

Indicadores para avaliação de variáveis climáticas e de qualidade da água na rede de distribuição de um município paulista

Indexes for the evaluation of climatic variables and water quality in the distribution network of a municipality in São Paulo, Brazil

Sergio Augusto Rodrigues¹, Paulo André Oliveira², Carlos Roberto Padovani³

RESUMO: A água é um recurso natural de extrema importância para diversas atividades humanas, sendo essencial seu uso racional e sustentável. O monitoramento da água destinada ao consumo humano deve considerar a pluralidade de parâmetros que podem propiciar alterações em sua qualidade, destacando-se fatores climáticos como temperaturas do ar, radiação solar, precipitações pluviométricas entre outros. Considerando a importância de estudos do monitoramento da qualidade da água em diversas condições climáticas, este estudo teve por objetivo criar indicadores que retratem de forma sintética as condições ambientais e as características físico-químicas e microbiológicas (residuais de cloro, pH, turbidez, cor aparente, flúor, temperatura da água, ocorrência de coliformes totais e bactérias heterotróficas) avaliadas em amostras de água coletadas na rede de distribuição de um município paulista entre os anos de 2007 a 2011. Para isso, foi utilizado o procedimento multivariado de análise fatorial visando melhorar a qualidade das informações extraídas dos dados. O uso desse procedimento envolvendo os conjuntos isolados de oito variáveis de qualidade de água e dez climáticas permitiu, para o primeiro, o emprego de três fatores com retenção acumulada de 69,7% da variância total e o segundo, dois fatores com 67,5%, destacando-se como uma ferramenta importante para sintetizar as informações em indicadores. A avaliação das correlações entre os escores dos indicadores obtidos apontaram situações de interesse para a gestão da qualidade da água quanto às características microbiológicas e físico-químicas.

Palavras-chave: Água de consumo. Análise fatorial. Estatística multivariada.

ABSTRACT: Since water is a highly important natural resource for various human activities, its rational and sustainable use is essential. Water monitoring for human consumption should take into account several parameters that may change its quality. Climatic factors such as air temperature, solar radiation, rainfall and others should be highlighted. Since studies on water quality monitoring in various climatic conditions are underscored, current study established indicators that synthetically retract environmental conditions and physicochemical and microbiological characteristics (chlorine residuals, pH, turbidity, apparent color, fluoride, water temperature, occurrence of total coliforms and heterotrophic bacteria) evaluated in water samples collected in the distribution network of a municipality in the state of São Paulo, between 2007 and 2011. Multivariate factor procedures were employed to improve the quality of the information extracted from data. The use of this procedure involved isolated sets of eight variables of water quality and ten climatic variables in the case of the former and the use of three factors with accumulated retention of 69.7% of the total variance and, in the case of the latter, two factors with 67.5%, standing out as an important tool to synthesize data by indicators. The evaluation of correlations between the scores of the indicators obtained revealed interesting points in the management of water quality with regard to microbiological and physical chemical characteristics.

Keywords: Multivariate statistics. Factorial analysis. Water consumption.

Autor correspondente:

Sergio Augusto Rodrigues: sergio.rodrigues@unesp.br

Recebido em: 23/09/2019

Aceito em: 17/06/2020

INTRODUÇÃO

O crescimento econômico e o desenvolvimento de novas tecnologias têm como uma de suas consequências o aumento populacional e consequentemente o aumento na demanda mundial por recursos naturais, em especial a água potável.

A água é uma fonte natural renovável devido sua capacidade de se recompor rapidamente em quantidade, principalmente, pelas chuvas. No entanto é considerada finita, pois pode se tornar inapropriada ao consumo humano

¹ Docente do Departamento de Bioprocessos e Biotecnologia, Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA), Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), Botucatu (SP), Brasil.

² Docente da Faculdade de Tecnologia de Botucatu do Centro Paula Souza (FATEC), Botucatu (SP), Brasil.

³ Docente do Departamento de Bioestatística, Biologia Vegetal, Parasitologia e Zoologia, Instituto de Biociências (IBB), Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), Botucatu (SP), Brasil.

ao ser comprometida por fontes poluidoras. Sua distribuição é irregular no tempo e geograficamente, sendo que sua ocorrência depende de uma junção de fatores, podendo ser influenciada pelas condições climáticas e meteorológicas (CONEGO, 1993 *apud* RODRIGUES; BATISTELA, 2013).

Apesar de persistir no Brasil a ideia de abundância de água tratada disponível para o consumo, sabe-se que sua oferta não é uniforme entre as regiões brasileiras, apresentando contrastes em relação ao percentual de domicílios atendidos por rede de distribuição de água tratada. Ou seja, enquanto 87,5% dos domicílios da região Sudeste são atendidos por rede de distribuição, na região Nordeste observa-se um índice em torno de 58,7% (RODRIGUES; BATISTELA, 2013).

Para garantir o uso múltiplo das águas brasileiras, há necessidade da satisfação simultânea de critérios mínimos de qualidade, sendo os parâmetros estipulados pela resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005) que estabelecem os padrões de qualidade necessários para cada finalidade ou utilização das águas superficiais. Quanto aos critérios mínimos para a água distribuída para o consumo humano, estes foram regidos pela Portaria 518/04 até o ano de 2011 (período dos dados deste estudo), sendo atualizada pela Portaria 2914/11 (BRASIL, 2011) e revogada pela Portaria de consolidação de nº 05 de 2017 (BRASIL, 2017).

Nesta portaria se estabelece a necessidade de que a água distribuída para o consumo humano atenda um padrão mínimo de potabilidade, avaliado a partir da mensuração de características físicas, químicas, microbiológicas e radioativas, sendo que estações de tratamento são responsáveis por garantir o consumo sem riscos à saúde por meio do controle e desinfecção antes de sua distribuição (BRASIL, 2011; BRASIL, 2017).

