



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

**AVALIAÇÃO DA CARGA POLUIDORA NA CALHA PRINCIPAL DO RIO DAS
VELHAS EM DIFERENTES SITUAÇÕES DE VAZÃO**

AMANDA LAFETÁ OLIVEIRA

BELO HORIZONTE

2017

AMANDA LAFETÁ OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO DA CARGA POLUIDORA NA CALHA PRINCIPAL DO RIO DAS
VELHAS EM DIFERENTES SITUAÇÕES DE VAZÃO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Ambiental e Sanitarista.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a. Lília Maria de Oliveira

BELO HORIZONTE

2017

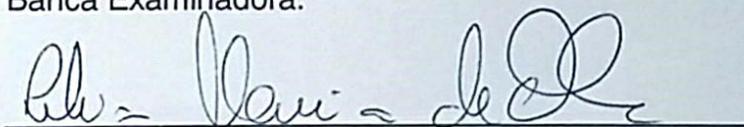
AMANDA LAFETÁ OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO DA CARGA POLUIDORA NA CALHA PRINCIPAL DO RIO DAS
VELHAS EM DIFERENTES SITUAÇÕES DE VAZÃO**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Centro Federal de
Educação Tecnológica de Minas Gerais
como requisito parcial para obtenção
do título de Engenheira Ambiental e
Sanitarista.

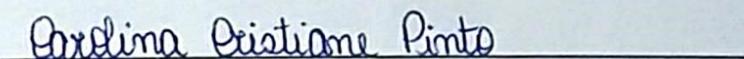
Data de aprovação: 01/12/2017

Banca Examinadora:



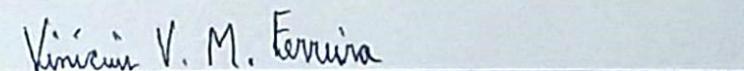
Prof.ª Dr.ª Lília Maria de Oliveira

(Orientadora. Centro Federal em Educação Tecnológica - CEFET/MG)



M.ª Carolina Cristiane Pinto

(Instituto Mineiro de Gestão das Águas - IGAM)



Prof. Dr. Vinícius V. M. Ferreira

(Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear - CDTN)

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora, Prof^a. Dr^a. Lília Maria de Oliveira, pelos conselhos sempre úteis e precisos que, sabiamente orientou este trabalho.

Agradeço à minha família, que através do exemplo, me ensinaram que com dedicação, respeito ao próximo e amor ao trabalho, todos os objetivos podem ser alcançados. Ao meu pai Rubens que sempre apoiou todas as minhas decisões. À minha mãe Rita especialmente, por compreender todas as minhas crises e dificuldades. Ao meu irmão Dico, que também se dedica à engenharia e sempre faz do apoio, das conversas e conselhos momentos incríveis, compreendendo minhas dificuldades.

Aos amigos pela compreensão, apoio e incentivo.

Aos examinadores da banca, pelas sugestões indispensáveis.

Ao meu orientador de iniciação científica e amigo, Vinícius Verna que me apresentou a área da pesquisa despertando meu interesse por ela.

Ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, por ser um centro de ensino público de qualidade e me proporcionar oportunidades únicas.

RESUMO

AVALIAÇÃO DA CARGA POLUIDORA NA CALHA PRINCIPAL DO RIO DAS VELHAS EM DIFERENTES SITUAÇÕES DE VAZÃO

OLIVEIRA, A. L.; OLIVEIRA, L. M

A análise de qualidade das águas no Brasil é realizada em função da medição da concentração de parâmetros físico, químicos e biológicos. A análise da carga poluidora, obtida pelo produto da concentração pela vazão, é necessária para complementar os estudos existentes, e também pode conduzir a resultados diferentes dos obtidos com a análise da concentração individualmente. A área de estudo selecionada foi a calha principal do Rio das Velhas que possui uma série de informações hidrológicas e de qualidade das águas superficiais, monitoradas simultaneamente desde de 1997, bem como fontes poluidoras pontuais e difusas. De acordo com o Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas, este rio é o maior afluente da Bacia do São Francisco e parte de sua extensão está inserida na Região Metropolitana de Belo Horizonte. Este trabalho teve o objetivo de analisar a carga poluidora, a partir de alguns parâmetros de qualidade das águas, definidos pela Resolução CONAMA nº 903 de 2013, em diferentes situações de vazão, na calha principal do Rio das Velhas. Os dados de vazão e qualidade foram separados considerando diferentes situações de vazão (série completa, períodos de chuva e seca), assim foram gerados 3 bancos de dados, onde calculou-se a carga poluidora de cada parâmetro. Foi realizada análise de cluster para cada banco de dados utilizando o método aglomerativo hierárquico de ligação completa com medida de similaridade a distância euclidiana. Os resultados mostraram a formação de agrupamentos diferentes nas três situações avaliadas. Os resultados obtidos foram então analisados considerando o IQA fornecido pelo IGAM (Instituto Mineiro de Gestão das Águas) e informações de uso e ocupação do solo em cada estação, tendo sido constatada a relação entre os agrupamentos e as informações avaliadas. Por fim, comparou-se os resultados obtidos no presente estudo com os obtidos por Trindade (2016) e Calazans (2015), verificando-se a formação de diferentes agrupamentos de estações. Tal fato pode ser explicado não só pelas diferenças estatísticas entre os agrupamentos, mas também pela diferença nos períodos históricos selecionados em cada estudo, assim como a seleção de diferentes parâmetros com diferentes unidades de análise (concentração e/ou carga). Como resultado geral, pudemos verificar que a

análise isolada da carga ou da concentração apresenta uma variação nos resultados obtidos, assim como a seleção diferente do período de análise (completo, seca ou chuva). A análise de dados de qualidade, baseada somente em informação de concentração, não reproduz adequadamente o comportamento do curso de água, como quando incorporamos a vazão na análise, gerando assim a carga poluidora de cada parâmetro.

Palavras-chave: Hidrologia. Estatística multivariada. Análise de cluster

ABSTRACT

EVALUATION OF THE POLLUTING LOAD IN THE MAIN CHANNEL OF VELHAS RIVER IN DIFFERENT FLOW SITUATIONS

OLIVEIRA, A. L.; OLIVEIRA, L. M

A water quality analysis is not performed based on the measurement of the physical, chemical and biological concentration. A load analysis, a solution for the development of leaks and a solution for the complement of existing studies, and can also generate results with the two countries with a concentration analysis individually. A study area selected for a Rio das Velhas channel director who has a series of hydrological and surface water quality information, monitored simultaneously since 1997, as well as point and diffuse pollutant sources. According to the Watershed Committee of the Velhas River, this river is the largest tributary of the São Francisco Basin and part of its extension is inserted in the Metropolitan Region of Belo Horizonte. This work has the objective of analyzing the load, based on some parameters of water quality, defined by CONAMA Resolution no. 903 of 2013, in different flow situations, in the main channel of the Rio das Velhas. The void data and the quality, as well as the difference, as well as generated 3 databases, where the flow measurement of each parameter is calculated. Cluster analysis was completed for each database. Method. Hierarchical clustering of complete binding with measure of similarity to Euclidean distance. The results showed a formation of different groups in the three evaluated situations. The results obtained were analyzed by considering the IQA provided by IGAM (Minas Gerais Institute of Water Management) and information on land use and occupation at each station, and a relationship was found between the groups and as information evaluated. Finally, the results obtained in the present study were compared with those obtained by Trindade (2016) and Calazans (2015), and verified the formation of different groups of stations. This fact can be explained not only by the statistical differences between the clusters, but also by the difference in the historical periods selected in each study, as well as the selection of different parameters with different units of analysis (concentration and / or load). As a general result, we could verify that the isolated analysis of the load or concentration presents a variation in the results obtained, as well as the different selection of the analysis period (complete, dry or rain). The analysis of quality data, based only on concentration information, does

not adequately reproduce the behavior of the watercourse, as when we incorporate the flow in the analysis, thus generating the pollutant load of each parameter.

Keywords: Hydrology.Multivariate statistics.Cluster analysis

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Localização da Bacia do Rio das Velhas	25
Figura 2 – Diagrama de seleção de estações	26
Figura 3 - Diagrama da metodologia aplicada na geração dos clusters	31
Figura 4 – Uso do Solo e estações fluviométricas e de qualidade de água na Bacia do Rio das Velhas, MG	35
Figura 5 - Localização das estações em relação a região metropolitana de Belo Horizonte e relação entre os códigos das estações (definido pelo IGAM) e o código utilizado no software R, para gerar os clusters.....	36
Figura 6a - Gráfico do uso e ocupação do solo nas bacias de contribuição das estações 1 a 8. Adaptado de Oliveira (2016)	42
Figura 6b - Gráfico do uso e ocupação do solo nas bacias de contribuição das estações 9 a 10. Adaptado de Oliveira (2016)	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características gerais da Bacia do Rio das Velhas.....	24
Tabela 2 - Parâmetros mínimos de qualidade de água segundo Resolução n.º 903 de 2013 da ANA.....	27
Tabela 3 - Anos hidrológicos selecionados para a análise da vazão nas estações da ANA.....	32
Tabela 4 - Seleção de estações de qualidade da água (QA) conforme padronização do IGAM.....	33
Tabela 5 - Estações pertencentes à ANA e CEMIG para monitoramento de vazão, inseridas na Bacia do Rio das Velhas e utilizadas no estudo	34
Tabela 6 - Relação de parâmetros selecionados para análise.....	36
Tabela 7 - Dendogramas resultantes do agrupamento cada os bancos de dados em período completo.....	37
Tabela 8 - Dendogramas resultantes do agrupamento cada os bancos de dados em período de chuva.....	38
Tabela 9 - Dendogramas resultantes do agrupamento cada os bancos de dados em período de seca.....	39
Tabela 10 - Resumo dos resultados dos agrupamentos de acordo com cada banco de dados	40
Tabela 11 - Descrição do IQA das estações de monitoramento segundo relatório do IGAM, 2013.....	41
Tabela 12 - Agrupamentos formados nos estudos de Trindade (2017) e Calazans (2015).....	45
Tabela 13 - Banco de dados das medianas considerando dados de qualidade em período completo.....	54
Tabela 14 - Banco de dados das medianas considerando dados de qualidade em período de chuva.....	55
Tabela 15 - Banco de dados das medianas considerando dados de qualidade em período de seca.....	56
Tabela 16 - Banco de dados das medianas considerando dados de carga em período completo.....	57
Tabela 17 - Banco de dados das medianas considerando dados de carga em período de chuva.....	58

Tabela 18 - Banco de dados das medianas considerando dados de carga em período de seca.....	59
---	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	16
2.1	Objetivo Geral	16
2.2	Objetivos específicos:	16
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1	Aspectos qualitativos e quantitativos da água em bacias hidrográficas	17
3.1.1	<u>Qualidade das águas e poluição</u>	17
3.1.2	<u>Monitoramento da qualidade das águas superficiais</u>	18
3.1.3	<u>Avaliação de cargas poluidoras</u>	19
3.1.4	<u>Estimativas de vazão em locais sem monitoramento fluviométrico</u>	20
3.2	Análise estatística na avaliação de dados de monitoramento	20
3.2.1	<u>Conceitos e análises necessários para a preparação do banco de dados antes das análises estatísticas</u>	21
3.2.2	<u>Técnicas de estatística multivariada para análise de dados de qualidade das águas</u>	21
4	METODOLOGIA	24
4.1	Área de estudo	24
4.2	Dados de monitoramento de qualidade e quantidade de água	26
4.3	Seleção de parâmetros	26
4.4	Cálculo das cargas poluentes	28
4.5	Análise estatística multivariada	28
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
5.1	Estações e parâmetros selecionados	32
5.2	Descrição dos agrupamentos	37
5.3	Análise dos agrupamentos formados	41
5.3.1	<u>Aspectos Gerais</u>	41
5.3.2	<u>Período completo: Análise de carga e concentração</u>	43

5.3.3	<u>Períodos de chuva e seca: Análise da sazonalidade</u>	44
5.4	Considerando estudos semelhantes na bacia do Rio das Velhas	45
5.5	Estudos comparativos de dados de carga e dados de concentração	46
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	47
7	SUGESTÕES	48
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49
	Anexos	53
	Anexo A: Banco de dados	53
	Anexo B: Rotina do software R	60

1 INTRODUÇÃO

A análise de qualidade das águas no Brasil é realizada em função da medição da concentração de parâmetros físico, químicos e biológicos, entretanto estudos como Pinto (2016) tem apontado que a análise da carga poluidora, obtida pelo produto da concentração pela vazão, é necessária para complementar os estudos existentes, e também pode conduzir a resultados diferentes dos obtidos com a análise da concentração feita individualmente.

A concentração de determinado parâmetro de qualidade varia com a vazão do curso de água, ou seja, considerando uma fonte poluidora que lance a mesma quantidade de poluente ao longo do ano a concentração no curso d'água deverá ser diferente nos períodos de seca e cheia, concentrando ou diluindo o poluente, de acordo com o período avaliado (seca ou chuva).

Em estudo realizado por Bowes et al. (2014) verificou-se que em rios onde as fontes pontuais são a forma preponderante de poluição, sendo a quantidade de fósforo lançada supostamente constante no tempo, tem-se que a concentração de fósforo diminuiu com o aumento da vazão. De maneira inversa, em rios onde o fósforo provém principalmente de fontes difusas o aumento da vazão é acompanhado de um aumento na concentração de fósforo na água.

Desta forma, a análise conjunta de dados de concentração, vazão e carga poluidora irá produzir resultados mais confiáveis, uma vez que representa as alterações do fluxo do rio ao longo do tempo podendo inclusive indicar o tipo de fonte poluidora (difusa ou pontual) preponderante em cada bacia.

