



Estatística multivariada aplicada à análise de qualidade da água em diferentes ambientes de microbacias hidrográficas

Milena Scaramussa PASTRO¹, Roberto Avelino CECÍLIO¹, Sidney Sara ZANETTI¹, Francielle Rodrigues de OLVEIRA^{1*}, Fabrina Teixeira FERRAZ¹

¹Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES, Brasil.
(ORCID: 0000-0002-1000-4529; 0000-0003-2894-2481; 0000-0001-9135-3925; *, 0000-0001-9518-3978)

*E-mail: francielle.loyal@gmail.com (ORCID: 0000-0002-7135-432X)

Recebido em 13/03/2019; Aceito em 07/02/2020; Publicado em 13/04/2020.

RESUMO: Estudos sobre o comportamento da qualidade de água são importantes, desse modo, o objetivo deste trabalho foi agrupar as águas estudadas quanto à similaridade e selecionar as características físico-químicas para explicar a variabilidade da qualidade das águas em quatro microbacias. Para tanto, foram selecionadas quatro microbacias com diferentes usos do solo: pastagem, regeneração florestal, floresta e cafezal; sob diferentes ambientes: ambientes lêntico e lótico, nascentes e águas subterrâneas. As coletas ocorreram entre fevereiro de 2014 e dezembro de 2014, sendo analisados: coliformes totais e termotolerantes; oxigênio dissolvido (OD); nitrogênio total (Nt); PO4³⁻; turbidez; temperatura; pH; Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO); condutividade elétrica (CE); sólidos totais (ST); sólidos dissolvidos (SD); sólidos suspensos (SS); e os metais cálcio, magnésio e ferro. Utilizou-se técnicas de análise estatística multivariada, por meio da análise de agrupamento (AA) e análise de componentes principais (ACP). Na AA, foram formados quatro grupos distintos no período chuvoso e três no período seco. A diferença entre os ambientes foi o principal fator de influência na segregação dos grupos. A partir da ACP foram selecionadas 4 componentes principais que explicaram 73,09% da variância total dos dados. As variáveis selecionadas foram CE, turbidez, magnésio, ferro, SD, Nt, DBO, pH e coliformes termotolerantes.

Palavras-chave: recursos hídricos; análise de agrupamento; componentes principais; manejo de bacias hidrográficas.

Multivariate statistics applied to water quality in different hydrographic microbase environments

ABSTRACT: Studies on the water quality behavior are important, so the objective of this work was to group the studied waters regarding the similarity and to select the physical-chemical characteristics to explain the variability of water quality in four micro-basins. Four micro-basins with different soil uses were selected: pasture, forest regeneration, forest and coffee; under different environments: lentic and lotic environments, springs and groundwater. The collections occurred between February 2014 and December 2014, being analyzed: total coliforms and thermotolerant; dissolved oxygen (OD); total nitrogen (Nt); PO4³⁻; turbidity; temperature; pH; Biochemical Oxygen Demand (BOD); electrical conductivity (EC); total solids (TS); dissolved solids (SD); suspended solids (SS); and the metals calcium, magnesium and iron. Multivariate statistical analysis techniques were used, through cluster analysis (AA) and principal component analysis (PCA). In AA, four distinct groups were formed in the rainy season and three in the dry season. The difference between the environments was the main factor of influence in the segregation of the groups. From the PCA, 4 main components were selected, which explained 73.09% of the total data variance. The selected variables were CE, turbidity, magnesium, iron, SD, Nt, BOD, pH and thermotolerant coliforms.

Keywords: water resources; cluster analysis; principal components; river basin management.

1. INTRODUÇÃO

Embora haja significativo potencial hídrico no Brasil, sendo o país com maior volume de água doce do planeta (SHIKLOMANOV, 1993), a pressão sobre os recursos naturais e o cenário de mudanças ambientais têm reflexo na disponibilidade hídrica. Assim, as alterações na cobertura florestal podem afetar o ciclo hidrológico, em disponibilidade e qualidade dos recursos hídricos disponíveis.

A ocupação não planejada da terra pode acarretar diversos problemas relacionados à qualidade da água (LEE et

al., 2009; TRAN et al., 2010). Atividades antropogênicas como práticas agrossilvipastoris podem impactar negativamente na qualidade dos recursos hídricos por meio do uso inadequado dos solos, da exploração desordenada dos recursos naturais, do desmatamento e do uso indiscriminado de fertilizantes, corretivos e agrotóxicos (BEN-HUR et al., 2011; GRÜTZMACHER et al., 2008; HUANG et al., 2010; LOBATO et al., 2008; WANG et al., 2008).

Sob essa perspectiva, o monitoramento da qualidade da água se torna fundamental para garantia do bem-estar da

população e em estudos que objetivam entender as interações entre água e ambiente. Tais monitoramentos são feitos por meio do acompanhamento de variáveis que, por muitas vezes, geram um grande volume de informações. Nesse sentido, diversos estudos têm utilizado técnicas multivariadas que auxiliam a interpretação de um grande número de dados, como, por exemplo, a análise de agrupamento e a análise de componentes principais (BERTOSSO et al., 2013; FERNANDES et al., 2010; PALÁCIO et al., 2011; GUEDES et al., 2012).

A análise de agrupamento tem por finalidade reunir unidades amostrais com o máximo de homogeneidade dentro dos grupos e o máximo de heterogeneidade entre os grupos; a análise de componentes principais, por sua vez, é uma técnica estatística multivariada que transforma um grande volume de dados em um conjunto menor de variáveis não correlacionadas, com a maior parte das informações contidas no conjunto original (HAIR et al., 2009). A redução de variáveis, no monitoramento da qualidade da água, diminui o número de análises laboratoriais e leva, conseqüentemente, à economia de tempo e recursos.