Uma comparação das características de qualidade da água mensuradas logo após o tratamento realizado nas estações e em pontos de coleta de água na rede de distribuição de um município paulista verificou que apenas a temperatura média da água apresentava-se diferente, enquanto turbidez, cor aparente, concentrações de flúor e cloro, pH e presenças de microrganismos não apresentaram diferenças significativas (RODRIGUES *et al.*, 2016).

418

Apesar das redes de distribuição de água dos municípios brasileiros serem sistemas fechados, com pouco ou nenhum contato com o ambiente externo, entender o comportamento de variáveis que caracterizam a qualidade da água em diferentes condições climáticas pode contribuir para o monitoramento e controle da qualidade da água das estações de tratamento. Recentemente, diversos estudos discutiram a importância do monitoramento de características da água na rede de distribuição para garantir sua qualidade em todos os sistemas (KARIKARI; AMPOFO, 2013; ECK; SAITO; MCKENNA, 2016; IKONEN *et al.*, 2017; WANG; ZHU; YANG, 2018).

Além disso, destaca-se a importância da utilização de procedimentos estatísticos que considerem toda estrutura de variação e de dependência das variáveis, proporcionando assim resultados mais próximos à realidade biológica. Considerando a pluralidade de variáveis que caracterizam a qualidade da água, Jachimowski (2017) utilizou o procedimento multivariado de análise fatorial para avaliar a qualidade da água na rede de distribuição de um município resumindo esta pluralidade em quatro fatores que explicam boa parte das informações de todo conjunto de dados.

Rodrigues *et al.* (2019) observaram uma associação linear significativa entre as condições climáticas de um município paulista e as características de qualidade da água mensuradas na rede de distribuição, utilizando o procedimento multivariado de correlação canônica. Os autores destacaram a ocorrência de concentrações mais baixas de cloro em meses do ano com temperaturas mais elevadas e com maior nível de precipitação.

Neste mesmo contexto, o objetivo geral desta pesquisa é criar indicadores que retratem de forma sintética as condições ambientais e as características físico-químicas e microbiológicas da água da rede de distribuição de um município paulista e propor um procedimento multivariado de análise de dados buscando facilitar os achados a respeito de possíveis associações entre a qualidade da água e fatores climáticos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na área urbana do município de Botucatu, posicionado na região central do Estado de São Paulo, com latitude Sul 22°53'09" e longitude 48°26'42".

Para as características climáticas, dados diários foram fornecidos pela Estação Meteorológica da Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu, Universidade Estadual Paulista (FCA/UNESP), com 786 metros de altitude.

Em relação à caracterização da qualidade da água, foram utilizados dados de amostras diárias de água coletadas aleatoriamente em pontos da rede de distribuição do município, entre os anos de 2007 a 2011, e avaliadas quanto às características físico-químicas e microbiológicas com parâmetros estabelecidos pela Portaria 518/04 (BRASIL, 2011), além da mensuração da temperatura da água, fornecidas pelo laboratório de controle sanitário da empresa responsável pela captação, tratamento, monitoramento e distribuição da água no município. Apesar de atualmente vigorar a Portaria de Consolidação nº 5 de 2017, o laboratório disponibilizou apenas dados de qualidade da água anteriores ao ano de 2011, período em que a Portaria 518/04 estava em vigor.

Assim, considerando o período disponibilizado pelas fontes oficiais, um banco de dados com as médias mensais das variáveis físico-químicas, microbiológicas e climáticas foi organizado, totalizando 60 observações no período de janeiro de 2007 a dezembro de 2011.

As dez variáveis climáticas utilizadas neste estudo foram representadas por DIASC (Frequência de dias chuvosos no mês), PP (Precipitação pluviométrica média mensal, em milímetros), TMIN, TMAX e TMED (Médias das temperaturas mínimas, máxima e médias diárias no mês, em °C), UR (Umidade relativa do ar média no mês, em %), VV (Velocidade média do vento, em quilômetros por hora, km/h), EV (Evaporação média, em milímetros), ISOL (média mensal de horas de brilho solar), RAD (Radiação solar global média no mês em cal.cm².dia⁻¹). Já as características físico-químicas e microbiológicas foram caracterizadas por CRL (Média mensal da concentração de Cloro Residual livre, em mg L⁻¹), F (Média mensal da concentração de Flúor, em mg L⁻¹), pH (Média mensal do pH de amostras diárias), TURB (Média mensal da Turbidez de amostras diárias, em uT), CORAP (Média mensal da cor aparente das amostras diárias, em UC), T (Temperatura média da água, em °C), CT (proporção de amostras no mês com ausência de coliformes totais) e HET (número médio mensal de unidades formadoras de bactérias heterotróficas, em UFC mL⁻¹).

Rodrigues *et al.* (2019) utilizaram a técnica multivariada denominada correlação canônica no estudo da associação entre estes dois conjuntos de variáveis. Com o intuito de confirmar os achados deste estudo anterior e propor indicadores de qualidade da água e das condições climáticas para facilitar avaliações em uma menor dimensão, outro procedimento de análise multivariada de dados é utilizado.

Para isso, inicialmente as associações entre as variáveis foram avaliadas por meio dos coeficientes de correlação linear de Pearson (r), obtendo-se matrizes de correlação amostral para os conjuntos de variáveis climáticas e de qualidade da água, bem como a matriz de correlação cruzada entre as variáveis dos dois conjuntos.