Para analisar os dados foi utilizada uma técnica de estatística multivariada que avaliam simultaneamente diversas variáveis simplificando a estrutura de um conjunto de dados complexa. A análise de agrupamentos é comumente utilizada em estudos hidrológicos e consiste em avaliar a similaridade das estações de monitoramento em função das concentrações e cargas. Neste estudo foi utilizado o método aglomerativo hierárquico, de ligação completa usando como medida de similaridade a distância Euclidiana. Os agrupamentos foram formados a partir dos bancos de dados gerados e comparados para se verificar as diferenças entre os dados de concentração e os dados de carga assim como as diferenças entre os agrupamentos formados a partir

dos bancos de dados do período de chuva e do período de seca.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar a carga poluidora, a partir de parâmetros de qualidade das águas em diferentes situações de vazão, na calha principal do Rio das Velhas

2.2 Objetivos específicos:

- Avaliar espacialmente a qualidade das águas de estações de monitoramento da bacia do Rio das Velhas, em termos de carga e concentração para os parâmetros selecionados, utilizando Análise de Cluster;
- Analisar as diferenças entre os comportamentos anuais e sazonais (seca e chuva);
- Comparar os resultados obtidos com outros estudos realizados na bacia do rio das Velhas em termos de concentração;
- Comparar os resultados com um estudo na bacia do Rio Verde que utiliza a mesma metodologia.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Aspectos qualitativos e quantitativos da água em bacias hidrográficas

3.1.1 Qualidade das águas e poluição

A vida humana, assim como a de todos os seres vivos, depende da água. A água doce, presente em rios e lagos, é o recurso hídrico de mais fácil acesso. Por outro lado, o acesso fácil a este recurso hídrico o torna mais vulnerável à poluição, podendo limitar o seu uso em função de alteração na sua qualidade (MARQUES, 2007).

Diversos fatores modificam a qualidade e a abundância das fontes de água doce em todo o mundo. São fatores que alteram a qualidade da água: a geologia, geomorfologia, cobertura vegetal e principalmente o uso e ocupação solo nas bacias de drenagem (TUCCI, 2009).

Os conceitos de qualidade da água e poluição estão comumente ligados. A qualidade da água é afetada tanto por causas naturais quanto por atividades antrópicas. Já a poluição é consequência das alterações na qualidade física, química, ou biológica da água, que podem ser prejudiciais ao uso atual e futuro (BRANCO, 1991).

As alterações provocadas nas águas superficiais podem ser conhecidas através do monitoramento dos ambientes aquáticos, e as variáveis selecionadas para este monitoramento podem ser diferentes para cada tipo de uso do solo. Em áreas urbanas, por exemplo, é comum o uso de variáveis indicadoras da presença de matéria orgânica, nutrientes, micro poluentes, sólidos suspensos e organismos patogênicos, decorrentes do lançamento de esgoto nos cursos de água (TRINDADE, 2017).

No que compete a legislação federal e estadual (Minas Gerais) a definição de quais variáveis devem ser monitoradas para caracterização dos corpos hídricos é estabelecida pela Resolução CONAMA n.º 357/2005 e pela Deliberação Normativa COPAM/CERH-MG n.º 01/2008, respectivamente.

3.1.2 Monitoramento da qualidade das águas superficiais

Na maioria dos países a avaliação da qualidade da água é uma ferramenta imprescindível à gestão dos recursos hídricos. A escassez de água doce associada a aspectos de qualidade e quantidade para diversos rios já é uma realidade preocupante, uma vez que os rios constituem as fontes de mais fácil acesso para abastecimento doméstico, irrigação e uso industrial, sendo indispensável a prevenção e controle da poluição (PINTO, 2016).

A hidroquímica dos rios varia temporalmente e espacialmente, portanto programas de monitoramento são necessários para estimativas confiáveis da qualidade da água. Informações sobre a qualidade das águas dos ecossistemas aquáticos são essenciais para o diagnóstico correto e a gestão eficiente dos recursos hídricos. De acordo com Finotti et. al. (2009), o acompanhamento periódico permite planejar intervenções para melhoria, identificar lançamentos clandestinos, fiscalizar, licenciar e formular políticas ambientais. Além disso, permite caracterizar e analisar tendências de bacias hidrográficas, auxiliar em atividades como planejamento, outorga, cobrança e enquadramento dos cursos d'água (ANA, 2017).

A existência de series históricas de dados e sua interpretação permitem uma melhor compreensão da evolução temporal e espacial da qualidade ambiental e sua correlação com outros fenômenos climáticos ou econômicos. A análise destes dados é importante para informar os usuários deste recurso, os quais tem cobrado informações dos órgãos ambientais governamentais relativas a sua qualidade (LAMPARELLI, 2004).

No Brasil, a Agência Nacional de Águas (ANA) está desenvolvendo o Programa de Estímulo à Divulgação de Dados de Qualidade de Água – QUALIÁGUA. Além da divulgação, o programa tem como uma de suas metas a integração das redes de monitoramento e de informação (ANA, 2017).

Em Minas Gerais, o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) é o responsável pelo monitoramento da qualidade das águas superficiais e subterrâneas desde 1997 através do Programa Águas de Minas, disponibilizando séries históricas da qualidade das águas e gerando dados indispensáveis ao gerenciamento dos recursos hídricos.

O IGAM realiza campanhas completas no primeiro e terceiro trimestre do ano (janeiro/fevereiro/março e em julho/agosto/setembro) caracterizando os períodos de chuva e estiagem onde são monitorados 51 parâmetros comuns. Nos demais meses do ano, são analisados 19 parâmetros genéricos além daqueles característicos das fontes poluidoras que contribuem para a área de drenagem da estação de coleta (IGAM, 2017).

3.1.3 Avaliação de cargas poluidoras

É mais que desejável que dois dos aspectos dos ecossistemas aquáticos (qualidade e quantidade) sejam avaliados conjuntamente, uma vez que variações sazonais de precipitação, escoamento superficial e o fluxo das águas subterrâneas têm fortes efeitos sobre a vazão do rio e conseqüentemente sobre a concentração dos poluentes (VEGA et. al., 1998; KOIDE e SOUZA, 2001).

Sendo assim, seria pertinente que a quantificação dos poluentes fosse apresentada em termos de carga. A carga é expressa em unidades de massa por unidade de tempo, e pode ser calculada multiplicando-se a concentração do parâmetro analisado pela vazão do corpo hídrico como mostra a Equação 1.

$$Carga (kg.dia^{-1}) = \frac{concentração (g.m^{-3}) * vazão (m^3.dia^{-1})}{1000 (g.kg^{-1})} \quad (1)$$

O manejo de recursos hídricos deve promover integração entre variáveis qualitativas e quantitativas. Uma relação mal estabelecida entre disponibilidade hídrica e qualidade da água pode gerar problemas ecológicos e sanitários.

A disponibilidade quali-quantitativa de uma bacia é informação necessária para balancear tanto as retiradas de água para usos consuntivos, como a diluição de poluentes. Sendo assim, a análise de carga é importante para se estabelecer valores de referência, por exemplo, para aplicações na outorga de uso dos recursos hídricos, uma vez que a carga reflete as variações de vazão e concentração do poluente na água ao longo do ano. (CRUZ et al., 2007)

A identificação da carga de um dado parâmetro de qualidade é realizada a partir

de informações de concentração e de vazão. Os dados de concentração resultam da coleta de amostras de água (nos rios) e posterior análise laboratorial. Os dados de vazão devem ser obtidos no momento da coleta da amostra de qualidade (CRUZ *et al.*, 2007).

3.1.4 Estimativas de vazão em locais sem monitoramento fluviométrico

O monitoramento de qualidade das águas é realizado de maneira deficiente no Brasil devido à falta de medições de vazão concomitantes com as medidas de concentração dos parâmetros. Diante da inexistência de dados de vazão exatamente no local de interesse é preciso estimar valores a partir de informações de postos fluviométricos próximos. A utilização desses dados é importante também devido ao alto custo de implantação de uma rede hidrométrica, tornando relevante a otimização das informações disponíveis (TUCCI, 2009).

De acordo com Collischonn e Tassi (2008), a maneira mais simples de se transferir os valores de vazão diárias é estabelecendo uma relação linear entre a vazão e a área de drenagem da bacia relacionada a uma estação de monitoramento específica. Porém deve-se levar em consideração dois pontos fundamentais: a diferença entre as áreas de drenagem, da estação para qual se deseja obter o dado de vazão e da estação fluviométrica onde se tem a informação de vazão, deve estar entre +/- 30% e as estações precisam estar inseridas na mesma calha fluvial e em uma região com o mesmo comportamento hidrológico.

Dessa forma, quando existirem estações fluviométricas localizadas próximas a estações de qualidade da água é possível utilizar as informações existentes de forma consistente, apesar do trabalhoso procedimento (PINTO, 2016). Para isso pode ser feita a regionalização das vazões que consiste no processo de transferência de informações das estações pluviométricas e fluviométricas para outros locais (TUCCI, 2002).

3.2 Análise estatística na avaliação de dados de monitoramento

A Resolução CONAMA nº 357/2005 determina que os resultados do monitoramento deverão ser analisados estatisticamente e as incertezas das medições

consideradas. Para a interpretação de dados de qualidade geralmente são utilizados estatística descritiva, análise de violação de parâmetros, regressões, testes não paramétricos, análises de tendência e estatística multivariada (COSTA, 2014), sendo este último a ferramenta chave deste trabalho.

3.2.1 Conceitos e análises necessários para a preparação do banco de dados antes das análises estatísticas

Antes da aplicação das técnicas estatísticas o banco de dados deve ser devidamente preparado. Devido à inconsistência das coletas das amostras existem dados ambientais faltantes (não computados) ou censurados (acima ou abaixo do limite de detecção) que devem ser cuidadosamente analisados, sendo essencial para a efetividade da aplicação das técnicas. Caso o banco de dados não esteja bem preparado, pode-se induzir conclusões não verdadeiras ou não representativas da realidade (PINTO, 2016).

3.2.2 Técnicas de estatística multivariada para análise de dados de qualidade das águas

Técnicas de estatística multivariada são utilizadas para analisar diversas variáveis de qualidade simultaneamente, simplificando a estrutura de um conjunto de dados complexa. Seus objetivos são construir índices ou variáveis alternativas que sintetizem a informação original dos dados facilitando sua interpretação, construir grupos de elementos amostrais que apresentem similaridade entre si, verificar relações de interdependência entre as variáveis resposta associadas aos diversos fatores e validar as suposições dos testes de hipóteses (MINGOTTI, 2005).

São técnicas comumente utilizadas:

- i) Análise de agrupamento (AA): método que divide um grande grupo de objetos em pequenas classes com base em semelhanças dentro de uma classe e diferenças entre as classes (PANDA et al., 2006).
- ii) Análise de componentes principais (ACP): reduz a dimensionalidade do conjunto de dados original preservando a maior quantidade de informações possíveis. A redução é obtida por meio do estabelecimento

de novas variáveis ortogonais entre si denominadas componentes principais (CP) (MINGOTTI, 2005).

- iii) Análise de fatores ou fatorial (AF): inclui ACP e é uma técnica comum e eficaz usada para reduzir as dimensionalidades reduzindo a contribuição das variáveis menos importantes a fim de simplificar ainda mais a estrutura de dados provenientes da ACP completando-a, pois rotaciona os CP's gerando melhores resultados em relação à sua interpretação (GIRÃO et al., 2007).

No presente trabalho foi aplicada a análise de agrupamento, também conhecida como análise de conglomerados, classificação ou cluster, que é um método que divide um grande grupo de objetos em pequenas classes (cluster), com base em semelhanças dentro de uma classe e diferenças entre as mesmas. Portanto, as classes resultantes devem apresentar alta homogeneidade dentro dos clusters e alta heterogeneidade entre cluster (PANDA et al., 2006; KANNEL et al., 2007).

Para decidir até que ponto dois elementos podem ser considerados como semelhantes ou não, deve-se utilizar critérios que descrevem a similaridade entre elementos amostrais do acordo com as características que neles forem medidas. Se considerarmos que para cada elemento amostral tem-se informações de p -variáveis armazenadas em um vetor, a comparação de diferentes elementos amostrais poderá ser feita através de medidas matemáticas (métricas), que possibilitem a comparação de vetores, como as medidas de distância. Assim, será possível calcular as distâncias entre os vetores, que contém as observações dos elementos amostrais, e agrupar aqueles de menor distância (MINGOTTI, 2005).

De acordo com Mingotti (2005) as técnicas para a construção de conglomerados podem ser classificadas em: hierárquicas e não hierárquicas. As técnicas hierárquicas são usadas em análises exploratórias de dados com o intuito de identificar possíveis agrupamentos e o número de agrupamentos formados, já as não hierárquicas necessitam que o número de grupos já esteja predeterminado. As técnicas hierárquicas partem do princípio que no início existem n conglomerados, ou seja, cada elemento do conjunto de dados é observado como um conglomerado isolado. Em cada passo do algoritmo, os elementos vão sendo agrupados até o momento no qual todos os elementos ficam no mesmo grupo. Os grupos podem ser comparados através de alguma medida de similaridade ou dissimilaridade

previamente definida. A partir da propriedade de hierarquia que constitui os agrupamentos pode se construir dendogramas que representam graficamente cada agrupamento no qual o eixo vertical indica o nível de similaridade e o eixo horizontal são indicados os elementos amostrais numa ordem conveniente relacionada a história dos agrupamentos. Os métodos de agrupamentos hierárquicos podem ser:

- De ligação simples em que a similaridade entre dois conglomerados é definida pelos elementos mais parecidos entre si. Em cada estágio do processo de agrupamento, os dois conglomerados que são mais similares com relação a distância euclidiana são combinados em um único cluster (MINGOTI, 2005).

- De ligação completa em que a similaridade entre dois conglomerados é definida pelos elementos que são mais distantes entre si. Em cada estágio do processo de agrupamento, são combinados em um único grupo aqueles que apresentarem o menor valor de distância, isto é, menor valor de máximo (JONHSON, 2014).