Desse modo, diante da importância dos estudos de uso e ocupação do solo no gerenciamento dos recursos hídricos, o presente estudo teve o objetivo de agrupar as águas de microbacias do Córrego Horizonte quanto à similaridade e selecionar as características físico-químicas mais importantes, a fim de explicar a variabilidade da qualidade das águas em diferentes ambientes de microbacias pertencentes à Bacia do Rio Itapemirim.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

A área de estudo está inserida na sub-bacia do Córrego Horizonte, no município de Alegre, sul do estado do Espírito Santo, e pertence à bacia do Rio Itapemirim. De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo tropical quente úmido (Cwa), com inverno frio e seco (ALVARES et al., 2013). A temperatura média é de 23,1°C e a precipitação média anual é de 1.341 milímetros, com estações seca e chuvosa bem definidas, com precipitações médias mensais de 26,7 mm e 242,2 mm, respectivamente (LIMA et al., 2008).

Selecionaram-se quatro microbacias, as quais possuem características representativas da sub-bacia do Córrego Horizonte e estão próximas entre si, sujeitas, portanto, a condições climáticas semelhantes (Figura 1). As microbacias selecionadas apresentam, cada uma, diferentes ambientes com diferentes usos do solo predominantes, incluindo pastagem, cafeicultura, área de regeneração florestal e área de floresta nativa.

A microbacia em área de pastagem possui 27,5 ha, com 89,5% submetidos a pastejo contínuo de bovinos, do tipo extensivo. Na área, não são usados insumos agrícolas e a eliminação da vegetação espontânea se dá por meio de operações anuais de roçagem. As amostras de água coletadas nessa área correspondem às águas originárias dos ambientes: nascente (PN), ambiente lântico (PLE) e ambiente lótico (PLO).

Na microbacia em área de regeneração, constatou-se que até o ano de 2011 havia atividade de pastagem, com a presença de bovinos, caprinos e ovinos, sem uso de insumos agrícolas (SOUZA, 2011). Posterior a isso, destinou-se uma parte da área para reflorestamento. Dos 13,3 ha da

microbacia, 32,2% correspondem à vegetação arbórea. A coleta de amostra de água nessa microbacia foi possível apenas para o ambiente subterrâneo (RS).

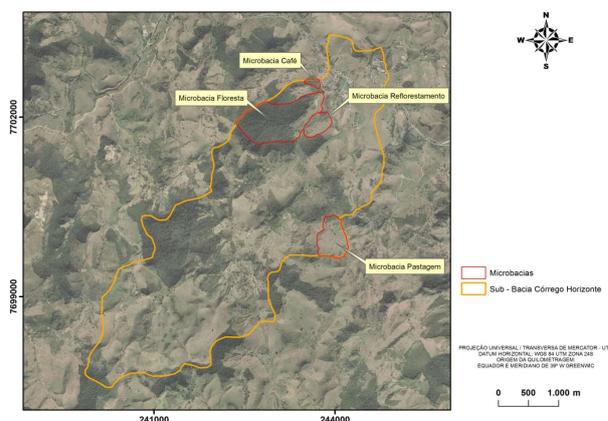


Figura 1. Área de estudo com as microbacias selecionadas.
Figure 1. Study area with selected watersheds.

A microbacia em área de floresta é uma área de regeneração natural há 50 anos, classificada como Floresta Estacional Semidecidual, onde parte desta era, no passado, reservada ao cultivo de café (SOUZA, 2011). Nesta microbacia, dos 75,1 ha, 91,2% são de floresta. Para essa área, foram coletadas amostras dos ambientes subterrâneo (FS) e superficial lântico (FLE).

A cafeicultura na microbacia em área de café ocorre a cerca de 14 anos, com a pastagem como atividade anteriormente realizada (SOUZA, 2011). O cultivo nesta microbacia é feito em curvas de nível e ocupa toda a área da microbacia, com 2,5 ha. A aplicação de insumos agrícolas ocorreu somente no primeiro semestre de 2013, com adubação fosfatada. Nessa microbacia foram coletadas amostras de água subterrânea (CS), ambiente lântico (CLE) e nascente (CN).

2.2. Variáveis de qualidade da água

Analisaram-se as variáveis coliformes termotolerantes, oxigênio dissolvido, nitrogênio total, fosfato (PO₄³⁻), turbidez, sólidos totais, temperatura, pH e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO). Também, coliformes totais, condutividade elétrica, sólidos dissolvidos, sólidos suspensos e os minerais Ca, Mg e Fe, totalizando 16 variáveis. Estas últimas variáveis foram acrescidas às análises pela representatividade encontrada em estudos semelhantes, conduzidos por Bertossi et al. (2013), na mesma sub-bacia hidrográfica.

2.3. Coleta e análises de água

As coletas de água foram realizadas bimestralmente, de fevereiro a dezembro de 2014, respeitando-se um período de estígeme de pelo menos três dias, a fim de minimizar a influência da precipitação no ponto de coleta. Nas coletas, foram utilizados frascos de polietileno de 1 litro. Para a análise microbiológica (coliformes termotolerantes), realizou-se a esterilização dos recipientes e, para as demais análises, realizou-se a ambientação com uma tríplice lavagem com a própria água do local amostrado.