Com o intuito de melhorar a compreensão da variabilidade dentro e entre as variáveis, reduzindo a dimensão do vetor de resposta de cada conjunto de variáveis separadamente (dez variáveis climáticas e oito variáveis de características de qualidade da água) foi utilizado um procedimento estatístico de análise multivariada, considerando toda a estrutura de variação existente nos dados, mais precisamente a análise fatorial (JOHNSON; WICHERN, 2007). Na análise fatorial busca-se explicar a variabilidade total das variáveis de cada conjunto por meio de uma quantidade menor de variáveis não observadas, denominadas variáveis latentes ou fatores comuns, construídas a partir da combinação linear das variáveis originais e maximizando o poder de explicação simultâneo das variáveis. Assim, o conjunto de variáveis correlacionadas entre si torna-se sumarizado em variáveis latentes não correlacionadas que explicam de forma reduzida toda estrutura de variação existente nos dados, possibilitando gerar indicadores que expressam informações práticas dos dados do conjunto de variáveis climáticas e de características de qualidade da água e, conseqüentemente, facilitar um estudo simplificado de associação.

De acordo com Johnson e Wichern (2007), no modelo de análise fatorial a variabilidade do vetor aleatório composto pelas variáveis padronizadas com média nula e variância unitária (Z), é explicada, em parte, pelos fatores comuns e o restante pelos fatores não incluídos no modelo, ou seja, incorporadas ao erro aleatório. Dessa forma, tem-se o modelo $Z = \Lambda F + \epsilon$, sendo Z um vetor aleatório com os fatores comuns não observáveis (F), uma matriz de parâmetros

que necessitam serem estimados por algum mecanismo e um vetor de erros aleatórios que representa a variação das variáveis padronizadas não explicada nos fatores comuns incluídos no modelo.

Assim, pode-se dizer que a variabilidade de cada variável padronizada é decomposta em duas partes: a primeira representando a quantidade de variância explicada pelos fatores incluídos no modelo, chamada de comunalidade, e a segunda a quantidade da variabilidade não explicada pelos fatores e comumente chamada de unicidade ou variância específica.

A matriz é formada por coeficientes chamados de cargas fatoriais ou *loadings*, indicando o grau de relacionamento linear entre a variável padronizada original e os fatores. Para estimação destes coeficientes utilizou-se o método dos componentes principais, por meio da matriz de correlação, por ser um método usualmente empregado como análise exploratória de dados e não exigir suposições sobre a distribuição de probabilidade do vetor aleatório. Com o intuito de facilitar a interpretação dos fatores, a rotação *varimax* foi utilizada, não alterando o percentual acumulado de explicação da variância, as comunalidades e as variâncias específicas (JOHNSON; WICHERN, 2007).

O teste de *Bartlett* e o critério de *Kaiser-Meyer-Olkin* (KMO) foram utilizados para avaliar a adequabilidade do modelo de análise fatorial. O critério KMO consiste em uma medida variando de 0 a 1 de adequação amostral para aplicação da análise fatorial, podendo ser obtida tanto de uma forma global quanto individual para cada variável. Essa medida compara os coeficientes de correlações com as correlações parciais, sendo considerada aceitável para valores superiores a 0,50. Já a definição do número de fatores foi baseada no gráfico *Scree-plot* e no número de autovalores maiores que a unidade (HAIR JUNIOR, 2005; MINGOTI, 2005).

Resumidamente, as etapas de todo o procedimento metodológico podem ser observadas na Figura 1, destacando o objetivo da utilização da análise fatorial de reduzir o espaço dimensional, visando construir indicadores que resumem as 18 variáveis do estudo e, conseqüentemente, propiciando avaliações mais simplificadas deste universo de variáveis, entre as quais; avaliações de associações entre características da água e condições climáticas.

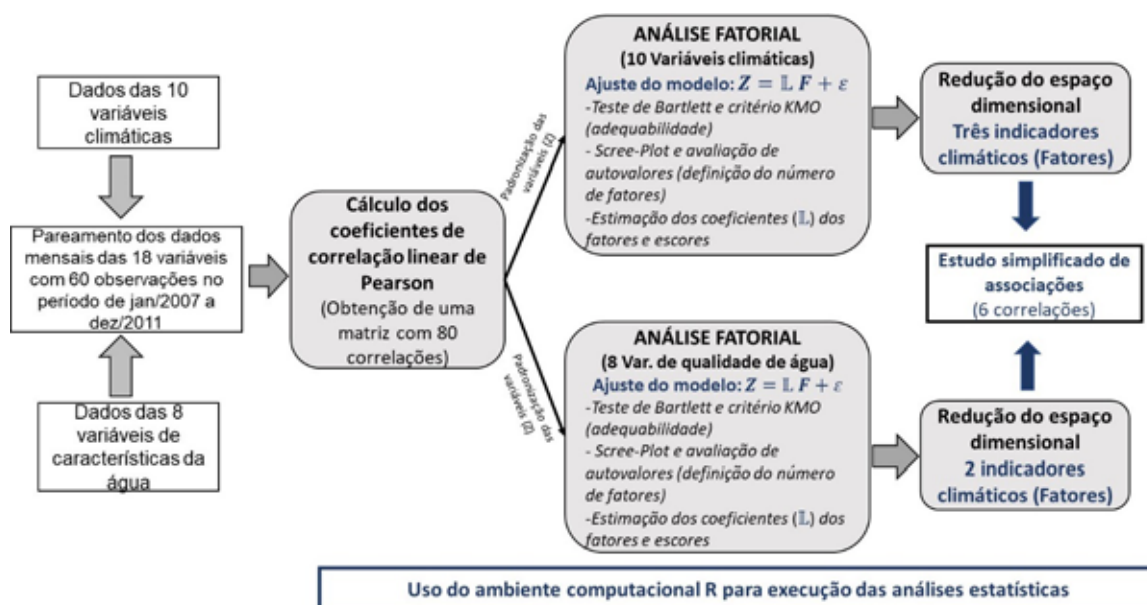


Figura 1. Fluxograma das etapas do procedimento metodológico utilizado

Destaca-se também que todos os procedimentos foram executados no ambiente computacional livre de análises de dados *R-Gui* (R CORE TEAM..., 2017).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 ASSOCIAÇÕES ENTRE PARES DE VARIÁVEIS

Em uma análise preliminar das associações entre as variáveis por meio do coeficiente de correlação linear de Pearson, a matriz de correlação amostral é apresentada na Figura 2 a fim de facilitar a visualização dessas associações.

