostra ETA 3 se distanciou dos demais, devido à elevação das médias quanto aos parâmetros STD, CE e acidez.

4. Conclusão

Com base nos resultados conclui-se que as propriedades físico-químicas da água analisada sofrem variação ao sair da ETA até chegar às torneiras dos consumidores, assim como também foi notada variações entre as amostras dos bairros. No entanto essas variações não implicam em mudanças bruscas no seu estado físico-químico, tampouco na sua qualidade.

Com base na comparação dos resultados das análises físico-químicas com os valores máximos permitidos preconizados na portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde, verifica-se que estão em conformidade com a mesma.

Para que se possa entender melhor as variações dos parâmetros físico-químicos entre os bairros e a ETA, recomenda-se um estudo de monitoramento que forneça dados de análises em diferentes períodos do ano, pois algumas alterações nos parâmetros físico-químicos podem sofrer alterações entre os períodos seco e chuvoso.

Além das análises físico-químicas, recomendam-se análises microbiológicas, pois ambas associadas irão fornecer uma ampla gama de informações, o que se faz necessário para compreender se a companhia de tratamento e abastecimento de água está obedecendo a rigor os padrões de potabilidade prescritos na legislação vigente.

Referências Bibliográficas

- ¹ Scuracchio, P. A.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Estadual Paulista, 2010. [Link]
- ² Silva, R. C. A.; Araújo, T. M. Qualidade da água do manancial subterrâneo em áreas urbanas de Feira de Santana (BA). *Ciência & Saúde Coletiva* **2003**, *8*, 1019. [Link]
- ³ Brasil. *Agência Nacional de Águas – ANA*. Abastecimento urbano de água: panorama nacional. Brasília-DF, 2010. [Link]
- ⁴ Azevedo, R. P. Uso de água subterrânea em sistema de abastecimento público de comunidades na várzea da Amazônia central. *Acta Amazônica* **2006**, *36*, 13, [Link]
- ⁵ Correa, D. A.; Amaral, L. *Trabalho de Conclusão de Curso*. Campos Gerais, FACICA, 2012. [Link]
- ⁶ Tominaga, M. Y.; Midio, A. F. Exposição humana a trihalometanos presentes em água tratada. *Revista de Saúde Pública* **1999**, *33*, 413. [Link]
- ⁷ Germano, P. M. L.; Germano, M. I. S. A água: um problema de segurança nacional. *Revista Higiene Alimentar* **2001**, São Paulo, v. 15, p. 15 -18. [Link]
- ⁸ Barcellos, C. M.; Magalhães, R.; Rodrigues, L. S.; Costa, C. C.; Oliveira, P. R.; Silva, I. J.; Jesus, E. F. M. Rolim, R. G. Avaliação da qualidade da água e percepção higiênico-sanitária na área rural de Lavra, Minas Gerais, Brasil, 1999-2000. *Caderno de Saúde Pública* **2006**, *22*, 1967. [Link]
- ⁹ Scalize, P. S.; Barros, E. F. S.; Soares, L. A.; Hora, K. E. R.; Ferreira, N. C.; Baumann, L. R. F. Avaliação da qualidade da água para abastecimento no assentamento de reforma agrária de Canudos, Estado de Goiás. *Revista Ambiente & Água* **2014**, *9*, 696. [CrossRef]
- ¹⁰ Brasil. Constituição da república Federativa do Brasil, 1988. *Portaria de nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011*. Dispõe sobre o controle e vigilância da qualidade da água para o consumo humano.
- ¹¹ Freitas, M. B.; Brilhante, O. M.; Almeida, L. M. Importância da análise de água para a saúde pública em duas regiões do Estado do Rio de Janeiro: enfoque para coliformes fecais, nitrato e alumínio. *Cadernos de Saúde Pública* **2001**, *17*, 651. [Link]
- ¹² Creswell, J. W. *Reseachdesigne: qualitative, quantitative, and mixed methods approaches*, 4a. ed., Sage: California, 2014.

- ¹³ Lisboa, P. L. B. *A terra dos Aruã: uma história ecológica do arquipélago do Marajó*, Museu Paraense Emílio Goeld: Belém, 2012.
- ¹⁴ Sítio do IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia Estatística, 2016. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=150630&search=para|alvaterra>>. Acesso em: 10 abril 2016.
- ¹⁵ *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*; APHA, AWWA, and WEF, 21a. ed., 2005.
- ¹⁶ Garcez, L. N.; *Manual de procedimentos e técnicas laboratoriais voltado para análises de água e esgotos sanitário e industrial*. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, 2004.
- ¹⁷ Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. Água – determinação de alcalinidade – Métodos potenciométrico e titulométrico: NBR12621, Rio de Janeiro, 1996.
- ¹⁸ Heller, L.; *Saneamento e Saúde*. OPAS/OMS: Brasília, 1997. [[Link](#)]
- ¹⁹ Veiga, G.; *Trabalho de Conclusão de Curso*, Universidade Federal de Santa Catarina, 2005. [[Link](#)]
- ²⁰ São Paulo (Estado). *Secretaria do Meio Ambiente*. Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem, São Paulo, 2009. [[Link](#)]
- ²¹ Araújo, M. C. S. P.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal de Campina Grande, 2010. [[Link](#)]
- ²² Souza, J. A. R.; Moreira, D. A.; Condé, N. M.; Carvalho, W. B.; Carvalho, C. V. M. Análise das condições de potabilidade das águas de surgências em Ubá, MG. *Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science* **2015**, *10*, 614, Taubaté. [[CrossRef](#)]
- ²³ Parron, L. M.; Muniz, D. H. F.; Pereira, C. M. *Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água*. Colombo: Embrapa Florestas, 2011. [[Link](#)]
- ²⁴ Brasil. *Fundação Nacional de Saúde*. Manual de cloração de água em pequenas comunidades: utilizando o clorador simplificado desenvolvido pela FUNASA. FUNASA: Brasília-DF, 2014. [[Link](#)]
- ²⁵ Brasil. *Fundação Nacional de Saúde*. Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS. FUNASA: Brasília-DF, 2014. [[Link](#)]
- ²⁶ Motta, M.; Silva, V. L.; Montenegro, A. A. A.; Montenegro, M. G. L.; Correa, M. M. Avaliação da qualidade da água dos mananciais na ilha de Fernando de Noronha. *Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science* **2008**, *3*, 114. [[Link](#)]
- ²⁷ Felski, G.; Anaissi, F. J.; Quináia, S. P. Avaliação da qualidade da água consumida pela população do município de Guarapuava, Paraná. *Revista Eletrônica Lato Sensu* **2008**, *1*, 1.
- ²⁸ Renovato, D. C. C.; Sena, C. P. S.; Silva, M. M. F.; Anais do *9º Congresso de Iniciação Científica do IFRN*, Currais Novos, Brasil, 2013. [[Link](#)]
- ²⁹ Brasil. *Ministério da Saúde*. Secretaria de Vigilância em Saúde. Boas práticas no abastecimento de água: procedimentos para a minimização de riscos à saúde. Ministério da Saúde: Brasília-DF, 2006. [[Link](#)]
- ³⁰ Macêdo, J. A. B.; *Águas & Águas*, 2a. ed., CRQ-MG: Belo Horizonte, 2004.
- ³¹ Carvalho, F. I. M.; Lemos, V. P.; Dantas Filho, H. A.; Dantas, K. G. F. Avaliação da qualidade das águas subterrâneas de Belém a partir de parâmetros físico-químicos e níveis de elementos traço usando análise multivariada. *Revista Virtual de Química* **2015**, *7*, 2221. [[CrossRef](#)]