Os métodos de amostragem de águas superficiais seguiram a NBR 9898 (ABNT, 1987). A preservação das

amostras ocorreu condicionando-as em caixas de isopor com gelo, do momento da coleta até a chegada ao laboratório.

A temperatura e oxigênio dissolvido (OD) foram obtidos diretamente no campo, com sonda. O pH e os coliformes termotolerantes foram analisados imediatamente após a chegada ao laboratório. Algumas variáveis foram analisadas por meio de equipamentos específicos, com obtenção dos resultados logo após a leitura (Tabela 1).

Tabela 1. Variáveis de qualidade da água medidos com sonda

Variáveis	Equipamentos
Temperatura e OD	Oxímetro portátil (Hanna, HI 9146)
pH	Potenciômetro de bancada (Marconi, PA 200)
CE	Conduvímeter de bancada (Hanna, HI 2300)
Turbidez	Turbidímetro de bancada (Hanna, HI 98703)
Ca, Mg, Fe	Equipamento multiparâmetros (Hanna, HI 83200)
PO ₄ ³⁻ e N total	Equipamento multiparâmetros (Hanna, HI 83214)

OD: Oxigênio dissolvido; pH: potencial hidrogeniônico; CE: Condutividade elétrica.

As determinações de coliformes termotolerantes seguiram a metodologia do número mais provável (NMP), ou técnica dos tubos múltiplos, descrita no Standard methods for the examination of water and wastewater (EATON et al., 2005).

A DBO foi determinada por titulação iodométrica, conforme NBR 12614 (ABNT, 1992) e a série de sólidos foi obtida pelo método gravimétrico, conforme NBR 10664 (ABNT, 1989).

2.4. Análise estatística

2.4.1 Análise de Agrupamento (AA)

A análise de agrupamento (AA) foi realizada a partir do programa computacional R. O processamento de dados foi dividido em: padronização, escolha do coeficiente de semelhança e escolha da estratégia de agrupamento.

Nessa análise, utilizaram-se todas as variáveis medidas, a fim de explorar ao máximo os dados obtidos. A média dos resultados das coletas consistiu no número de observações. A padronização dos dados foi realizada a fim de eliminar o efeito de escala. Após isso, as variáveis passaram a ter média igual a zero e variância igual a um. Ainda, adotou-se a distância euclidiana como coeficiente de semelhança.

Para o agrupamento, realizou-se a análise hierárquica, utilizando-se o método de Ward. A escolha do coeficiente de semelhança e a estratégia de agrupamento foram influenciadas por outras pesquisas envolvendo qualidade da água (BERTOSSI et al., 2013; GUEDES et al., 2012; GUEDES et al., 2011; FERNANDES et al., 2010). Após a execução das referidas etapas foi possível a montagem do dendrograma, onde as amostras semelhantes, segundo as variáveis escolhidas, foram agrupadas entre si.

2.4.2. Análise de Componentes principais (ACP)

Neste trabalho, a análise de componentes principais foi realizada com 15 variáveis, sendo a variável sólido suspenso excluída do conjunto de dados por apresentar alta correlação com a variável sólido dissolvido. Isto porque a alta correlação entre variáveis independentes provoca distorções na

interpretação dos resultados e na aplicabilidade do modelo (HAIR et al., 2009).

Os resultados referentes à ACP foram obtidos por meio do programa computacional R. Para a aplicação da ACP, os dados foram, também, padronizados.

Para a escolha das componentes principais foram selecionadas apenas aquelas com autovalor maior que 1, fundamentando-se no fato de que a CP deve possuir variância maior que uma simples variável padronizada (KAISER, 1958 apud NORUSIS, 1990; HAIR et al., 2009). Selecionadas as componentes principais, dentro destas foram escolhidas as variáveis que apresentaram coeficiente de correlação maior ou igual a 0,7. Segundo Hair et al. (2009), ao se utilizar esse critério, há a garantia de que a componente principal explicará pelo menos 50% da variância total da variável em questão.

3. RESULTADOS

Os resultados médios de cada um dos parâmetros determinados nos dois períodos de coleta para os oito ambientes em estudo estão relacionados na Tabela 2.

Na Figura 2 estão apresentados os resultados da análise de agrupamento obtida para o período chuvoso. A escolha do ponto de corte para identificação dos grupos foi na distância de 10%. Desse modo, observou-se a separação

dos pontos de coleta em quatro grupos distintos: Grupo C1, formado pelas nascentes (CN e PN) e águas subterrâneas (FS e RS); Grupo C2, formado pelos ambientes lenticos do café (CLE) e da floresta (FLE); Grupo C3, formado pelo ambiente lântico da pastagem (PLE); e o Grupo C4, formado pelo ambiente lântico da pastagem (PLO).

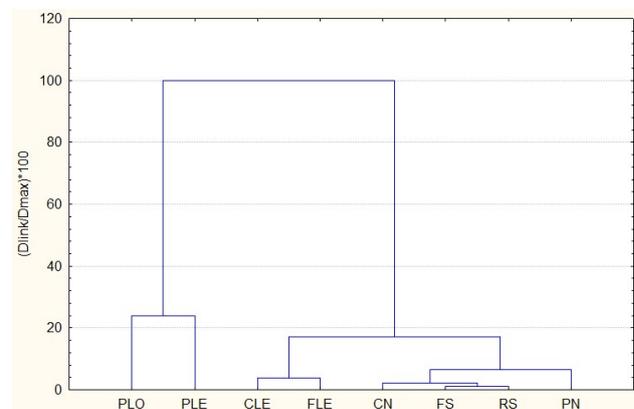


Figura 2. Análise de agrupamento das microbacias para o período chuvoso.