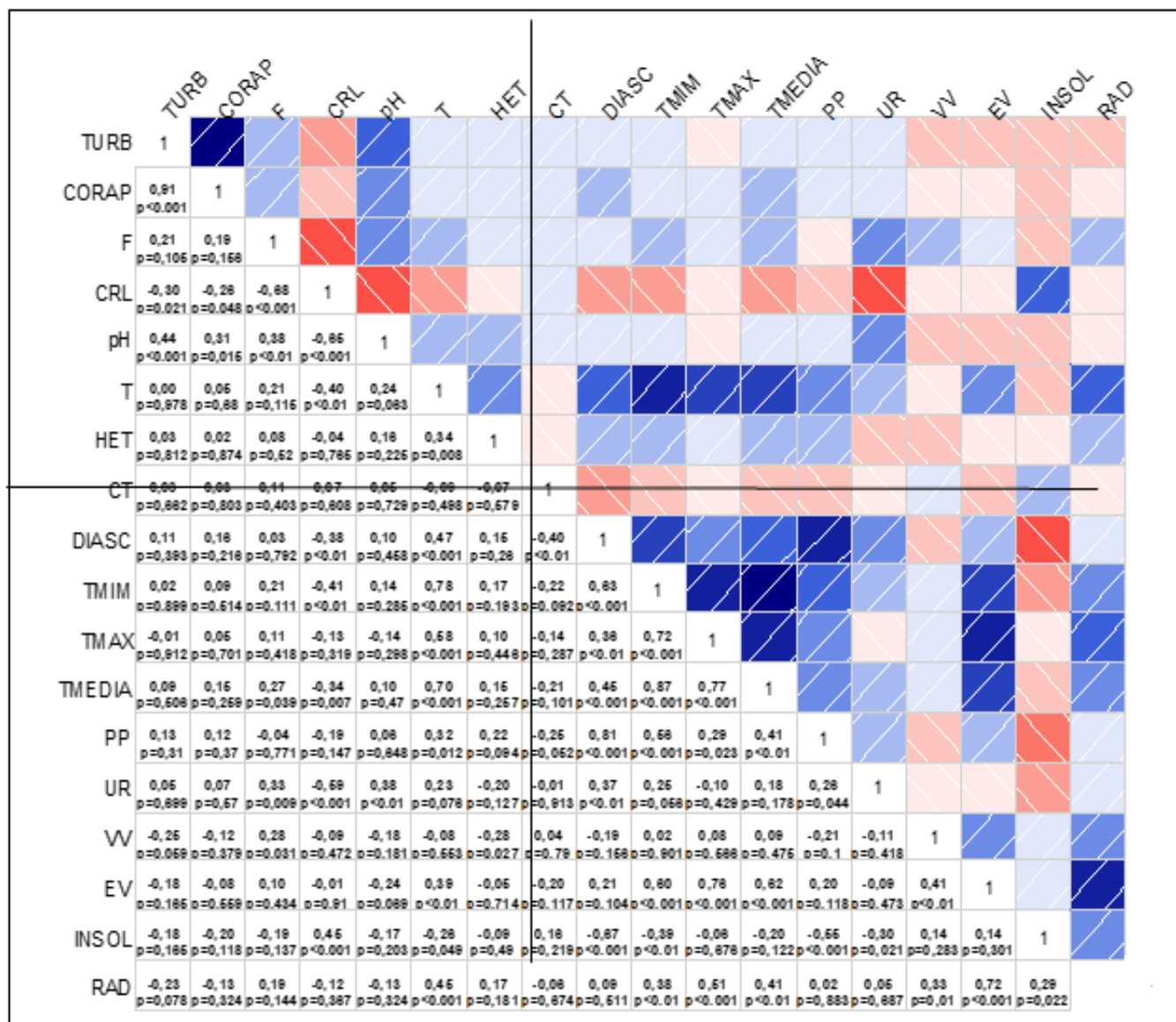


Figura 2. Gráfico das correlações entre as variáveis climáticas e de qualidade da água

Fonte: Adaptado de Rodrigues (2015).

Na Figura 2, os valores dos coeficientes de correlações de Pearson (r) estão apresentados abaixo da diagonal, enquanto acima destacam-se quadrados que indicam por cores a intensidade do grau de associação entre as mesmas. Os quadrados coloridos em tons de azul indicam correlações positivas e os quadrados vermelhos correlações negativas. Quanto mais escura a tonalidade da cor, maior o grau de associação, tanto positiva quanto negativa.

No conjunto de características da água observa-se com grau mais elevado correlações lineares significativas positivas entre as variáveis turbidez e cor aparente (r), enquanto as maiores negativas foram observadas entre as variáveis flúor e cloro (r) e entre cloro e pH (r). Já, no conjunto de variáveis climáticas, as maiores associações positivas

significativas ocorreram entre as temperaturas média e mínima (); a frequência de dias chuvosos e precipitação (); a temperaturas ambiente média e máxima (); temperatura máxima com evaporação (); e, também, evaporação e radiação solar ().