- Da média das distâncias em que a distância entre dois conglomerados é dada pela média das distâncias entre todos os pares de elementos que podem ser formados com os elementos dos dois conglomerados que estão sendo comparados (MINGOTI, 2005).

4 METODOLOGIA

Para se avaliar a similaridade das estações de monitoramento em função das concentrações e das cargas dos parâmetros de qualidade das águas será utilizado o método aglomerativo hierárquico, de ligação completa, utilizando como medida de similaridade a distância Euclidiana. Empregou-se a mesma metodologia utilizada no trabalho desenvolvido por Pinto (2016), pois pretende-se comparar os resultados de Pinto (2016) com os obtidos no presente trabalho.

4.1 Área de estudo

A bacia do Rio das Velhas possui uma série longa de informações hidrológicas e de qualidade das águas superficiais, bem como fontes poluidoras pontuais e difusas. De acordo com o Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas, este rio é o maior afluente da Bacia do São Francisco. Sua bacia abrange 51 municípios e está localizada na região central do estado de Minas Gerais (Figura 1) acolhendo mais de 4,4 milhões de habitantes (IBGE, 2000). A Tabela 1 apresenta outras características da bacia.

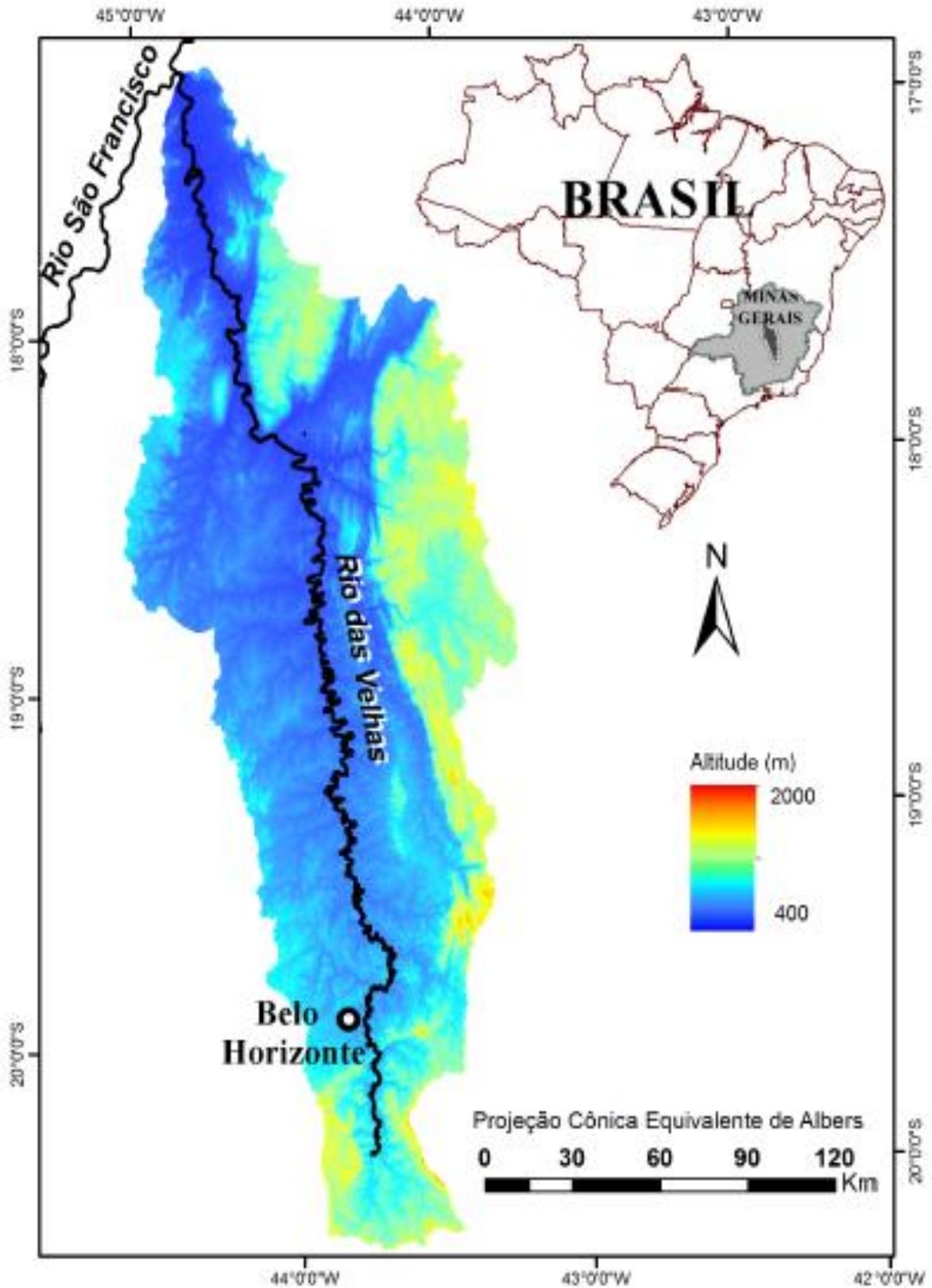
Tabela 1 - Características gerais da Bacia do Rio das Velhas

Extensão do rio	801 km
População (IBGE, 2010)	4.409.896 habitantes
Ocupação	51 municípios
Área de drenagem	29.173 km ²
Nascente	Ouro Preto, MG

Fonte: (CBH, 2017)

O clima na bacia é considerado semiúmido, com período seco durando entre quatro e cinco meses por ano e disponibilidade hídrica entre 2 e 10 litros por segundo por quilometro quadrado, com exceção das nascentes e da bacia do Rio Paraúna (IGAM, 2014).

Figura 1- Localização da Bacia do Rio das Velhas



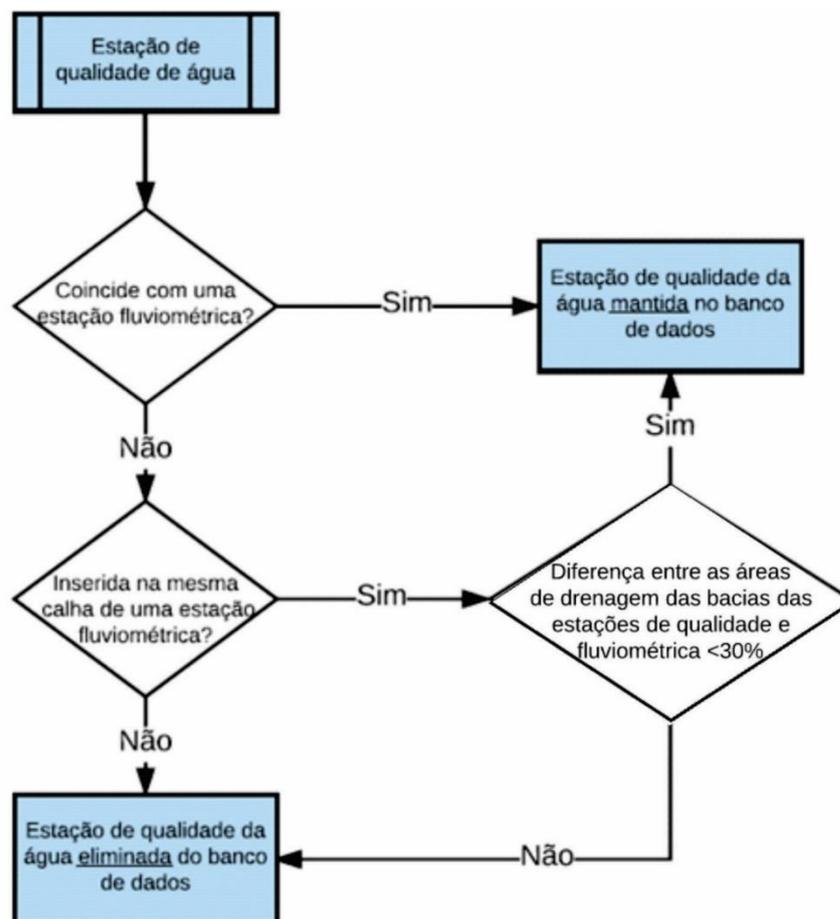
Fonte: Oliveira, 2016

4.2 Dados de monitoramento de qualidade e quantidade de água

A rede de monitoramento de águas superficiais na bacia do Rio das Velhas é composta por 29 estações de qualidade de águas e 10 estações fluviométricas. As estações que estão sob domínio do IGAM monitoram as águas desde 1997 e avaliam 51 parâmetros.

Inicialmente foi realizada a seleção das estações, como mostrado no Diagrama de seleção das estações (Figura 2)

Figura 2 – Diagrama de seleção de estações



Fonte: adaptado Pinto (2016)

4.3 Seleção de parâmetros

A partir dos dados obtidos, foram selecionados parâmetros de acordo com a Resolução da Agência Nacional de Águas (ANA), Resolução nº 903, de 22 de julho

de 2013. A resolução cria a Rede Nacional de Monitoramento da Qualidade das Águas Superficiais – RNQA e estabelece suas diretrizes. De acordo com o Anexo II da resolução ficam determinados como parâmetros mínimos a serem analisados os apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Parâmetros mínimos de qualidade de água segundo Resolução n.º 903 de 2013 da ANA

Categoria	Parâmetro
Físico-químico	1) Condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
	2) Temperatura da Água e ($^{\circ}\text{C}$)
	3) Temperatura do Ar ($^{\circ}\text{C}$)
	4) Turbidez (UNT)
	5) Oxigênio dissolvido (mg/L de O_2)
	6) pH
	7) Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L), e
	8) Sólidos em Suspensão (mg/L)
	9) Alcalinidade Total (mg/L de CaCO_3)
	10) Cloreto Total ⁽²⁾ ($\mu\text{g}/\text{L}$ de Cl)
	11) Transparência da água ⁽³⁾
	12) Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO 5d, 20°C , mg/L de O_2)
	13) Demanda Química de Oxigênio (mg/L de O_2)
	14) Carbono Orgânico Total ⁽²⁾ (mg/L como C)
Microbiológico	15) Coliformes Termotolerantes ⁽⁵⁾ (n° de CT/100 mL)
	Biológico
17) Fitoplâncton – qualitativo ⁽⁴⁾ e	
18) Fitoplâncton – quantitativo ⁽³⁾ (n° célula/mL)	
Nutrientes	Fósforo
	19) Fósforo solúvel reativo
	20) Fósforo Total (mg/L de P)
	Nitrogênio
	21) Nitrato ($\mu\text{g}/\text{L}$ de N)
	22) Nitrogênio Amoniacal (mg/L de N)
23) Nitrogênio total (mg/L de N)	

Fonte: ANA, 2013

Observações:

- (1) Parâmetros mínimos a serem monitorados para fins de avaliação da qualidade das águas superficiais, observados a sua especificidade segundo tipo do ambiente – lênticos e lóticos; com águas doces, salobras ou salinas.
- (2) Parâmetro incluído, apenas, no monitoramento das águas salobras e salinas.
- (3) Parâmetro incluído, apenas, no monitoramento de ambientes lênticos.
- (4) Parâmetro condicionado ao resultado do ensaio de fitoplâncton qualitativo, em conformidade com o disposto na portaria MS nº 2914, de 2011.
- (5) O parâmetro Coliformes Termotolerantes pode ser substituído pela análise de *Escherichia coli*, como indicador de contaminação por fezes de mamíferos.

A partir dos dados coletados no período selecionado, cada parâmetro descrito na Resolução nº 903, de 22 de julho de 2013 foi analisado individualmente de para seleção dos mais consistentes, ou seja, os que apresentavam menos falhas durante as leituras, assim como os parâmetros que possuíam leitura mensal.

Como o objetivo do trabalho é avaliar a carga resultante, os parâmetros selecionados são os avaliados através da unidade de concentração expressa através da relação massa/volume.

Devido às características da região, decidiu-se adicionar aos parâmetros analisados o arsênio. De acordo com Von Sperling (2005) a origem natural do arsênio é de menor importância, porém as origens antropogênicas como despejos industriais, atividades mineradoras, atividade de garimpo e agricultura devem ser consideradas. De acordo com o Relatório de qualidade das águas superficiais do IGAM (2014), o percentual de ocorrência de contaminações por tóxicos está associado a elevadas concentrações de arsênio (31%) na Bacia do Rio das Velhas.

A partir da campanha de 2013 passou a ser avaliado o parâmetro *Escherichia coli* em substituição aos coliformes termotolerantes. Segundo a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-mg nº 01/2008, a *E. coli* é a única espécie do grupo dos coliformes termotolerantes cujo habitat é o intestino humano e de animais homeotérmicos sendo raramente encontrada em águas que não tenham recebido contaminação fecal (CETESB, 2009).

4.4 Cálculo das cargas poluentes

Para cada estação de qualidade obteve-se a vazão nas datas de monitoramento da qualidade, considerando cada um dos cinco anos hidrológicos avaliados, obtendo-se assim o banco de dados com informações de qualidade (concentração) e vazão. Com a Eq. 1 obteve-se a carga poluidora para cada um dos parâmetros. A técnica de análise de Cluster foi aplicada para os dados de concentração e carga considerando os períodos: completo, chuvoso e seco. Para tal finalidade foram utilizados os softwares Excel e Access (banco de dados) e o programa R para análises estatísticas dos agrupamentos (cluster).

4.5 Análise estatística multivariada

Os dados de vazão utilizados na monografia foram obtidos do trabalho de Oliveira (2016), que considerou as condições descritas anteriormente.

Os dados selecionados foram agrupados e foi feita uma análise prévia. As datas de leitura que não apresentaram os valores de todos os parâmetros

selecionados foram excluídas do banco de dados.

Com o banco de dados consolidado, foi realizado o cálculo das cargas de cada parâmetro de acordo com a equação 1. Foi gerado então, um segundo banco de dados constituído pela carga dos parâmetros. Ambos os bancos de dados foram separados novamente (seca e chuva) para análise da sazonalidade. Sendo assim foram geradas seis planilhas, apresentadas no Anexo A deste trabalho, contendo os dados a serem analisados separados da seguinte forma:

- Dados de concentração durante o período completo;
- Dados de concentração durante o período de chuva;
- Dados de concentração durante o período de seca;
- Dados de carga durante o período completo;
- Dados de carga durante o período de chuva;
- Dados de carga durante o período de seca.