Figure 2. Cluster analysis of the watersheds in the rainy season. PLO: Pastagem (ambiente lântico); PLE: Pastagem (ambiente lântico); CLE: Café (ambiente lântico); FLE: Floresta (ambiente lântico); CN: Café (Nascente); FS: Floresta (água subterrânea); RS: Reflorestamento (água subterrânea); PN: Pastagem (Nascente).

No período seco (Figura 3), a escolha do ponto de corte foi na distância de 10%, onde foi possível observar a formação de três grupos distintos: Grupo S1, formado pela nascente do café (CN), água subterrânea da área de floresta (FS), ambientes lenticos da área de cafeicultura (CLE) e floresta (FLE); Grupo S2, formado pelo ambiente lântico da área de pastagem (PLE); e o Grupo S3 formado pela nascente (PN) e ambiente lântico da pastagem (PLO).

Tabela 2. Parâmetros de qualidade da água obtidas para cada ambiente analisado.
Table 2. Water quality parameters for each analyzed environment.

Parâmetros	Período	Ambientes							
		PN	Ple	Plo	Fle	Cle	CN	RS	FS
SS (mg/L)	Chuva	25.57	54.33	30.33	65.37	19.6	19.07	717.1	15.37
	Seco	7	207	44	38	13.67	6	-	12.33
SD (mg/L)	Chuva	120.43	195.67	195.33	96.3	131.4	86.93	145.4	107.37
	Seco	123.33	229.33	219	68.33	105	101	-	106
CE (µS/cm)	Chuva	172.33	342.33	331.3	118.8	223.43	138.17	136.4	181.2
	Seco	175.7	396.33	405.33	111.37	192.47	144.27	-	191.33
Turbidez (uT)	Chuva	5.64	55.33	12	59.07	17.13	0.37	168	5.47
	Seco	1	208.57	20.02	27.7	6.64	0.19	-	1.71
Temperatura (°C)	Chuva	26.2	25.83	25.7	28.73	27.33	26.37	26.35	26.7
	Seco	25	23.23	22.4	25.13	25.53	24.97	-	25.13
Mg (mg/L)	Chuva	3.33	20	8.33	3.33	6.67	5	7.5	1.67
	Seco	6.67	28.33	15	6.67	3.33	5	-	3.33
Ca (mg/L)	Chuva	0	6.67	6.67	13.33	6.67	0	0	0
	Seco	0	20	13.33	16.67	0	0	-	0
Fe (mg/L)	Chuva	0.19	2.91	1.43	2.98	2.14	0.02	2.42	0.12
	Seco	0.05	2.15	1.76	1.32	0.72	0	-	0.03
PO ₄ (mg/L)	Chuva	0.59	0.17	0.3	0.4	0.27	0.39	0.33	0.35
	Seco	0.35	1.21	0.11	0.53	0.3	0.48	-	0.24
N total (mg/L)	Chuva	0.23	0.64	0.28	2.88	0.33	0.48	1.13	0.17
	Seco	0.43	2.23	0.07	1.77	0.07	1.07	-	0.57
DBO _{5,20} (mg/L)	Chuva	1.55	3.96	1.68	7.51	1.06	2.32	4.18	3.34
	Seco	1.48	5.71	2.88	6.72	1.84	1.92	-	2.52
OD (mg/L)	Chuva	3.39	1.8	3.1	4.35	3.17	2.76	3.66	3.31
	Seco	3.01	1.55	2.79	4.87	3.56	3.32	-	3.28
pH	Chuva	5.7	6.46	6.86	6.89	6.52	5.92	5.45	5.75
	Seco	5.93	6.54	7.07	7.11	6.7	5.98	-	5.94
Col totais	Chuva	3920	23767	39833	6133.33	4840	1167	113	12
	Seco	36880	13400	2567	1140	1380	200	-	2
Col Termot	Chuva	740	9620	3867	5866.67	3540	733	103	12
	Seco	8500	10440	41073	2033	3987	200	-	2

PN: Pastagem (Nascente); PLE: Pastagem (ambiente lêntico); PLO: Pastagem (ambiente lótico); FLE: Floresta (ambiente lêntico); CS: Café (água subterrânea); CLE: Café (ambiente lêntico); CN: Café (Nascente). RS: Reflorestamento (água subterrânea); FS: Floresta (água subterrânea). ST: sólidos totais; SS: sólidos suspensos; SD: sólidos dissolvidos; CE: condutividade elétrica; Mg: magnésio; Ca: cálcio; Fe: ferro; N total: nitrogênio total; DBO: demanda bioquímica de oxigênio; OD: oxigênio dissolvido.

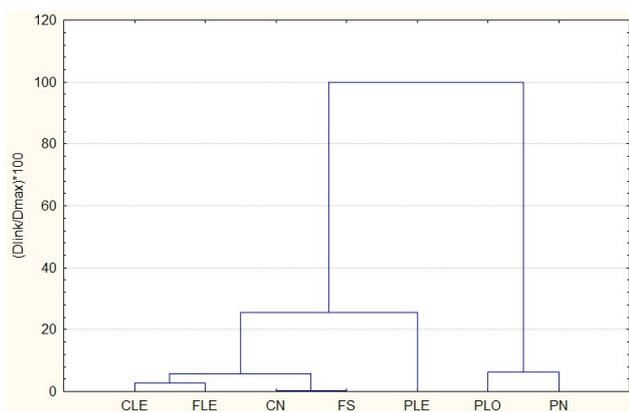


Figura 3. Análise de agrupamento das microbacias para o período seco.