Destacam-se ainda associações entre frequência de dias chuvosos e proporção de amostras com ausência de coliformes totais (CT) com correlação negativa () e concentração de cloro associando-se negativamente com frequência de dias chuvosos), temperatura média e mínima (erespectivamente), umidade relativa () e positivamente com insolação ()).

Esses resultados indicam que meses mais chuvosos apresentaram mais amostras com presença de coliformes, assim como meses com menores concentrações de cloro foram meses com mais chuvas, maiores temperaturas, umidade relativa e menores graus de insolação.

3.2 DETERMINAÇÃO DE FATORES COM VARIÁVEIS DE CARACTERÍSTICA DA ÁGUA

A análise fatorial foi aplicada aos dados das variáveis relacionadas à característica de qualidade da água com o intuito de criar indicadores que possam resumi-las em variáveis latentes expressando informações biológicas de forma a maximizar a explicação do conjunto total de variáveis.

Inicialmente, para verificar se a matriz de correlação pode ser considerada igual à matriz identidade, foi utilizado o teste de *Bartlett*, cujo resultado rejeitou a hipótese de que as variáveis não estão correlacionadas entre si (). A medida global de adequação amostral para análise fatorial () apresentou um resultado igual a 0,67, indicando uma adequação aceitável (). As variáveis bactérias heterotróficas (HET) e frequência de amostras com ausência de coliformes totais apresentaram KMO abaixo de 0,50. No entanto, devido à sua importância biológica para caracterização da característica da água, optou-se por mantê-las na análise.

Com a aplicação da análise fatorial foram obtidos três fatores associados aos autovalores maiores que a unidade e com baixa redução nos autovalores dos fatores seguintes (Figura 3), os quais explicam 69,7% da variância total das variáveis originais deste conjunto (Tabela 1). Também utilizando análise fatorial para avaliar os fatores que afetam a qualidade da água na rede de distribuição, Jachimowski (2017) obteve 4 fatores, explicando 77% da variabilidade geral de características da água.

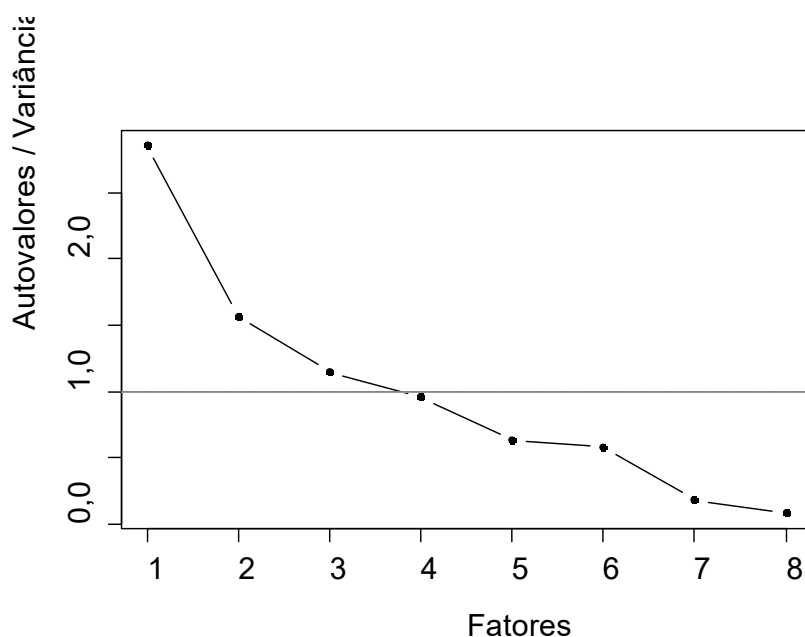


Figura 3. Gráfico Scree-plot do conjunto de variáveis de qualidade da água

Observa-se na Tabela 1 as estimativas das cargas fatoriais (*loadings*), obtidas pela rotação *varimax*, as comunalidades, as variâncias específicas (unicidades) e os pesos de ponderação de cada variável de qualidade da água padronizada para determinação dos escores fatoriais.

Tabela 1. Cargas fatoriais, percentual acumulado de explicação da variância, comunalidade, variância específica e coeficientes dos fatores do conjunto de variáveis de qualidade da água na distribuição (Varimax)

Variável	Carga fatorial *			Comunalidade	Variância específica	Coeficientes dos fatores		
	F1A	F2A	F3A			F1A	F2A	F3A
TURB	0,187	-0,960	0,026	0,957	0,043	-0,038	-0,672	0,101
CORAP	0,124	-0,952	-0,009	0,921	0,079	-0,135	-0,395	-0,135
F	0,834	-0,040	0,107	0,709	0,291	0,360	0,076	0,254
CRL	-0,898	0,151	0,087	0,837	0,163	-0,619	-0,105	-0,047
pH	0,694	-0,354	-0,108	0,618	0,382	0,183	0,011	-0,031
T	0,450	0,087	-0,636	0,615	0,385	0,074	0,017	-0,522
HET	0,085	-0,028	-0,755	0,577	0,423	-0,057	-0,022	-0,615
CT	0,169	0,011	0,561	0,343	0,657	0,070	0,019	0,310
% Acumulada	28,4	53,2	69,7					

* F1A - Componente Físico-Químico; F2A - Estético; e F3A - Microbiológico.

Fonte: Adaptado de Rodrigues (2015).