Após a formação das planilhas foram retiradas as medianas de cada parâmetro, nos períodos avaliados, para cada estação de monitoramento. A mediana foi selecionada por ser uma medida de tendência central que reduz o peso dado aos valores extremos (OLIVEIRA, 2016).

Com o *software* R as variáveis de qualidade (X) foram padronizadas por meio da distribuição normal (VICINI, 2005) (Equação 2) utilizando a média e o desvio gerando um adimensional de forma que os dados passem a ter variabilidade de ordem de grandeza similar (NAGHETTINI, 2007).

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma}$$

(2)

Em que:

Z = Valor padronizado (normal)

X = Variável

μ = Média dos dados

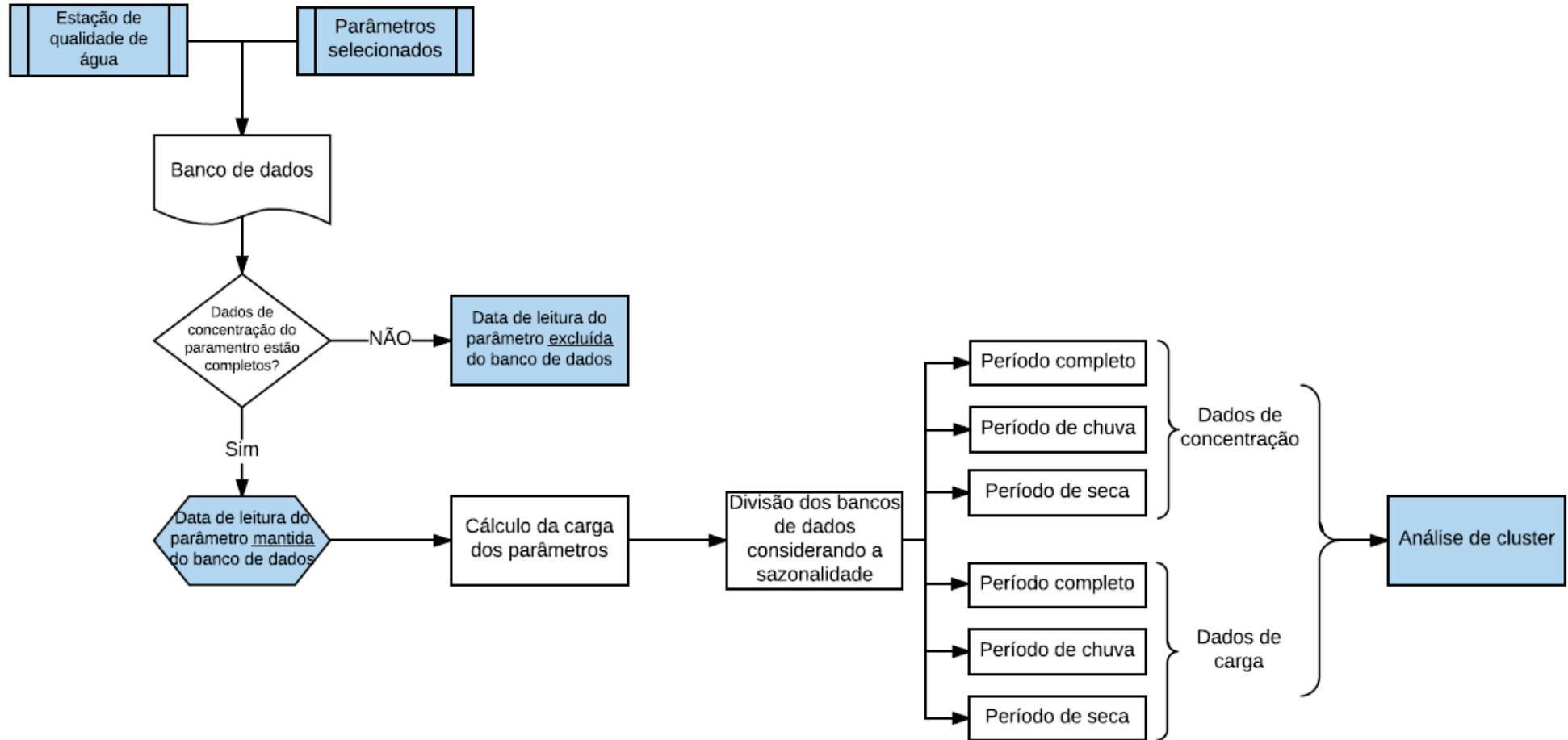
σ = desvio padrão

Em seguida foi calculada a distância euclidiana e então o agrupamento hierárquico por meio dos clusters obtido com a rotina definida para o software R (Anexo B). A Figura 3 representa o resumo da metodologia aplicada até a geração dos clusters.

Após a elaboração do dendrograma, a escolha final de grupos é dada traçando uma linha de corte a uma distância adotada. Essa linha de corte é conhecida como “linha de Fenon” (VICINI, 2005) e o corte é responsável pelo número de grupos formados. É usual adotar linhas de corte na distância média entre as maiores distancias de ligação, pois assim os grupos apresentam maiores diferenças entre si (CALAZANS, 2015).

O método de ligação completa foi escolhido para que se torne possível a comparação dos resultados com trabalhos já realizados na região além de ser um dos mais empregados para estudos de qualidade de água (CALAZANS, 2015).

Figura 3 - Diagrama da metodologia aplicada na geração dos clusters



5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Estações e parâmetros selecionados

Foram utilizadas 15 estações de monitoramento de qualidade das águas do IGAM (Instituto Mineiro de Gestão das Águas) e 8 estações de monitoramento de vazão da CEMIG e da ANA, inseridas na calha principal do Rio das Velhas (Figura 4). O período a ser analisado será de 5 anos hidrológicos compreendidos entre 2008 e 2013 como mostrado na Tabela 3, iniciando-se em outubro de um ano e terminando em setembro do ano seguinte.

Tabela 3 - Anos hidrológicos selecionados para a análise da vazão nas estações da ANA

Ano hidrológico	Período
1	2008-2009
2	2009-2010
3	2010-2011
4	2011-2012
5	2012-2013

As estações selecionadas estão relacionadas abaixo, no sentido de montante para jusante, apresentando os códigos definidos pelo IGAM (Tabela 4) e ANA (Tabela 5), contendo dados de qualidade e vazão, respectivamente, e localizadas no mapa segundo figura 4.

Tabela 4 - Seleção de estações de qualidade da água (QA) conforme padronização do IGAM

Código	Classe	Descrição	Latitude	Longitude	Município
BV013	Classe 2	Rio das Velhas a montante da foz do Rio Itabirito	20°12'36,00"	43°44'30,00"	Itabirito
BV037	Classe 2	Rio das Velhas a jusante da foz do Rio Itabirito	20°07'47,00"	43°48'00,00"	Rio Acima
BV139	Classe 2	Rio das Velhas a montante da ETA/COPASA, em Bela Fama	20°03'48,00"	43°49'00,00"	Rio Acima
BV063	Classe 2	Rio das Velhas a jusante do Ribeirão Água Suja	19°58'31,00"	43°48'26,00"	Nova Lima - Raposos
BV067	Classe 2	Rio das Velhas a montante do Ribeirão Sabará	19°56'18,00"	43°49'37,00"	Sabará
BV083	Classe 2	Rio das Velhas logo a jusante do Ribeirão Arrudas	19°50'57,00"	43°51'54,00"	Sabará
BV105	Classe 2	Rio das Velhas logo a jusante do Ribeirão do Onça	19°47'56,00"	43°52'33,00"	Santa Luzia
BV153	Classe 3	Rio das Velhas a jusante do Ribeirão da Mata	19°42'49,00"	43°50'41,00"	Santa Luzia
BV137	Classe 2	Rio das Velhas na Ponte Raul Soares, em Lagoa Santa	19°32'35,00"	43°54'08,00"	Lagoa Santa
BV156	Classe 2	Rio das Velhas logo a jusante do Rio Jabuticatubas	19°16'39,00"	44°00'20,00"	Baldirim
BV142	Classe 2	Rio das Velhas a jusante do Ribeirão Santo Antônio	18°32'13,00"	44°10'30,00"	Inimutaba - Presidente Juscelino
BV152	Classe 2	Rio das Velhas entre os rios Paraúna e Pardo Grande	18°18'43,00"	44°14'36,00"	Santo Hipólito
BV146	Classe 2	Rio das Velhas a jusante do Rio Pardo Grande	18°12'47,00"	44°21'14,00"	Augusto de Lima - Corinto
BV148	Classe 2	Rio das Velhas na cidade de Várzea da Palma	17°36'39,00"	44°41'46,00"	Várzea da Palma
BV149	Classe 2	Rio das Velhas a montante da sua foz no Rio São Francisco em Guaicuí	17°12'14,00"	44°49'22,00"	Várzea da Palma

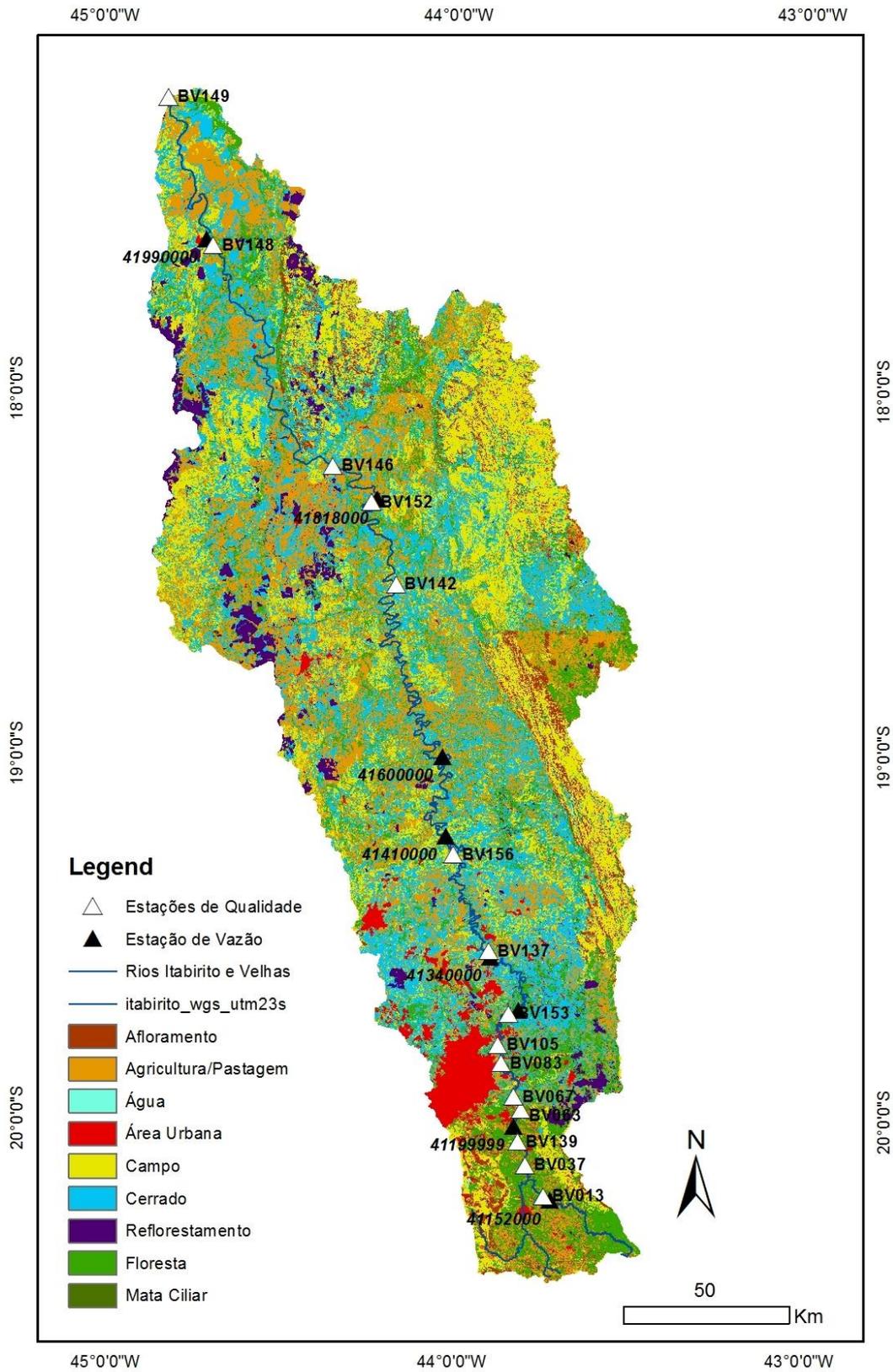
Fonte: Oliveira, 2016

Tabela 5 - Estações pertencentes à ANA e CEMIG para monitoramento de vazão, inseridas na Bacia do Rio das Velhas e utilizadas no estudo

Código	Descrição	Latitude	Longitude
41152000	Fazenda Vertentes	-20,23	-43,74
41199998	Honório Bicalho - Montante	-20,02	-43,82
41260000	Pinhões	-19,71	-43,81
41340000	Ponte Raul Soares	-19,56	-43,91
41410000	Jequitibá	-19,22	-44,02
41600000	Pirapama	-19,01	-44,04
41818000	Santo Hipólito	-18,31	-44,23
41990000	Várzea da Palma	-17,59	-44,71

Fonte: Oliveira, 2016

Figura 4 – Uso do Solo e estações fluviométricas e de qualidade de água na Bacia do Rio das Velhas, MG



As estações selecionadas estão situadas ao longo da calha principal do Rio das Velhas e sua distribuição em relação a Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) está esquematizada de acordo com a figura 5 assim como o código utilizado para a elaboração dos dendogramas.