Figure 3. Cluster analysis of the watersheds in the dry period.

PLO: Pastagem (ambiente lótico); PLE: Pastagem (ambiente lêntico); CLE: Café (ambiente lêntico); FLE: Floresta (ambiente lêntico); CN: Café (Nascente); FS: Floresta (água subterrânea); RS: Reflorestamento (água subterrânea); PN: Pastagem (Nascente).

Com relação à análise de componentes principais, foram selecionadas quatro componentes principais que explicaram 73,09% da variância total dos dados (Tabela 3).

Tabela 2. Variância e correlação entre variáveis das componentes principais selecionadas.

Table 2. Variance and correlation between variables of the selected principal components.

Variável	CP1	CP2	CP3	CP4
OD	-0,318739	-0,695040	-0,284891	-0,089034
T	-0,192953	-0,611500	0,129608	0,365765
pH	0,415011	-0,174570	-0,769452	-0,130427
CE	0,736005	0,486364	-0,65147	-0,225166
Turb	0,767026	-0,324277	0,473794	0,034032
Ca	0,636734	-0,324885	-0,333589	-0,349618
Mg	0,901230	0,211102	0,040924	-0,010003
Fe	0,701977	-0,159824	-0,184777	0,237670
PO ₄ ³⁻	0,201176	-0,010133	-0,059218	0,688425
Nt	0,479563	-0,742991	0,032152	-0,006921
DBO _{20,5}	0,511196	-0,760770	0,052694	-0,021925
CTerm	0,398077	0,307521	-0,262498	0,711960
ST	0,617649	-0,115168	0,618111	-0,018734
SD	0,750256	0,449375	0,152605	-0,142905
CT	0,306906	0,362696	-0,407415	0,039554
Autovalor	4,88	2,98	1,71	1,39
Autovalor(%)	32,54	19,85	11,42	9,29
Acumulado	32,54	52,38	63,81	73,09

Nota: CP: Componente principal.

4. DISCUSSÃO

Na Análise de Agrupamento, evidenciou-se que algumas variáveis foram determinantes na formação dos grupos, conforme observado nos resultados de coliformes totais e termotolerantes (Tabela 1), em que os ambientes do Grupo C1 apresentaram os menores valores, sobretudo, nas águas subterrâneas; seguido dos ambientes do Grupo C2, com valores intermediários; e dos ambientes dos Grupos C3 e C4 com maiores valores.

Os pontos CN, PN, FS e RS apresentaram similaridade entre si, formando o Grupo C1. Por se tratarem de nascentes e poços rasos, essa relação pode ser justificada devido às suas características hídricas. Embora em pequenas concentrações, detectou-se contaminação por coliformes totais e termotolerantes nesse grupo, possivelmente devido ao conteúdo de fossas ou dejetos de animais que, ao percolar, atingiu os lençóis de água subterrâneas e subsuperficiais. Outras possíveis fontes de poluição referem-se ao manejo inadequado das bacias, como a proximidade com instalações agropecuárias e residências e a ausência de saneamento e de noções de higiene sanitária. Observações como essas também foram apontadas por Rocha et al. (2006) e Cavalcante (2014) ao avaliarem a qualidade da água em áreas rurais.

Embora tenham características semelhantes quanto ao recurso hídrico, por se tratarem de represas, os ambientes dos grupos C3 e C4 obtiveram valores de coliformes bem superiores. Então, é válido ressaltar que os ambientes externos foram relevantes na diferença das concentrações. Além disso, no Grupo C1, ponto de coleta PN, pertencente à mesma microbacia de pastagem, a quantidade de coliformes foi significativamente inferior, evidenciando-se que, para a compreensão dos resultados acerca da qualidade da água, as características do manancial e da bacia devem, quando possível, serem analisadas em conjunto.

Nesse sentido, a manutenção da cobertura florestal tem papel primordial na preservação da qualidade das águas nos mananciais (GARDIMAN JÚNIOR; SIMOURA, 2016). Alguns estudos corroboram com a premissa de que bacias com maiores percentuais de cobertura florestal produzem água de melhor qualidade. Campello (2005), ao encontrar baixas concentrações de coliformes fecais no Rio Rolante, Rio Grande do Sul, sugere que a floresta pode ter uma função de retenção e depuração de contaminantes, ao menos para os coliformes, auxiliando na melhoria da qualidade das águas dos rios que a cruzam. Bariani et al. (2013) analisaram, também no Rio Grande do Sul, a relação do uso e ocupação do solo com variáveis limnológicas em microbacias urbanas e rurais. Verificaram-se correlações negativas nas variáveis mesófilos, coliformes totais e cloretos para as classes de Mata, Vegetação e Lavouras, indicando que essas condições podem contribuir para absorção desses elementos pelas plantas.

A presença da mata nativa, áreas de regeneração e ciliares explica a melhor qualidade da água. Porém, ressalta-se que a presença de animais silvestres, pode influenciar a qualidade hídrica. Agrizzi (2012), em nascentes no assentamento Paraíso, Espírito Santo, constatou valores significativos de coliformes totais e termotolerantes na nascente em meio à floresta remanescente de Mata Atlântica. A isso, atribuiu-se o acesso de animais silvestres, visto que um poço natural se formou no local de afloramento hídrico, tornando o ambiente propício para a dessedentação de animais, como mamíferos e aves.