Essas cargas fatoriais (*loadings*) permitem caracterizar os três fatores, simbolizando indicadores de qualidade da água. O primeiro fator (F1A), correspondendo a 28,4% da variabilidade total dos dados, é caracterizado como um componente físico-químico, definindo-se como um contraste entre a soma das contribuições do flúor e do pH com o cloro. Já; o segundo fator (F2A), correspondendo a 24,8% da variabilidade, pode ser compreendido como um componente estético da água, mostrando a soma das características de turbidez e cor aparente da água. O terceiro fator (F3A), com 16,5% da variabilidade total dos dados, é um componente microbiológico, denotando um contraste entre a proporção de ausência de coliformes totais e a soma das contribuições da temperatura da água e quantidade de unidades formadoras de colônias de bactérias heterotróficas (Tabela 1).

Ainda de acordo com os dados dispostos na Tabela 1, destacam-se na composição do indicador da característica físico-química da água (coeficientes), representado pelo fator F1A, as variáveis cloro com peso negativo igual a -0,619 e as variáveis flúor e pH com pesos positivos iguais a 0,360 e 0,183, respectivamente. Este fator demonstra de forma simultânea que uma variação no valor da variável concentração de cloro é contraposta por uma variação acumulada na mesma direção nas variáveis flúor e pH. Para a determinação do escore mensal do indicador estético da água, representado pelo fator F2A, a variável com maior peso é turbidez, contribuindo com -0,672, seguida da variável cor aparente com -0,395. Já nos escores mensais do indicador microbiológico (fator F3A), tem-se as variáveis com maior peso, a quantidade de bactérias heterotróficas (-0,615) e a temperatura da água (-0,522), contrastando com o peso da proporção de amostras com ausência de coliformes totais (0,310).

3.3 DETERMINAÇÃO DE FATORES COM VARIÁVEIS CLIMÁTICAS

Considerando apenas as variáveis climáticas, observou-se a adequabilidade da análise fatorial pelo teste de *Bartlett* () e uma medida global de adequação amostral (KMO) igual a 0,74 com nenhuma variável apresentando KMO inferior a 0,50. Avaliando o gráfico *Scree-plot* percebe-se que apenas dois fatores apresentaram autovalores maiores que a unidade e, a partir destes, uma redução pequena na variância/autovalor (Figura 4).

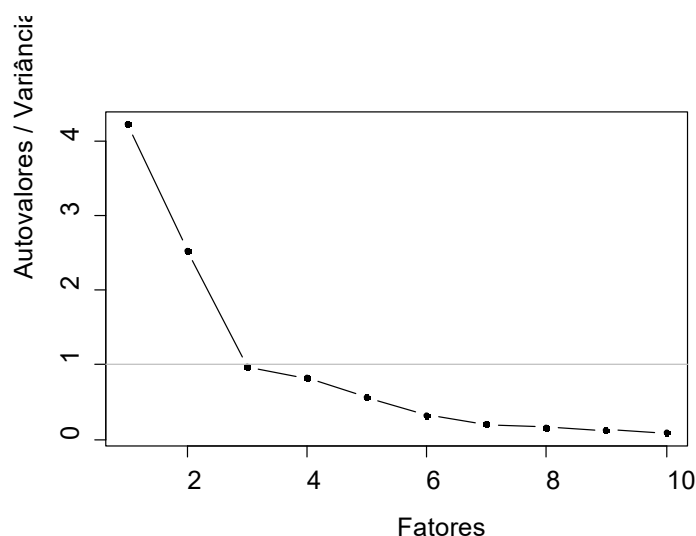


Figura 4. Gráfico *Scree-plot* do conjunto de variáveis climáticas

A partir da Tabela 2 percebe-se que apenas dois fatores são necessários para reter 67,5% da variabilidade total dos dados das características climáticas, sendo que a caracterização dos mesmos pode ser realizada observando as estimativas das cargas fatoriais (*loadings*), bem como as comunalidades e as variâncias específicas.

Tabela 2. Cargas fatoriais, percentual acumulado de explicação da variância, comunalidade e variância específica e coeficientes dos fatores do conjunto de variáveis climáticas (Varimax)

Variável	Carga fatorial *		Comunalidade	Variância específica	Coeficientes dos fatores	
	F1C	F2C			F1C	F2C
DIASC	-0,281	0,870	0,836	0,164	0,033	0,419
TMIM	-0,737	0,568	0,865	0,135	-0,212	0,230
TMAX	-0,863	0,170	0,773	0,227	-0,202	-0,030
TMEDIA	-0,796	0,379	0,776	0,224	-0,164	0,059
PP	-0,236	0,817	0,723	0,277	0,024	0,236
UR	0,043	0,504	0,256	0,744	0,020	0,061
VV	-0,384	-0,415	0,320	0,680	-0,048	-0,067
EV	-0,931	-0,083	0,874	0,126	-0,445	-0,243
INSOL	-0,095	-0,820	0,682	0,318	-0,082	-0,232
RAD	-0,773	-0,229	0,650	0,350	-0,145	-0,113
% Acumulada	42,2%	67,5%				

* F1C - Componente de Temperatura; e F2C - Precipitação.

Fonte: Adaptado de Rodrigues (2015).

O primeiro fator (F1C), correspondendo a 42,2% da variabilidade total dos dados deste conjunto, caracteriza-se como um componente da temperatura ambiente, representando o somatório das condições de temperatura do ar (mínima, máxima e média), evaporação e radiação solar. Já o segundo fator (F2C), com 25,3% da variabilidade, representa um contraste entre a insolação e a soma da precipitação, número de dias chuvosos e umidade relativa do ar (Tabela 2).