Figura 5 - Localização das estações em relação a região metropolitana de Belo Horizonte e relação entre os códigos das estações (definido pelo IGAM) e o código utilizado no software R, para gerar os clusters



Foram então selecionados 10 parâmetros, com unidade de medida expressa como concentração, monitorados pelo IGAM conforme a Tabela 6

Tabela 6 - Relação de parâmetros selecionados para análise

Categoria	Parâmetro	Abreviatura
Físico-químico	Arsênio (mg/L)	Ar
	Oxigênio dissolvido (mg/L de O ₂)	OD
	Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)	Sol
	Cloreto Total (µg/L de Cl)	Cl
	Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO 5d, 20°C, mg/L de O ₂)	DBO
	Demanda Química de Oxigênio (mg/L de O ₂)	BQO
Microbiológico	Coliformes Termotolerantes (nº de CT/100 mL)	Colif
Biológico	Clorofila a (µg/L)	Clorof
Nutrientes	Fósforo Total (mg/L de P)	P
	Nitrato (µg/L de N)	N

Durante a estruturação do banco de dados foi possível notar que há um grande número de falhas nas leituras das estações de monitoramento de qualidade de água. Tal fato poderia afetar o método estatístico aplicado, por isso foram excluídas as datas em que há falha em algum dos parâmetros. Inicialmente o banco de dados possuía 1270 leituras de dados de concentração, porém com o grande número de falhas, as leituras foram reduzidas para 867. O que significa uma redução de 31,7% dos dados.

5.2 Descrição dos agrupamentos

A partir da metodologia descrita foi possível elaborar os dendrogramas dos agrupamentos para cada banco de dado (planilha) especificado anteriormente utilizando ferramentas do Software R. Os dendrogramas obtidos foram agrupados conforme Tabelas 7, 8 e 9, de forma que os grupos formados (G1, G2, G3 e G4) estão marcados em vermelho da esquerda para a direita. Já a Tabela 10 apresenta os resultados dos agrupamentos de cada estação de acordo com cada banco de dados para melhor visualização dos dendrogramas.

Tabela 7 - Dendrogramas resultantes do agrupamento cada os bancos de dados em período completo

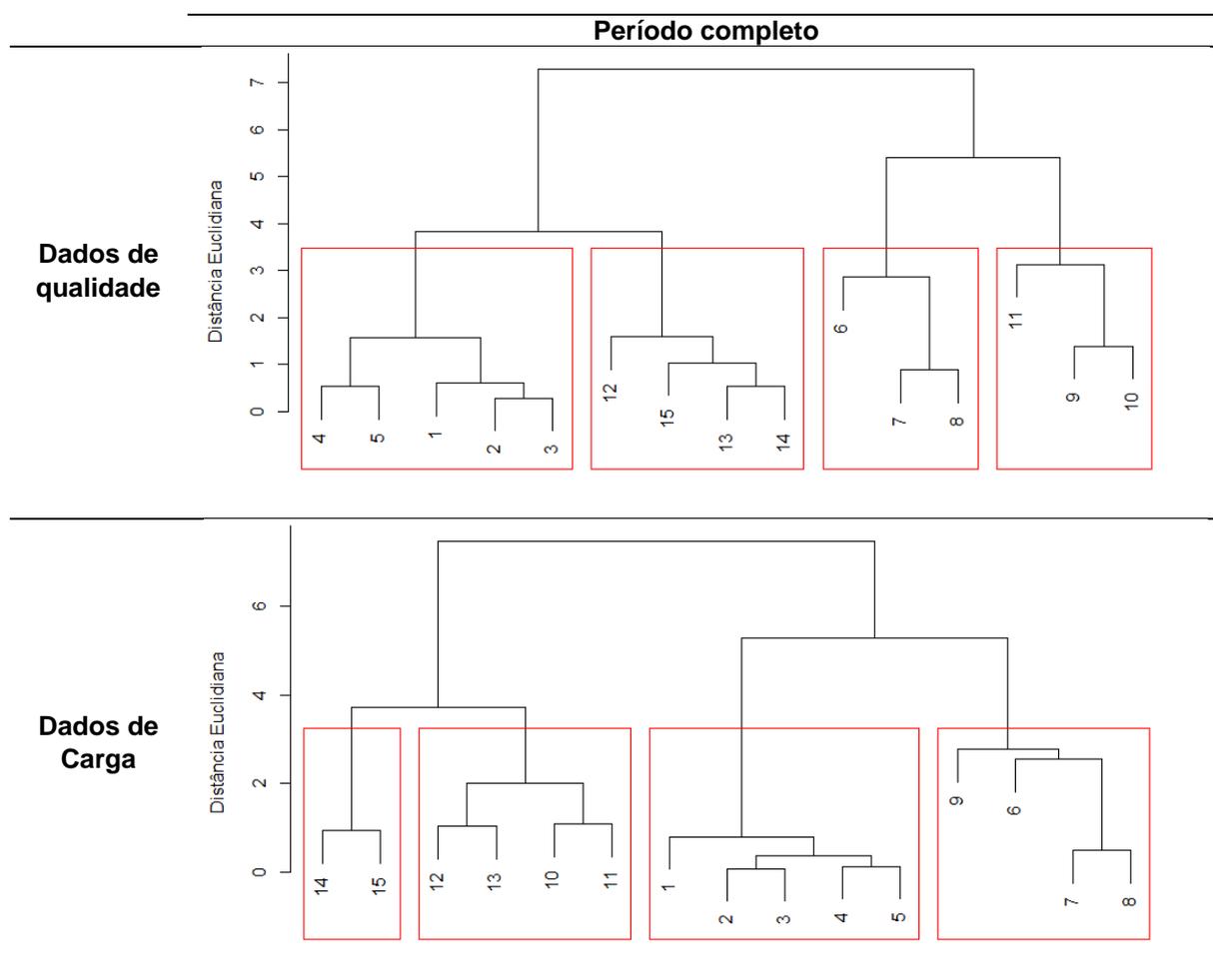


Tabela 8 - Dendogramas resultantes do agrupamento cada os bancos de dados em período de chuva

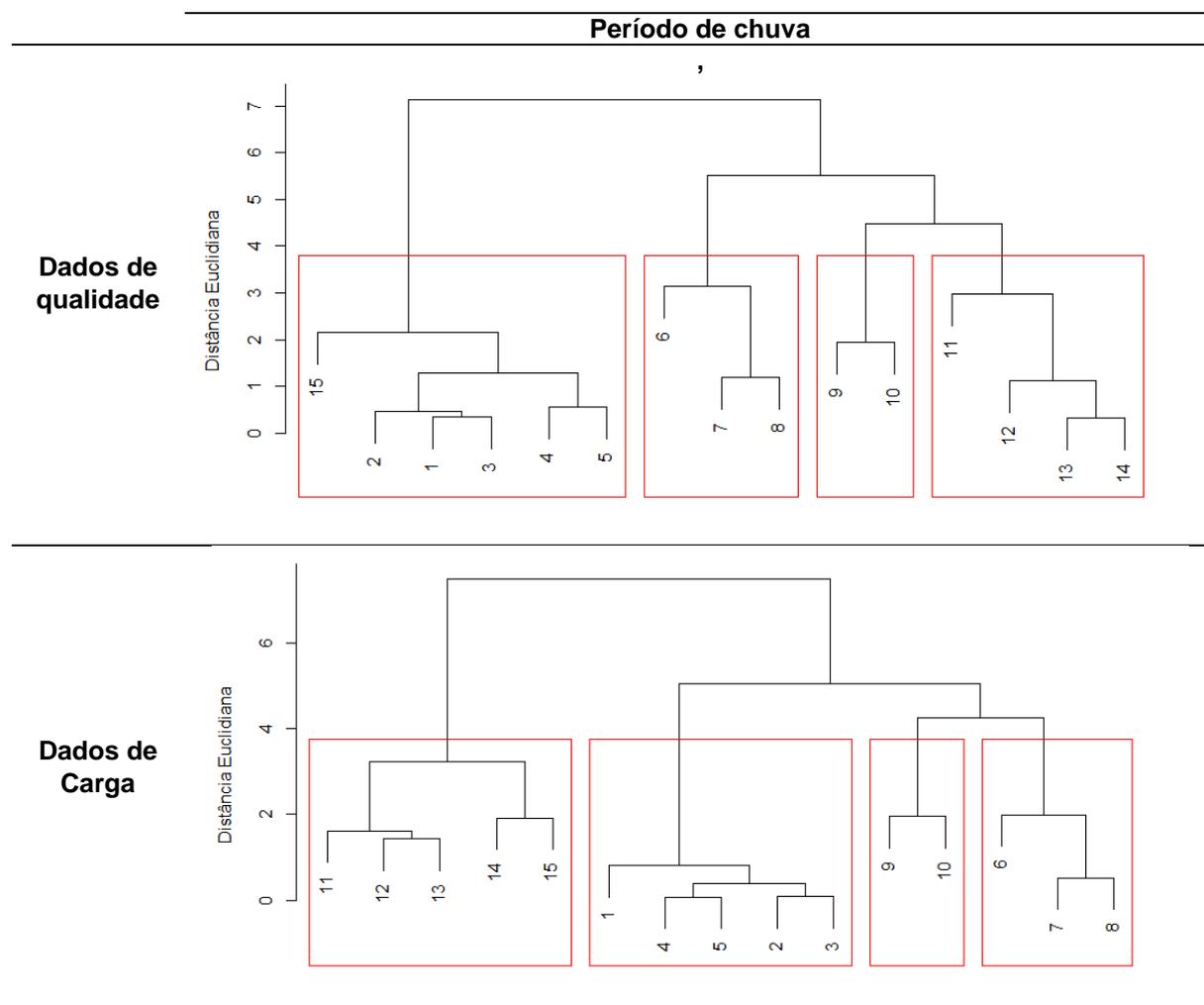


Tabela 9 - Dendogramas resultantes do agrupamento cada os bancos de dados em período de seca

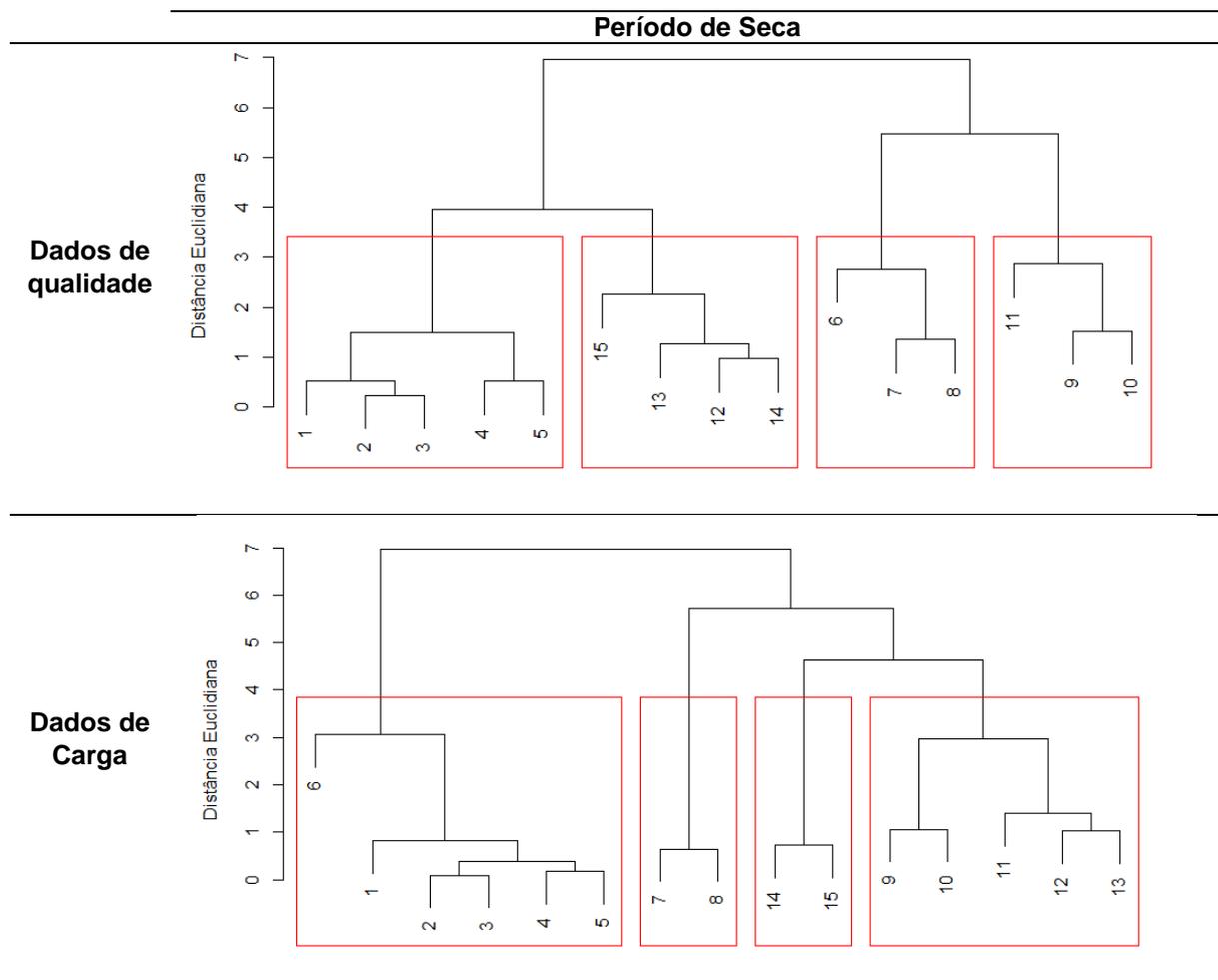


Tabela 10 - Resumo dos resultados dos agrupamentos de acordo com cada banco de dados

	Período completo		Período de Chuva		Período de seca	
Dados de qualidade	G1	BV013, BV037, BV139, BV063, BV067	G1	BV013, BV037, BV139, BV063, BV067, BV149	G1	BV013, BV037, BV139, BV063, BV067
	G2	BV152, BV146, BV148, BV149	G2	BV083, BV105, BV153	G2	BV152, BV146, BV148, BV149
	G3	BV083, BV105, BV153	G3	BV137, BV156	G3	BV083, BV105, BV153
	G4	BV137, BV156, BV142	G4	BV142, BV152, BV146, BV148,	G4	BV137, BV156, BV142
Dados de carga	G1	BV148, BV149	G1	BV142, BV152, BV146, BV148, BV149	G1	BV013, BV037, BV139, BV063, BV067, BV083
	G2	BV156, BV142, BV152, BV146,	G2	BV013, BV037, BV139, BV063, BV067	G2	BV105, BV153
	G3	BV013, BV037, BV139, BV063, BV067	G3	BV137, BV156	G3	BV148, BV149
	G4	BV083, BV105, BV153, BV137	G4	BV083, BV105, BV153	G4	BV137, BV156, BV142, BV152, BV146

5.3 Análise dos agrupamentos formados

5.3.1 Aspectos Gerais

De acordo com o resumo dos resultados de Qualidade das Águas Superficiais de Minas Gerais elaborado pelo IGAM em 2013 foi possível analisar o IQA das estações analisadas (Tabela 11) em conjunto com os agrupamentos formados.