Ressalta-se para este estudo que as características do corpo hídrico onde as coletas foram realizadas devem ser levadas em consideração, pois restringem a aplicabilidade dos trabalhos citados, embora reconheça-se a grande importância e influência da presença da cobertura vegetal nos resultados das análises microbiológicas.

Bertossi (2013) destaca para a microbacia do Córrego Horizonte a presença de mata ciliar em apenas uma de suas vertentes e águas com movimento reduzido, atribuindo-se a isto a deterioração da qualidade da água na microbacia. Assim, em reservatórios artificiais, as particularidades destes recursos hídricos não devem ser descartadas, já que a contaminação pode provir de fontes de poluição difusa e não somente pontual.

Isso demonstra que os parâmetros físicos, químicos e microbiológicos de um manancial competem ao conjunto de características da microbacia em que está inserido, à intensidade das intervenções antrópicas e aos próprios atributos da represa. Além disso, o livre acesso de animais próximos às represas, cujo pisoteio pode alterar as condições de solo, favorece sua degradação, além de proporcionar a contaminação da água pela deposição de fezes.

Os ambientes dos grupos C3 e C4 se destacaram por apresentarem concentrações elevadas de coliformes. Tais grupos são compostos pelos pontos de ambiente lântico e lótico, respectivamente, ambos na microbacia utilizada para pastejo extensivo de gado. Tanto o reservatório artificial (represa), quanto o córrego possuem acesso livre aos animais, com pouca ou nenhuma vegetação ripária. Estas características ajudam a explicar os resultados e vão ao encontro dos estudos de Valente et al. (2015), os quais verificaram que a presença de gado extensivo e pastagem na bacia estudada refletiu em cargas elevadas e positivas para coliformes totais e termotolerantes, causadas pelos resíduos dos animais.

A alta concentração de coliformes no período chuvoso nessas áreas pode estar relacionada à ausência da mata ciliar, visto que a falta da vegetação pode desproteger os mananciais, permitindo que materiais alóctones sejam despejados mais facilmente em seus leitos. Há poucas informações quanto à habilidade de APP em reduzir a contaminação por coliformes, bactérias e outros agentes patogênicos. No entanto, sabe-se da sua influência na redução do aporte de partículas do solo e outros sedimentos na água, reduzindo a turbidez. Ainda, altos níveis de nutrientes e turbidez na água podem aumentar a sobrevivência de bactérias, incluindo as patogênicas (SOUZA, 2012).

Para verificar a influência da mata ciliar sobre as características físico-químicas e bacteriológicas da água, Souza (2012) encontrou mais coliformes totais em 73% das amostras analisadas no trecho sem mata ciliar, representando, em média, 1,85 vezes a mais que o trecho com mata ciliar. Além disso, os valores de *E. coli* também foram superiores no trecho sem mata ciliar em todo o período de coleta, em média 2,5 vezes. Fernandes et al. (2015), ao avaliarem o cumprimento da legislação ambiental na faixa ciliar e o impacto do uso do solo em relação aos coliformes e metais pesados na água de duas microbacias, constataram valores mais baixos de coliformes fecais e totais na microbacia com maior percentual de Mata Atlântica na faixa ciliar, em função do efeito protetor da presença de cobertura florestal permanente na área de captação.

Nas formações dos grupos, observou-se que à distância de 23%, aproximadamente, houve o agrupamento entre PLO e PLE. A junção destes pontos foi inesperada, pois esses ambientes possuem características distintas. Isto pode ser explicado pela proximidade do ambiente lótico da pastagem ao ambiente lêntico (cerca de 40 metros), possuindo também, ainda que moventes, velocidade da água muito reduzida, conferindo a este ponto características semelhantes a ambiente lêntico. Os resultados de coliformes totais também foram determinantes na formação dos grupos na AA no período seco. Analisando-se os agrupamentos, nota-se que as concentrações de coliformes totais foram menores no Grupo S1, seguidas do Grupo S2 e valores muito elevados no Grupo S3.

Em ambos os períodos, seco e chuvoso, a formação dos grupos se deu, principalmente, pelas concentrações das características físico-químicas e quanto ao tipo de recurso hídrico estudado (nascente, água subterrânea, ambiente lêntico e ambiente lótico). De forma semelhante, Bertossi et al. (2013), estudando a qualidade da água na sub bacia do Córrego Horizonte sob diferentes usos do solo, também observou a influência desses fatores na formação dos grupos.

A técnica estatística promoveu a redução do número das variáveis, por meio da seleção dos pesos maiores que 0,7 dentro das quatro componentes selecionadas. As nove variáveis que mais sofreram variação durante o período de estudo foram: CP1 – CE, turbidez, Mg, Fe e SD; na CP2 – Nt e DBO; na CP3 – pH e na CP4 – coliformes termotolerantes. Observou-se que as variáveis mais expressivas estavam relacionadas aos sais dissolvidos (na CP1), à poluição por matéria orgânica (na CP2 e CP4), causados principalmente pelo aporte de sedimentos, e ao pH (na CP3).

Semelhante a este estudo, Rocha et al. (2014) estudando as alterações limnológicas de um manancial em Juiz de Fora, utilizou quatro componentes principais que explicaram 71% da variância total. Os determinantes das variáveis nas CP estavam relacionados ao transporte e lixiviação de materiais, redução da cobertura florestal com exposição do solo e manejo inadequado.