Os pesos de ponderação de cada variável climática padronizada para determinação dos escores fatoriais po-

dem ser observados na Tabela 2. Desta forma, para determinação dos escores do indicador da temperatura ambiente, representado pelo fator F1C, destacam-se com maiores pesos as variáveis evaporação (-0,445), temperaturas mínima, máxima e média (-0,212, -0,202 e -0,164) e radiação solar global com -0,145. Já para a determinação dos escores mensais do indicador de precipitação (fator F2C), as variáveis que mais contribuíram foram frequência de dias chuvosos (0,419), precipitação (0,236), evaporação (-0,243) e insolação (-0,232), indicando que a soma entre frequência de dias chuvosos e precipitação se antagoniza com a soma de evaporação e insolação.

3.4 CORRELAÇÃO LINEAR SIMPLES ENTRE OS FATORES CLIMÁTICOS E OS DE QUALIDADE DA ÁGUA

Considerando apenas os três indicadores (fatores) obtidos a partir da análise fatorial com as variáveis de qualidade da água (F1A, F2A e F3A) e os dois indicadores obtidos a partir das variáveis climáticas (F1C e F2C), os coeficientes de correlação linear amostral entre os escores dos mesmos, com seus respectivos valores de p do teste de significância, são apresentados na Tabela 3.

Verifica-se que F3A apresenta correlações significativas de forma negativa com F2C () e positiva com F1C (), sendo as maiores correlações apresentadas. Outra correlação significativa, mas de menor magnitude de associação, foi entre F1A e F2C ().

Tabela 3. Coeficientes de correlações (r) e respectivos valores p entre os indicadores de qualidade da água e climáticos

Indicadores de qualidade da água	Indicadores das condições climáticas	
	Temperatura ambiente (F1C)	Precipitação (F2C)
Físico-químico (F1A)	-0,15 (p=0,242)	0,29 * (p=0,023)
Estético (F2A)	-0,13 (p=0,315)	-0,18 (p=0,171)
Microbiológico (F3A)	0,34 * (p=0,008)	-0,37 * (p=0,003)

* significativo considerando um nível de 5% de significância.

Fonte: Adaptado de Rodrigues (2015).

Esses resultados indicam que valores altos de escores do indicador microbiológico da água (F3A) estão associados a valores baixos de escores do indicador de precipitação (F2C). Dessa forma, as cargas fatoriais destes indicadores (Tabela 1 para qualidade da água e Tabela 2 para variáveis climáticas) explicam que, nesta associação, os valores altos para F3A são observados quando a proporção de amostras com ausência de coliformes totais é alta e a temperatura da água conjuntamente com a quantidade de bactérias heterotróficas são baixas. Já, valores baixos para F2C são observados quando as medidas de insolação são elevadas, enquanto a frequência de dias chuvosos, precipitação e a umidade relativa são baixas.

Em relação à segunda maior medida de correlação, verifica-se que valores altos do indicador microbiológico (F3A) são observados quando os valores do indicador de temperatura ambiente (F1C) também são altos. Isso significa que quando a proporção de ausência de coliformes é alta e a temperatura da água e a quantidade de bactérias heterotróficas assumem valores baixos, também são observados valores baixos para temperatura ambiente (máxima, mínima e média), evaporação e radiação solar.

Esses resultados indicam uma relação entre a temperatura da água, sua qualidade microbiológica e algumas características climáticas. Estudos avaliando algumas características da água em sistemas de distribuição verificaram que a qualidade da água em toda a rede é afetada por fatores ambientais, destacando que temperaturas ambientes mais elevadas levam ao aquecimento do solo e, conseqüentemente, em conjunto com o tempo de permanência da água na tubulação, contribuem para o aumento da temperatura da água e decaimento do cloro (ECK; SAITO; MCKENNA, 2016; IKONEN *et al.*, 2017).

Outra correlação significativa foi entre o indicador físico-químico (F1A) e o indicador de precipitação (F2C). Esse resultado indica que situações com baixa quantidade de cloro na água e alta concentração de flúor e pH estão

associadas com baixos valores de insolação e altos valores da frequência de dias chuvosos, precipitação e umidade relativa.

Da mesma forma, observam-se outros artigos indicando associação entre algumas características microbiológicas e físico-químicas da água e características climáticas como a temperatura ambiente e precipitação, evidenciando a necessidade de um monitoramento das dosagens de cloro em períodos com temperaturas mais altas (BISHANKHA *et al.*, 2013; NOURI *et al.*, 2015; RODRIGUES *et al.*, 2019).

Destaca-se que o emprego deste procedimento multivariado (análise fatorial); corroborou os achados de Rodrigues *et al.* (2019), os quais avaliaram associações multivariadas entre os dois conjuntos de variáveis utilizando correlação canônica. Ademais, foi possível, neste estudo, a construção de indicadores que resumem as características climáticas e os diversos parâmetros avaliados para caracterizar a água distribuída no município, possibilitando estudos mais simplificados de associação.

Já ao comparar algumas variáveis da água observadas no final do tratamento e na rede de distribuição para consumo humano, Rodrigues *et al.* (2016) observaram diferença significativa apenas na temperatura média da água, constatando que a mesma se apresentou mais elevada na rede de distribuição, o que poderia ocasionar uma redução na concentração de cloro, sugerindo também a importância do monitoramento desta componente em dias com temperaturas mais elevadas.

Portanto, os resultados indicam pela necessidade da utilização de procedimentos multivariados para auxiliar a compreensão de fenômenos multidimensionais inerentes ao estudo de associações entre as diferentes variáveis intrínsecas aos sistemas de tratamento e distribuição da água dos municípios. Assim, na disponibilidade de dados, a repetição deste procedimento em outras localidades torna-se simples, facilitando o entendimento de associações envolvendo muitas variáveis.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso da análise fatorial envolvendo os conjuntos isolados de oito variáveis de qualidade de água e dez climáticas permitiu, para o primeiro, o emprego de três fatores com retenção acumulada de 69,7% da variância total e o segundo, dois fatores com 67,5%, destacando-se como uma ferramenta adequada para sintetizar as informações em indicadores e assim auxiliar os gestores que monitoram a qualidade da água distribuída para a população.