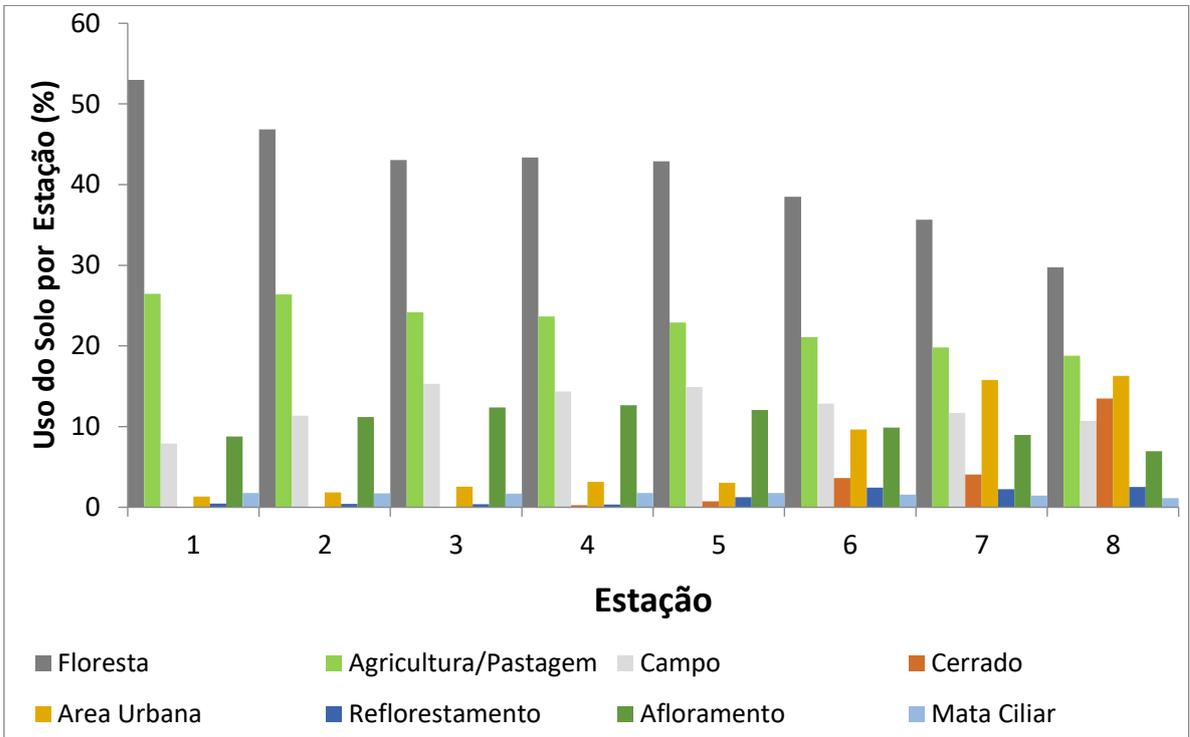
Tabela 11 - Descrição do IQA das estações de monitoramento segundo relatório do IGAM, 2013

Estação	IQA
BV013	Médio
BV037	Médio
BV139	Médio
BV063	Médio / Ruim
BV067	Médio
BV083	Ruim
BV105	Ruim
BV153	Ruim
BV137	Ruim
BV156	Ruim
BV142	Médio
BV152	Médio
BV146	Médio
BV148	Médio
BV149	Médio

Fonte: IGAM (2013)

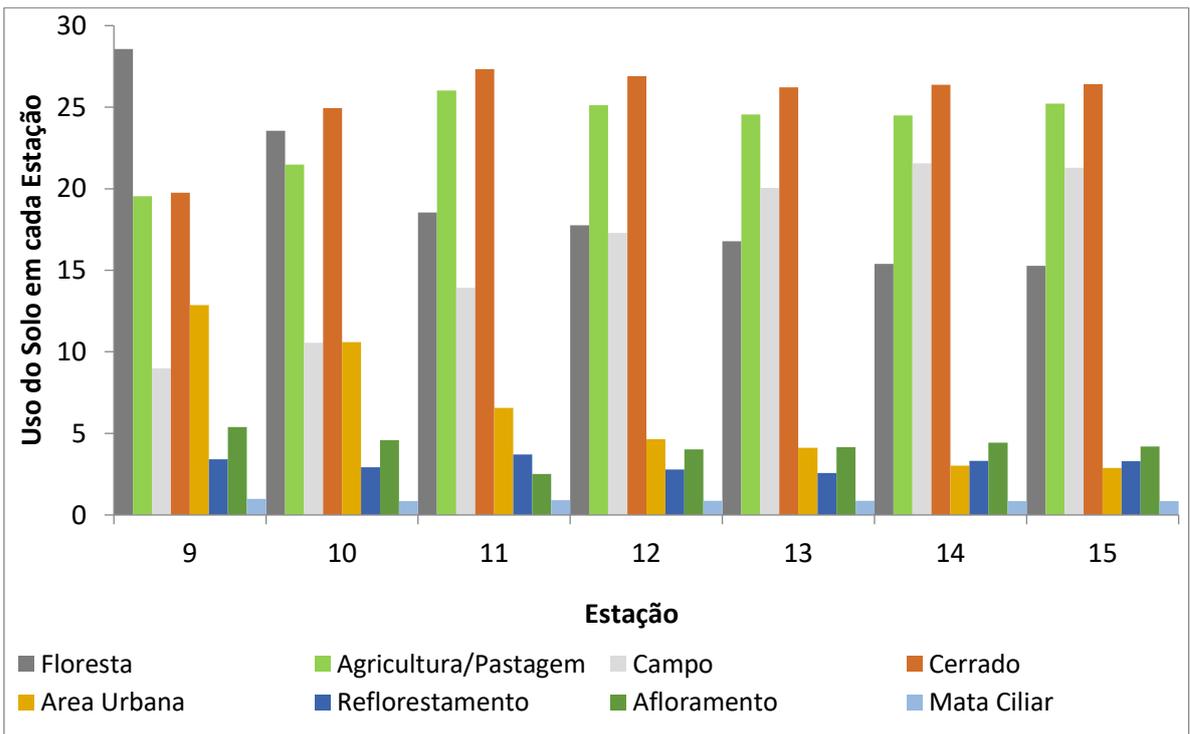
A partir de dados do estudo de Oliveira (2016), foi possível analisar o uso e ocupação do solo (Figuras 6a e 6b) relacionado à área de drenagem em cada estação de monitoramento para se comparar as semelhanças entre os elementos dos grupos.

Figura 6a - Gráfico do uso e ocupação do solo nas bacias de contribuição das estações 1 a 8. Adaptado de Oliveira (2016)



Fonte: Oliveira (2016)

Figura 7b - Gráfico do uso e ocupação do solo nas bacias de contribuição das estações 9 a 10. Adaptado de Oliveira (2016)



É possível perceber que ao longo da calha principal, o Rio das Velhas passa pela Região Metropolitana de Belo Horizonte. A presença da RMBH influencia diversos aspectos de uso e ocupação do solo; não só aumenta as porcentagens de área urbana como reduz as porcentagens das áreas de vegetação (floresta, campo e agricultura/pastagem). Tal mudança influencia diretamente no IQA como pôde ser analisado através da Tabela 11 e nos agrupamentos formados pela análise de cluster.

5.3.2 Período completo:Análise de carga e concentração

Considerando o período completo foi possível perceber que se formaram diferentes agrupamentos ao se analisar os resultados dos dados de concentração e de carga. As estações BV013, BV037, BV139, BV063 e BV067 permaneceram agrupadas em ambos os casos e segundo dados do IGAM (2013) tais estações possuem IQA considerado médio e estão inseridas no alto trecho do Rio das Velhas.

As estações BV083, BV105 e BV153 também permaneceram juntas em ambos os casos, porém quando considerados os dados de carga tais estações se agruparam com a estação BV137. As quatro estações estão inseridas no médio-alto trecho do Rio das Velhas, com maior percentual de ocupação do solo da bacia de drenagem por área urbana, onde se insere a RMBH. O IQA dessas quatro estações segundo o IGAM (2013) é ruim. Tal fato pode ser explicado por tais estações estarem localizadas a jusante de pontos de lançamento de esgoto doméstico, tratado (estações de tratamento de esgoto - ETE) ou bruto. A estação BV083 recebe os despejos da ETE Arrudas e as demais estações (BV105 e BV153) da ETE Arrudas e da ETE Onça.

Quando considerados os dados de concentração a estação BV137 se agrupou com as estações BV156 e BV142. O IQA dessas estações é ruim (BV137 e BV156) e médio (BV142). A área urbana da bacia de contribuição dessas estações passa a reduzir seu percentual e o domínio do cerrado começa a ser predominante. Já as estações BV152, BV146, BV148 e BV149, localizadas no baixo trecho do Rio das Velhas) formaram outro agrupamento no qual todas estações possuem IQA médio e a área urbana como uso e ocupação do solo já é bem reduzida.

Quando considerados os dados de carga as estações BV156, BV142, BV152 e BV146 formaram um agrupamento enquanto as estações BV148 e BV149 ficaram em

um agrupamento distinto. Com exceção da estação BV156 que possui um IQA ruim, as demais estações possuem IQA médio. As estações BV148 e BV149 estão mais distantes da RMBH e próximas à foz no Rio São Francisco possuindo as maiores vazões da bacia.

5.3.3 Períodos de chuva e seca: Análise da sazonalidade

Ao considerar os dados de concentração, comparou-se os agrupamentos de acordo com o período de chuva e de seca. Apenas o grupo formado pelas estações BV083, BV105 e BV153 foi idêntico tanto no período de chuva quanto de seca. Como dito anteriormente, a RMBH está inserida na bacia de contribuição destas estações.

As estações BV013, BV037, BV139, BV063 e BV067 estão no alto trecho do Rio das Velhas e formam um agrupamento durante o período de seca, porém no período de chuva elas se agrupam com a estação BV149. Tal estação está inserida em uma região em que o uso do solo já não é mais área urbana e a agricultura/pastagem passa a ter os seus percentuais próximos aos das estações que estão inseridas no alto trecho do rio.

Outro agrupamento formado consiste nas estações BV137 e BV156 durante o período de chuva. Durante o período de seca estas duas estações se agrupam com a estação BV142. O IQA das estações BV137 e BV156 é considerado ruim e da estação BV142 médio. A baixa vazão no período de seca pode fazer com que os poluentes cheguem na estação BV142 com a concentração mais elevada evidenciando que a qualidade da água nesse local não é melhor que nas estações anteriores.

Já durante o período de chuva a estação BV142 está agrupada com as estações BV152, BV146 e BV148, estações de IQA médio, domínio de cerrado e alto percentual de agricultura/pastagem como uso do solo. Durante o período de seca as estações BV152, BV146 e BV148 se agruparam com a estação BV149 que possui características de uso e ocupação do solo semelhantes.

Ao considerar os dados de carga as estações BV013, BV037, BV139, BV063 e BV067 permaneceram agrupadas no período de chuva, mas se agruparam com a estação BV083 no período de seca. Já no período de chuva esta estação se agrupou com as estações BV105 e BV153, as quais ficaram isoladas no período de seca.

No período de chuva as estações BV137 e BV156 formaram um agrupamento enquanto as estações BV142, BV152, BV146, BV148 e BV149 formaram outro. Já no período de seca um agrupamento foi formado pelas estações BV137, BV156, BV142, BV152 e BV146 e o outro pelas estações BV148 e BV149.

5.4 Considerando estudos semelhantes na bacia do Rio das Velhas

Trindade (2017) analisou a bacia do Rio das Velhas de maneira mais abrangente com 29 estações, 11 parâmetros considerando os dados obtidos entre 2002 e 2011; e o estudo de Calazans (2015) analisou 18 estações e 16 parâmetros no período de 2009 a 2013.

Os parâmetros analisados nestes dois estudos coincidem com os analisados no presente trabalho. Trindade (2016) identifica em seu estudo os parâmetros mais importantes na degradação da Bacia do Rio das Velhas sendo eles: arsênio total, coliformes termotolerantes, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), fósforo total, índice de qualidade de água (IQA), manganês total, nitrato, nitrogênio amoniacal, oxigênio dissolvido, sólidos suspensos totais e turbidez.

Calazans (2015) analisou 16 parâmetros que incluem: arsênio total, cloreto total, clorofila *a*, coliformes termotolerantes, condutividade elétrica *in loco*, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), densidade de cianobactérias, feoftina-*a*, fósforo total, nitrato, oxigênio dissolvido, pH *in loco*, sólidos totais, temperatura da água, turbidez.