Bertossi et al. (2013), cujo estudo incluiu áreas estudadas neste trabalho, utilizou a ACP e selecionou duas componentes que explicaram 91,2% da variância total, sendo as variáveis mais significativas: condutividade elétrica, sólidos dissolvidos, cálcio, magnésio, sódio, fósforo total e DBO. Comparando-se os resultados com este estudo, observa-se que quatro variáveis foram selecionadas em ambas as pesquisas. As diferenças encontradas podem ser devidas: à mudança da cobertura vegetal de pastagem nos estudos de reflorestamento neste estudo; à inclusão do local onde encontra-se a microbacia de pastagem desta pesquisa, não estudada por Bertossi et al. (2013); e ao maior número de coletas deste trabalho, ao longo do ano, que proporcionaram maior volume de dados, motivo pelo qual os resultados obtidos são considerados mais consistentes.

Os supostos benefícios do uso da ACP têm incentivado sua aplicação em estudos de qualidade da água como uma técnica exploratória, uma vez que as análises da água normalmente utilizam muitas variáveis. Porém, os resultados oriundos da ACP são gerados por critérios matemáticos, relacionados à variação das variáveis num determinado conjunto de dados estudado. Logo, a referida análise, por vezes, pode não ser suficiente para exprimir o conjunto de

variáveis que, de fato, representem a qualidade da água de um manancial. Nesse sentido, a ACP torna-se dependente do suporte teórico do pesquisador, principalmente no que diz respeito ao conhecimento das variáveis em análise (HAIR et al., 2009).

Estudos específicos sobre formulação de novos índices de qualidade de água têm utilizado a ACP para seleção das variáveis que comporão tal índice (ANDRADE et al., 2005; BERTOSI et al., 2013; PALACIO, 2004). Para o presente estudo, a formulação de mais um índice de qualidade da água não se mostrou vantajosa pela ACP não garantir que, de fato, as variáveis selecionadas são as que melhor representam a qualidade da água, como já discutido.

5. CONCLUSÕES

A análise de agrupamento possibilitou a formação de quatro grupos distintos no período chuvoso, e três grupos no período seco. A diferença entre os ambientes foi o principal fator de influência na segregação dos grupos.

Na ACP foram selecionadas 9 variáveis mais representativas para explicar a variância da qualidade da água nas áreas estudadas: CE, turbidez, Mg, Fe, SD, Nt e DBO, pH, coliformes termotolerantes, e, portanto, relacionadas aos sais dissolvidos, poluição orgânica e pH.

6. REFERÊNCIAS

- AGRIZZI, D. V. **Índice de qualidade da água de nascentes no Assentamento Paraíso, Alegre, ES.** 2012. 88f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Univ. Fed. do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2012.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorol Zeitschrift.** Berlin, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 9898:** preservação e técnicas de amostragem de afluentes líquidos e corpos receptores: procedimento. Rio de Janeiro, 1987. 22 p.
- . **NBR 10664:** Água: determinação de resíduos (sólidos): método gravimétrico: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1989. 7p.
- . **NBR 12614:** Água: determinação da demanda bioquímica de oxigênio (DBO): método de incubação (20 °C, cinco dias): método de ensaio. Rio de Janeiro, 1992. 5p.
- ANDRADE, E. M. de; PALACIO, H. A. Q.; CRISÓSTOMO, L. A.; SOUZA, I. H.; TEIXEIRA, A. S. Índice de qualidade de água, uma proposta para o vale do rio Trussu, Ceará. **Revista Ciência Agrônômica,** Fortaleza, v. 36, n. 2, p. 135-142, 2005.
- BARIANI, C. J. de M. V.; PEREIRA FILHO, W.; BARIANI, N. M. V. Análise integrada de variáveis de uso, cobertura do solo e limnológicas em Itaqui, RS. **Revista Geográfica Acadêmica,** Boa Vista, v. 7, n. 2, p. 48-57, 2013.
- BEN-HUR, M.; FERNANDEZ, C.; SARKKOLA, S.; CEREZAL, J. C. S. Overland Flow, Soil Erosion and Stream Water Quality in Forest Under Different Perturbations and Climate Conditions. **Forest Management and the Water Cycle Ecological Studies,** v. 212, p. 263-289, 2011. DOI: https://dx.doi.org/10.1007/978-90-481-9834-4_15