No conjunto de características de qualidade da água, obteve-se um indicador de cunho físico-químico da água representado pelo primeiro fator, onde destacam-se as variáveis flúor, cloro residual livre e pH. Em outro indicador obtido e representado pelo segundo fator foi possível caracterizar a estética da água, no qual destacam-se as variáveis turbidez e cor aparente; enquanto as variáveis temperatura da água, quantidade de colônias de bactérias heterotróficas e proporção de amostras com ausência de coliformes totais contribuíram para formar um indicador de qualidade microbiológica da água.

No conjunto climático, destacam-se a obtenção de indicadores de temperatura ambiente e de precipitação, representados respectivamente pelos dois fatores obtidos neste conjunto. No primeiro, despontam-se as variáveis temperatura ambiente, evaporação e radiação solar global e no segundo, frequência de dias chuvosos, precipitação e insolação. Neste conjunto, duas variáveis não participaram com destaque na composição dos fatores: umidade relativa e velocidade dos ventos.

Assim, conclui-se que é possível sintetizar as características climáticas e os parâmetros de qualidade da água monitorados nas estações de tratamento, visando simplificar a caracterização da água distribuída à população, bem como a avaliação de suas interrelações com o clima. Dessa forma, foi possível observar de forma compendiada, por meio destes indicadores, situações de interesse para a gestão da qualidade da água, mostrando que os indicadores microbiológicos e físico-químicos apresentam associações significativas com indicadores climáticos.

REFERÊNCIAS

- BISHANKHA, S.; BHATTA, D. R.; JOSHI, D. R.; JOSHI, T. P. Assessment of microbial quality of chlorinated drinking tap water and susceptibility of gram negative bacterial isolates towards chlorine, **Journal of Science, Engineering and Technology**, Kathmandu, v. 9, n. 1, p. 222-229, July 2013.
- BRASIL. Resolução Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, n. 53, p. 58-63, 18 mar. 2005. Seção 1.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 2.914, 14 de dezembro de 2011. Procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União**, Brasília, p. 39, 14 dez. 2011. n. 239. Seção 1.
- BRASIL. Ministério da Saúde. PORTARIA DE CONSOLIDAÇÃO Nº 5, DE 28 DE SETEMBRO DE 2017. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. **Diário Oficial da União**, Brasília, 5 set. 2017.
- ECK, B. J.; SAITO, H.; MCKENNA, S. A. Temperature dynamics and water quality in distribution systems. **IBM Journal of Research and Development**, v. 60, 5/6. 2016.
- HAIR JUNIOR, J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Análise multivariada de dados**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.
- IKONEN, J. M.; HOKAJÄRVI, A. M.; HEIKKINEN, J.; PITKÄNEN, T.; CISZEK, R.; KOLEHMAINEN, M.; PURSIAINEN, A.; KAUPPINEN, A.; KUSNETSOV, J.; TORVINEN, E.; MIETTINEN, I. T. Drinking water quality in distribution systems of surface and ground waterworks in Finland. **Journal of Water Security**, v. 3, 2017.
- JACHIMOWSKI, A. Factors Affecting water quality in a water supply network. **Journal of Ecological Engineering**, v. 18, 4, p. 110-117. July 2017.
- JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied multivariate statistical analysis**. 6. ed. New Jersey: Prentice-Hall, 2007. 800p.
- KARIKARI, A. Y.; AMPOFO, J. A. Chlorine treatment effectiveness and physico-chemical and bacteriological characteristics of treated water supplies in distribution networks of Accra-Tema Metropolis, Ghana. **Appl Water Sci**, 3, p. 535-543, 2013.
- MINGOTI, S. A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada**. Belo Horizonte: UFMG, 2005. 297p.
- NOURI, A.; SHAHMORADI, B.; DEHESTANI-ATHAR, S.; MALEKI, A. Effect of temperature on pH, turbidity and residual free chlorine in Sanandaj water distribution network, Iran. **Journal of advances in environmental health research**, Sanandaj, Iran, v. 3, n. 3, summer 2015.
- R CORE TEAM R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria. Disponível em: <http://cran.r-project.org/>. Acesso em: 20 jan. 2017.
- RODRIGUES, S. A.; BATISTELA, G. C. Uma revisão sobre a disponibilidade hídrica brasileira para geração de energia elétrica. **Geoambiente on-line**, Goiás-GO, n. 21, p. 48-67, 2013.
- RODRIGUES, S. A. **Associação entre variáveis climáticas e qualidade da água para consumo humano por meio de técnicas multivariadas**. 2015. xi, 118f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu, 2015.

RODRIGUES, S. A.; OLIVEIRA, P. A.; TREVIZAN, L. C.; PADOVANI, C. R. Comparação da qualidade da água para consumo na rede de distribuição e no final de tratamento. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 31, n. 3, p. 243-252, 2016.

RODRIGUES, S. A.; OLIVEIRA, P. A.; CERVI, R. G.; TREVIZAN, L. C.; PADOVANI, C. R. Canonical analysis of climatic factors associated with the quality characteristics of drinking water of a city in São Paulo State. **Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, Taubaté, v. 14, n. 1, e2219, 2019.

WANG, Y.; ZHU, G.; YANG, Z. Analysis of water quality characteristic for water distribution systems. **Journal of Water Reuse and Desalination**, v. 9, n. 2, p. 152-162, 2018.