Os agrupamentos formados nos estudos de Calazans (2015) e Trindade (2016) foram feitos a partir de dados de concentração, sem considerar o efeito da sazonalidade. Nota-se que os agrupamentos são diferentes entre si, e diferentes, ainda, deste estudo.

Considerando apenas as estações presentes neste estudo, foram comparados os agrupamentos formados por tais autoras conforme Tabela 12.

Tabela 12 - Agrupamentos formados nos estudos de Trindade (2017) e Calazans (2015)

		Calazans (2015)			Trindade (2017)
Grupos	G1	BV013, BV037, BV139, BV063, BV067	G1	BV013, BV037, BV139, BV149	
	G2	BV083	G2	BV083, BV105, BV153, BV137, BV156	

G3	BV105, BV153, BV137,	G3	BV063, BV067, BV142, BV152, BV146, BV148
G4	BV156, BV142		
G5	BV152, BV146, BV148, BV149		

Ao se comparar com os resultados da Tabela 10 deste estudo, nota-se que os agrupamentos foram distintos assim como o número de agrupamentos formados. Apenas as estações do alto trecho do rio BV013, BV037 e BV139, as do médio-alto BV105 e BV153 e as do baixo trecho BV146 e BV148 permaneceram no mesmo agrupamento independentemente das variáveis consideradas.

Os resultados de Calazans (2015) são os que mais se assemelham aos resultados no presente estudo, o que pode ser justificado pelo período de coletas das amostras foi semelhante, assim como o número de parâmetros avaliados.

5.5 Estudos comparativos de dados de carga e dados de concentração

Para analisar a diferença dos agrupamentos formados quando analisado dados de carga e de concentração foram comparados os resultados com um estudo semelhante. O estudo de Pinto (2016) analisa a importância da avaliação de dados de concentração e de carga de poluentes na bacia hidrográfica do Rio Verde. A autora avaliou 12 parâmetros considerando 9 estações de qualidade da água e constatou que a utilização de medidas de concentração de poluentes não é suficiente para avaliações da qualidade da água assim como para a gestão de recursos hídricos.

Assim como no estudo de Pinto (2016), foram encontradas diferenças nos agrupamentos formados quando comparados dados de carga e de concentração. Os parâmetros de qualidade da água no Rio das Velhas devem, então, ser analisado em conjunto com dados de vazão e, conseqüentemente dados de carga.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da análise dos agrupamentos dos dados de carga e dos dados de concentração foi possível perceber a formação de grupos diferentes. As estações BV013, BV037, BV139, BV063 e BV067 possuem o maior nível de semelhança, já que apareceram juntas em todos os agrupamentos. As principais diferenças consistem no agrupamento das estações que estão à jusante da RMBH. Ao longo de seu percurso, o Rio das Velhas passa por diferentes formações de vegetação assim como diferentes usos do solo sendo a parte urbana composta pela RMBH a mais impactada. O trecho anterior a RMBH é predominantemente composto por florestas e pastagens enquanto o baixo trecho da bacia sofreu com influências de fontes pontuais e difusas de poluição advindas tanto da própria RMBH quanto da intensa atividade de agricultura e pecuária.

Com base nos 10 parâmetros analisados, os agrupamentos de dados de concentração apresentaram resultados diferentes quando comparados os períodos de chuva e seca. As estações BV142 e BV149, portanto, passaram a integrar grupos distintos em ambas as análises. As demais estações permaneceram agrupadas da mesma maneira.

Considerando os dados de carga, os agrupamentos formados foram diferentes quando comparados período de chuva e período de seca. Com exceção das estações do alto trecho que permaneceram juntas.

Os agrupamentos formados a partir de diferentes bancos de dados evidenciaram que a análise dos dados de carga se difere da análise dos dados de concentração e que a sazonalidade é um fator que também influencia na formação dos grupos.

Ao se comparar os estudos de Trindade (2016) e Calazans (2015) pode-se observar a formação de diferentes agrupamentos. Tal fato pode ser explicado não só pelas diferenças estatísticas entre os agrupamentos, mas como também o período analisado e os parâmetros considerados.

Sendo assim, foi possível concluir que os dados de vazão devem ser parte na avaliação dos dados de concentração. A diminuição da concentração não reflete unicamente a redução da degradação ou que as fontes de poluição foram reduzidas. Tal diminuição pode ocorrer devido ao aumento da vazão diluindo o poluente.

O fato de a vazão ser um fator importante na avaliação dos agrupamentos justifica a influência da sazonalidade, já que a vazão aumenta consideravelmente nos

períodos de chuva. Sendo assim, é importante considerar a sazonalidade na análise da qualidade da água no trecho selecionado da bacia do Rio das Velhas.

7 SUGESTÕES

- Realizar estudos estatísticos mais aprofundados para verificar o nível de semelhança entre as estações em um dado agrupamento.
- Considerar um número maior de parâmetros e de estações para que se avalie a bacia como um todo.
- Ampliar a série de dados a partir de 2013, pois alguns passaram a ter monitoramento mensal desde 2008.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA, RESOLUÇÃO nº 903, de 22 de julho de 2013 - **Rede Nacional de Monitoramento da Qualidade das Águas Superficiais – RNQA e estabelece suas diretrizes.**

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **HidroWeb – Sistema de Informações Hidrológicas.** Disponível em <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: 08 mai. 2017

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Portal da Qualidade das Águas.** Disponível em < <http://portalpnqa.ana.gov.br/Qualiagua.aspx>>. Acesso em: 08 mai. 2017.

AMARO, C. A. **Proposta de um índice para Avaliação de Conformidade da Qualidade dos Corpos Hídricos ao Enquadramento.** 2009. 224 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Sanitária) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

ANTONOPOULOS, V. Z.; PAPAMICHAIL, D. M.; MITSIOU, K. A. **Statistical and trend analysis of water quality and quantity data for the Strymon River in Greece.** Hydrology and Earth System Sciences, v. 5, n. 4, p. 679-691, 2001.

BARBOSA, T. B. C. **Avaliação da qualidade das águas Superficiais da sub-bacia do rio Paracatu em função do uso e Ocupação do solo.** 2015. 156 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

BOWES, M. J.; JARVIE, H. P.; Naden, P. S.; Old, G. H.; Scarlett, P. M.; Roberts, C.; Armstrong, L. K.; Harman, S. A.; Wickham, H. D.; Collins, A. L. **Identifying priorities for nutrient mitigation using river concentration–flow relationships: The thames basin, uk.** Journal of Hydrology, 517. p.1–12. 2014.

BRACA, G. **Stage-discharge relationships in open channels: practices and problems - FORALPS Technical Report,** 11. Trento: Università degli Studi di Trento, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, 2008. 24 p.

BRANCO, S. M. **Caracterização e alterações da qualidade da Água.** In: PORTO, R. L. L.; BRANCO, S. M.; CLEARY, R. W.; COIMBRA, R. M.; EIGER, S.; LUCA, S. J.; NOGUEIRA, V. P. Q.; PORTO, M. F. A. *Hidrologia Ambiental.* 3 ed. São Paulo: Edusp/ABRH, 1991. 414 p.

BRASIL. Portaria nº 2914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **MINISTÉRIO DA SAÚDE.** Brasil.

CALAZANS. G. M. **Avaliação E Proposta De Adequação Da Rede De Monitoramento Da Qualidade Das Águas Superficiais Das Sub-Bacias Do Rio Das Velhas E Do Rio Paraopeba, Utilizando Técnicas Estatísticas Multivariadas.** Belo Horizonte.2015

CBH. **Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas**. Disponível em: <cbhvelhas.org.br>. Acesso em: 18 maio 2017. IBGE. Censo Demográfico 2000 – Características Gerais da População. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/default.php>. Acesso em 18 de maio de 2017.

COLLISCHONN, W.; TASSI, R. **Introduzindo hidrologia**. Instituto de Pesquisas Hidráulicas-UFRGS, 2008.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. **Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem**. Governo do estado de São Paulo. 2009.

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL; CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS DE MINAS GERAIS. **Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG n. 01, de 05 de maio de 2008**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento e estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e da outras providências. Belo Horizonte: COPAM, 2008.

COSTA, E. P. **Avaliação da violação de parâmetros de qualidade das águas superficiais aos limites da legislação mineira em sub-bacias hidrográficas do rio São Francisco**. 2014. 163 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2014.

CRUZ, J. C.; SILVEIRA, G. L. **Disponibilidade hídrica para outorga (I): avaliação por seção hidrológica de referência**. REGA, v. 4, n. 2, p. 51-64, 2007.

FINOTTI, A. R.; FINKLER, R.; SILVA, M. D.; CEMIM, G. **Monitoramento de Recursos Hídricos em Áreas Urbanas**. Caxias do Sul: EducS., 2009. 272p.

GIRÃO, E. G.; ANDRADE, E. M.; ROSA, M. F.; ARAÚJO, L. F. P.; MEIRELES, A. C. M. **Seleção dos indicadores da qualidade de água no Rio Jaibaras pelo emprego da análise da componente principal**. Revista Ciência Agronômica, v. 38, n. 1, p. 17-24, 2007.

IGAM (2005). **Plano diretor de recursos hídricos da bacia hidrográfica do Rio das Velhas: resumo executivo dezembro 2004**/ Luíza de Marillac Moreira Camargos (coord.). Belo Horizonte: Instituto Mineiro de Gestão das Águas, Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM. **Monitoramento da qualidade das Águas Superficiais em 2013**. (Resumo executivo). Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Belo Horizonte: IGAM, 2014.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM. **Monitoramento da Qualidade das Águas**. Disponível em: <<http://www.igam.mg.gov.br/component/content/article/3302-nova-categoria/1523-monitoramento-da-qualidade-das-aguas>>. Acesso em: 02 mai. 2017.

JOHNSON, R. A. et al. **Applied Multivariate Statistical Analysis**. New Jersey: Prentice-Hall, 2014

KANNEL, P. R. et al. **Chemometric application in classification and assessment of monitoring locations of an urban river system**. *Analytica Chimica Acta*, [s.l.], v. 582, n. 2, p.390-399, jan. 2007. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aca.2006.09.006>.

LAMPARELLI, M. C. **Grau de Trofia em Corpos d'água do Estado de São Paulo: Avaliação dos métodos de monitoramento**. 2004. 238 f. Tese (Doutorado em Ciências na Área de Ecossistemas Terrestres e Aquáticos) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

MAILLARD, P. e SANTOS, N. A. P. **A spatial-statistical approach for modeling the effect of non-point source pollution on different water quality parameters in the Velhas river watershed—Brazil**. *Journal of Environmental Management*. 86.1 (2008): 158-170.

MARQUES, M. N.; COTRIM, M. B.; PIRES, M. A. F. **Avaliação do impacto da agricultura em áreas de proteção ambiental, pertencentes à bacia hidrográfica do rio ribeira de Iguapé**. *Química Nova*, v. 30, n. 5, p. 1171-1178, 2007.

MINGOTI, S. A. **Análise Multivariada de dados através de métodos de estatística multivariada**. Belo Horizonte: UFMG, 2005.

NAGHETTINI, M. PINTO, E. J. A. **Hidrologia estatística**. CPRM, 2007.

OLIVEIRA, L. M. **Análise da Relação entre Uso do Solo e Liberação dos Nutrientes Fósforo e Nitrogênio nas Águas Superficiais do Rio das Velhas Utilizando Árvores de Decisão e Regressão Múltipla**. 2016. 176 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

PANDA, U. C.; SUNDARAY, S. K.; RATH, P.; NAYAK, B. B.; BHATTA, D. **Application of factor and cluster analysis for characterization of river and estuarine water systems – A case study: Mahanadi River (India)**. *Journal of Hydrology*, v. 331, n. 3-4, p. 434-445, 2006.

PINTO, C. C. **Importância Da Avaliação De Dados De Concentração E De Carga De Poluentes Em Bacias Hidrográficas: Exemplo Da Bacia Do Rio Verde**. 2016. 204 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

SILVEIRA, G. L.; TUCCI, C. E. M.; SILVEIRA, A. L. L. **Quantificação de vazão em pequenas bacias sem dados**. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 3, n. 3, p. 111-131, 1998a.

TRINDADE, A. L. C. et al. **Temporal and spatial trends of surface water quality of Velhas River sub-basin, Minas Gerais state**. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, n. AHEAD, p. 0-0, 2016.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia - Ciência e Aplicação**. 4 ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2009a. 943 p.

TUCCI, C. E. M. **Regionalização de vazões**. Porto Alegre: Ed. Universidade: UFRGS, 2002. 256 p.

VEGA, M.; PARDO, R.; BARRADO, E.; DEBÁN, L. **Assessment of seasonal and polluting effects on the quality of river water by exploratory data analysis**. Water Research, v. 32, n. 12, p. 3581-3592, 1998.

VICINI, L.; SOUZA, A. M. **Análise multivariada da teoria à prática**. Santa Maria: UFSM, CCNE, 2005. 215 p.: il.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Editora UFMG, 1996.