- BERTOSSI, A. P.; MENEZES, J. P.; CECÍLIO, R. A.; GARCIA, G. O.; NEVES, M. A. Seleção e agrupamento de indicadores da qualidade de águas utilizando Estatística Multivariada. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 5, p. 2025-2036, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2013v34n5p2025>
- CAMPOLLO, F. D.; BRAGA, C. F.; GONÇALVES, C. V.; GONÇALVES, C. S.; SANTOS JÚNIOR, J. E.; RODRIGUES, G. G.; HARTZ, S. M. Avaliação preliminar da qualidade das águas da Floresta Nacional de São Francisco de Paula, RS, Brasil. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 3, p. 47-64, 2005.
- CAVALCANTE, R. B. L. Ocorrência de *Escherichia coli* em fontes de água e pontos de consumo em uma comunidade rural. **Ambiente & Água**, Taubaté, v. 9, n. 3, p. 550-558, 2014. DOI: <https://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1301>
- EATON, A. D.; CLESCERI, L. S.; GREENBERG, A. E. (Eds.). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21. ed. Washington, DC: APHA/AWWA/WEF, 2005. 1504 p.
- FERNANDES, F. B. P.; ANDRADE, E. M. de; FONTENELE, S. B. de; MEIRELES, A. C. M.; RIBEIRO, J. A. Análise de agrupamento como suporte à gestão qualitativa da água subterrânea no semiárido cearense. **Revista Agro@ambiente On-line**, Boa Vista, v. 4, n. 2, p. 86-95, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v4i2.402>
- FERNANDES, M. M.; CEDDIA, M. B.; FRANCELINO, M. R.; MOURA FERNANDES, M. R. Diagnóstico ambiental da faixa ciliar e qualidade de água de duas microbacias utilizadas para abastecimento humano. **Irriga**, v. 20, n. 1, p. 128-138, 2015. DOI: <https://dx.doi.org/10.15809/irriga.2015v20n1p128>
- GARDIMAN JÚNIOR, B. S.; SIMOURA, L. T. Cobertura florestal e qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Jucu, estado do Espírito Santo, Brasil. **Scientia Plena**, Aracaju, v. 12, n. 1, p. 1-15, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.14808/sci.plena.2016.010201>
- GRÜTZMACHER, D. D.; GRÜTZMACHER, A. D.; AGOSTINETTO, D.; LOECK, A. E.; ROMAN, R.; PEIXOTO, S. C.; ZANELLA, R. Monitoramento de agrotóxicos em dois mananciais hídricos no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 6, p. 632-637, 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662008000600010>
- GUEDES, H. A.; SILVA, D. D. D.; ELESBON, A. A.; RIBEIRO, C.; MATOS, A. T. D.; SOARES, J. H. Aplicação da análise estatística multivariada no estudo da qualidade da água do Rio Pomba, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 5, p. 558-563, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662012000500012>
- HAIR Jr., J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Análise Multivariada de dados**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. 679 p.
- HUANG, X.; SILLANPÄÄ, M.; GJESSING, E. T.; PERÄNIEMI, S.; VOGT, R. D. Environmental impact of mining activities on the surface water quality in Tibet: Gyama valley. **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v. 408, n. 19, p. 4177-4184, 2010. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.05.015>
- LEE, S. W. et al. Landscape ecological approach to the relationships of land use patterns in watersheds to water quality characteristics. **Landscape and Urban Planning**, Amsterdam, v. 92, n. 2, p. 80-89, 2009. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2009.02.008>
- LIMA, J. S. S.; SILVA, S. A.; OLIVEIRA, R. B.; CECÍLIO, R. A.; XAVIER, A. C. Variabilidade temporal da precipitação mensal em Alegre, ES. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 39, n. 2, p. 327-332, 2008.
- LOBATO, F. A. O.; ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; CRISOSTOMO, L. A. Sazonalidade na qualidade da água de irrigação do Distrito Irrigado Baixo Acaraú, Ceará. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 39, n. 1, p. 167-172, 2008.
- NORUSIS, M. J. **SPSS Base System User's Guide**. Chicago: SPSS Inc, 1990. 520 p.
- PALÁCIO, H. A. Q.; ARAÚJO NETO, J. R.; MEIRELES, A. C. M.; ANDRADE, E. M.; SANTOS, J. C. N.; CHAVES, L. C. G. Similaridade e fatores determinantes na salinidade das águas superficiais do Ceará, por técnicas multivariadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n. 4, p. 395-402, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662011000400011>
- ROCHA, C. M. B. M. da.; RODRIGUES, L. S.; COSTA, C. C., OLIVEIRA, P. R. de.; SILVA, I. J.; JESUS, É. F. M.; ROLIM, R. G. Avaliação da qualidade da água e percepção higiênico-sanitária na área rural de Lavras, Minas Gerais, Brasil, 1999-2000. **Caderno de Saúde Pública**, v. 22, n. 9, p. 1967-1978, 2006. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-311X2006000900028>
- ROCHA, C. H. B.; FREITAS, F. A.; SILVA, T. M. Alterações em variáveis limnológicas de manancial de Juiz de Fora devido ao uso da terra. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 4, p. 431-436, 2014. DOI: <https://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662014000400011>
- SHIKLOMANOV, I. A. World fresh water resources. In: GLEICK, P. H. (Ed.). **Water in crisis a guide to the world's fresh water resources**. New York: Oxford University Press, 1993. p. 13-24.
- SOUZA, A. P. A. B. **Índice de qualidade da água em microbacias hidrográficas com diferentes coberturas vegetais, no sul do estado do Espírito Santo**. 2011. 64f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Univ. Fed. do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2011.
- SOUZA, M. C. B. de. **Influência da mata ciliar na qualidade da água de trecho do rio Jacarecica – Maceió/AL**. 2012. 197f. Dissertação (Recursos Hídricos e Saneamento) – Univ. Fed. de Alagoas, Maceió, 2012.
- TRAN, C. P.; BODE, R. W.; SMITH, A. J.; KLEPPEL, G. S. Land-use proximity as a basis for assessing stream water quality in New York State (USA). **Ecological Indicators**, v. 10, n. 3, p. 727-733, 2010. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2009.12.002>
- VALENTE, M. L.; CRUZ, J. C.; BAGGIOTTO, C.; CONSENSA, C. B. Influential factors in surface water quality in catchments within the Pampa Biome with diferente land use. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 39, n. 6, p. 1135-1145, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0100-67622015000600017>
- WANG, J.; DA, L.; SONG, K.; LI, B. L. Temporal variations of surface water quality in urban, suburban and rural areas during rapid urbanization in Shanghai, China. **Environmental Pollution**, v. 152, n. 2, p. 387-393, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.06.050>