Anexos

Anexo A: Banco de dados

Anexo B: Rotina utilizada no software R

Anexo A – Banco de dados

Tabela 13 - Banco de dados das medianas considerando dados de qualidade em período completo

Estação	Código	N	P	Sol	DQO	DBO	Colif	Ar	OD	CI	Clorof
BV013	1	0,20	0,02	57,50	6,30	2,00	2200	0,00	7,40	1,06	3,52
BV037	2	0,20	0,05	81,50	7,75	2,00	13500	0,00	7,95	1,13	2,34
BV139	3	0,24	0,04	73,00	6,40	2,00	14000	0,00	7,60	1,15	2,40
BV063	4	0,30	0,07	128,50	11,00	2,00	30000	0,01	7,20	1,98	3,20
BV067	5	0,30	0,05	103,00	9,40	2,00	22000	0,01	7,20	1,87	3,56
BV083	6	0,53	0,31	179,00	28,50	7,00	160000	0,01	6,25	10,70	5,78
BV105	7	0,51	0,38	194,00	36,00	7,00	160000	0,01	3,70	14,50	11,21
BV153	8	0,53	0,37	225,50	34,50	6,70	160000	0,02	2,85	15,89	13,97
BV137	9	0,70	0,29	223,00	28,00	5,00	13000	0,03	3,60	12,50	14,74
BV156	10	1,13	0,27	265,00	22,00	4,00	1700	0,04	4,50	10,99	16,23
BV142	11	1,71	0,19	271,50	22,50	2,10	500	0,04	6,85	8,80	21,32
BV152	12	1,10	0,14	188,00	17,50	2,05	800	0,03	6,90	6,32	15,40
BV146	13	0,79	0,11	153,00	17,00	2,00	1100	0,02	7,10	4,57	13,88
BV148	14	0,98	0,08	156,00	15,00	2,00	1100	0,02	7,20	5,02	16,02
BV149	15	0,82	0,06	128,50	16,00	2,00	950	0,01	6,95	5,06	18,47

Tabela 14 - Banco de dados das medianas considerando dados de qualidade em período de chuva

Estação	Código	N	P	Sol	DQO	DBO	Colif.	Ar	OD	Cl	Clorof.
BV013	1	0,185	0,04	93,5	8	2	5000	0,003105	7,3	1,04	2,225
BV037	2	0,16	0,06	118	8,7	2	14000	0,00367	7,8	1,1	1,94246
BV139	3	0,19	0,06	119	7,9	2	13000	0,00236	7,2	1,21	1,665
BV063	4	0,26	0,07	182	13,5	2	35000	0,0116	7	1,86	2,19
BV067	5	0,27	0,07	220	10	2	24000	0,0104	7,1	1,75	1,78
BV083	6	0,475	0,26	218,5	26,5	6,2	160000	0,01	6,15	8,805	3,865291
BV105	7	0,5	0,32	254	32	5,8	160000	0,01614	4,5	10	12,95
BV153	8	0,485	0,305	260	30	6,45	160000	0,01935	3,05	11,86	13,97057
BV137	9	0,71	0,25	360	30	5,5	24000	0,0306	3,5	8,79	14,74
BV156	10	0,9	0,22	522	27	4,7	11000	0,0506	3,7	9,43	13,56
BV142	11	1,42	0,19	446	24	2	3000	0,05558	6,1	6,53	11,3475
BV152	12	0,74	0,16	318,5	22	2	2200	0,03608	6,5	4,505	6,705
BV146	13	0,585	0,125	226	22	2	1950	0,0247	6,75	3,79	6,895
BV148	14	0,67	0,11	239	20	2	1300	0,0251	6,6	3,73	6,61
BV149	15	0,56	0,075	150,5	17	2	1700	0,013829	6,3	3,97	8,28

Tabela 15 - Banco de dados das medianas considerando dados de qualidade em período de seca

Estação	Código	N	P	Sol	DQO	DBO	Colif	Ar	OD	Cl	Clorof
BV013	1	0,21	0,02	44,5	5	2	325	0,0003	7,5	1,08	3,83
BV037	2	0,24	0,04	56	7,6	2	13000	0,0003	8,3	1,15	2,67
BV139	3	0,28	0,03	52	6,1	2	17000	0,0003	7,9	1,11	2,67
BV063	4	0,35	0,07	89	9,7	2,1	17000	0,012	7,6	2,07	4,51
BV067	5	0,335	0,05	79,5	7,85	2	15000	0,007175	7,7	1,915	5,175
BV083	6	0,62	0,425	140,5	35	8,75	160000	0,00594	6,45	11,6	7,72
BV105	7	0,515	0,55	170,5	42	9,65	160000	0,0129	2,85	16,2	9,53
BV153	8	0,585	0,515	189	39,5	6,7	160000	0,01395	2,05	19,3	13,995
BV137	9	0,595	0,5	188	27,5	4,35	13000	0,02625	3,65	17,3	15,52
BV156	10	1,25	0,29	192	19	3,9	300	0,0301	4,6	13,7	22,36
BV142	11	3,16	0,18	186	19	2,4	140	0,0319	7,6	11,6	63,19
BV152	12	1,86	0,13	135,5	13	2,55	225	0,0253	8,45	8,535	150,8747
BV146	13	1,53	0,09	124	15	2	230	0,0196	8,3	7,21	74,43
BV148	14	1,32	0,07	129	14	2,4	800	0,0158	8,4	7,62	159,06
BV149	15	1,13	0,06	115,5	15,5	2	400	0,01435	9,15	7,15	231,22

Tabela 16 - Banco de dados das medianas considerando dados de carga em período completo

Estação	Código	N	P	Sol	DQO	DBO	Colif	Ar	OD	Cl	Clorof
BV013	1	69,21	7,67	17341,34	2509,92	613,44	6,96E+12	0,23	2326,41	353,76	1,05
BV037	2	467,56	97,23	158310,4	16446,17	4011,01	2,94E+14	0,68	15958,34	2346,3	4,75
BV139	3	581,07	74,89	144198,5	13475,19	4015,28	3,82E+14	0,76	15975,43	2231,32	4,65
BV063	4	699,26	135,84	238527,4	21187,08	4884,59	6,20E+14	23,69	14894,43	4303,87	6,92
BV067	5	754,56	121,94	241489,1	17974,01	4330,97	4,89E+14	17,14	15395,75	3906,66	6,52
BV083	6	1182	739,09	345030,3	59323,48	17766,58	2,79E+15	13,06	12646,41	21745,24	11,15
BV105	7	2268,33	1660,7	626885	136276,1	28151,52	4,24E+15	51,6	13380,01	53377,54	41,8
BV153	8	2187,31	1553,48	839444,2	123922,6	27966,64	3,93E+15	52,67	9534,57	60901	49,32
BV137	9	4641,34	1432,34	944095,7	112658,7	22819,62	6,15E+14	122,72	15676,85	58720,8	65,49
BV156	10	7095,56	1417,83	1673840	126027,3	23669,2	9,94E+13	199,85	24227,83	69241,55	115,76
BV142	11	15814,61	1126,22	1962304	138472,2	18326,71	5,18E+13	221,36	47933,27	66640,1	169,81
BV152	12	13554,16	994,46	1722100	196431,3	27674,15	1,14E+14	238,78	81016,24	71507,2	196,61
BV146	13	12307,15	932,66	1540134	162092,1	23327,29	1,03E+14	176,94	78343,76	56152,27	168,98
BV148	14	15558,02	948,1	2214309	203882,8	40827,73	1,76E+14	254,6	123490,6	86127,43	279,57
BV149	15	12863,59	773,68	1725137	195636,3	40828,25	2,03E+14	219,59	126042,7	83133,72	331,6

Tabela 17 - Banco de dados das medianas considerando dados de carga em período de chuva

Estação	Código	N	P	Sol	DQO	DBO	Colif	Ar	OD	Cl	Clorof
BV013	1	112,67	13,96	45219,17	3240,00	940,03	2,86E+13	0,83	3409,69	456,40	0,95
BV037	2	462,85	147,05	283238,80	23810,13	5290,74	4,27E+14	9,71	20293,79	2939,80	4,67
BV139	3	649,89	129,29	288121,44	27838,73	5315,60	5,23E+14	6,56	16909,84	3186,33	4,82
BV063	4	752,93	161,96	469961,40	30956,50	6312,42	9,29E+14	27,73	17459,44	5164,15	4,75
BV067	5	934,65	180,06	507344,69	28398,93	5270,18	8,64E+14	22,81	17696,71	4295,19	4,82
BV083	6	1693,77	693,61	542274,48	64280,03	18291,98	3,03E+15	23,55	14965,10	25194,71	9,86
BV105	7	3227,80	1617,98	1414446,84	144807,27	28129,19	4,24E+15	74,97	25905,02	55293,94	52,10
BV153	8	2584,83	1527,57	1257771,98	134790,71	33463,07	4,12E+15	97,07	12397,09	60755,18	76,78
BV137	9	5796,32	1257,83	2104609,15	186566,77	36354,73	1,16E+15	196,82	20483,40	58720,80	77,60
BV156	10	8836,97	1694,76	4269263,70	320615,15	44830,64	5,27E+14	381,11	24948,01	75608,54	161,67
BV142	11	14615,32	1891,25	5498455,38	311718,83	29195,38	4,20E+14	789,90	67389,13	75224,34	142,43
BV152	12	12513,79	2828,26	6321616,08	345870,93	40070,14	4,59E+14	719,40	112729,68	75121,86	148,10
BV146	13	12108,96	2212,28	4248503,82	319550,41	36777,87	4,15E+14	462,73	116808,11	72372,95	150,14
BV148	14	17083,90	2675,64	6666775,30	484769,13	55503,03	3,42E+14	574,51	176648,33	104385,61	157,63
BV149	15	15866,47	1606,45	4668704,60	486386,56	55832,76	4,57E+14	361,77	169916,71	96793,43	241,78

Tabela 18 - Banco de dados das medianas considerando dados de carga em período de seca

Estação	Código	N	P	Sol	DQO	DBO	Colif	Ar	OD	Cl	Clorof
BV013	1	57,82	5,20	12342,24	1689,12	520,13	9,40E+11	0,10	2097,27	300,22	1,10
BV037	2	472,26	79,95	94086,14	14452,12	3598,68	2,81E+14	0,54	14893,98	2242,24	4,82
BV139	3	570,75	52,26	88295,02	11022,83	3502,36	2,96E+14	0,54	13641,71	2029,67	4,36
BV063	4	679,40	124,28	151633,87	17958,31	4151,65	3,57E+14	21,19	13898,01	3717,45	8,08
BV067	5	651,83	96,23	132238,28	13210,25	3864,26	2,96E+14	12,90	14038,28	3438,11	7,59
BV083	6	1053,99	778,87	250008,10	57018,27	16521,90	2,70E+15	10,36	11465,80	21263,75	12,83
BV105	7	1553,89	1911,59	561744,19	132825,55	31367,47	4,19E+15	40,43	9079,57	52692,02	31,53
BV153	8	2115,07	1773,37	588290,04	122298,62	27073,59	3,91E+15	47,52	6640,71	61493,40	43,51
BV137	9	2214,91	1669,39	679584,56	91012,73	15200,75	3,44E+14	91,07	12590,71	59112,29	62,67
BV156	10	5302,42	1385,96	902484,42	80469,87	19011,34	1,55E+13	129,69	22093,40	63334,43	100,99
BV142	11	16878,04	918,87	920174,67	109089,19	14545,23	8,58E+12	157,54	43312,04	61953,73	387,14
BV152	12	13624,00	864,23	954792,75	90148,60	19195,21	1,47E+13	173,07	65328,49	65359,16	1023,30
BV146	13	13179,67	678,58	922068,10	113601,49	17690,83	1,79E+13	139,90	65177,14	52069,42	694,18
BV148	14	13964,35	734,79	1261036,61	127812,35	27886,33	8,40E+13	155,96	91792,51	68067,24	1569,51
BV149	15	12230,03	578,25	1091334,92	136507,18	26066,81	6,68E+13	154,42	92487,63	67137,27	1869,17

Anexo B: Rotina do software R

```

#Análise de Cluster com 15 estações e 10 variáveis

rm(list=ls(all=TRUE)) # limpa a workspace Importante se houver arquivos

library(vegan) # carrega o pacote fBasics

# Cálculo dos Clusters de Concentração

#Escolher arquivo

Med <- read.csv (file.name <- choose.files(),na.strings="NA",header=T,sep=" ",as.is=TRUE)
#Abre o arquivo

kmeans(Med [3:12],6) #calcula a media dos clusters e da outras informações

Med # Mostra arquivo excel na tela

Med1<-decostand (Med [,3:12],"standardize",MARGIN=2) #Padroniza os dados Pela Media e
Desvio Padrão, Usando Colunas

Med1

spp.dist<-vegdist(Med1[,2:10],"euclidean")# Distância Euclidiana

spp.dist

plot(spp.dist, col="blue")

cluster1<- hclust(spp.dist,"complete") # Definição de Similaridade Met. Complete Compara os
dois mais distantes

plot(cluster1, xlab="Código da Estação", ylab="Distância Euclidiana")

rect.hclust(cluster1, 4)

cluster2<- hclust(spp.dist,"average") # Definição de Similaridade Met. average - Compara
média entre todos eles

plot(cluster2, xlab="Código da Estação", ylab="Distância Euclidiana")

rect.hclust(cluster2, 4)

cluster3<- hclust(spp.dist,"single") # Definição de Similaridade Met. single - Compara os dois
mais próximos

plot(cluster3, xlab="Código da Estação", ylab="Distância Euclidiana")

rect.hclust(cluster3, 4)

#rm(list=ls(all=TRUE)) # limpa a workspace

```

```
# Cálculo dos Clusters de Carga

#Escolher arquivo

Med2 <- read.csv (file.name <- choose.files(),na.strings="NA",header=T,sep="",as.is=TRUE)
#Abre o arquivo

Med2 # Mostra arquivo excel na tela

Med3<-decostand(Med2 [,3:12],"standardize",MARGIN=2)# ideam acima

Med3

spp.dist1<-vegdist(Med3[,2:10],"euclidean")# Distância Euclidiana

cluster4<- hclust(spp.dist1,"complete") # Definição de Similaridade Met. Complete Compara
os dois mais distantes

plot(cluster4, xlab="Código da Estação", ylab="Distância Euclidiana")

rect.hclust(cluster4, 4)

cluster5<- hclust(spp.dist1,"average") # Definição de Similaridade Met. average - Compara
média entre todos eles

plot(cluster5, xlab="Código da Estação", ylab="Distância Euclidiana")

rect.hclust(cluster5, 4)

cluster6<- hclust(spp.dist1,"single") # Definição de Similaridade Met. single - Compara os dois
mais próximos

plot(cluster6, xlab="Código da Estação", ylab="Distância Euclidiana")

rect.hclust(cluster6, 4)

#FIM#
```