



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

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA NA BACIA DO  
ALTO RIO DAS VELHAS ATRAVÉS DO USO DE CURVAS  
DE PERMANÊNCIA**

**MARINA SANTOS MATTIOLI MENECHINI**

**Belo Horizonte**

**2015**

**MARINA SANTOS MATTIOLI MENEZHINI**

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA NA BACIA DO  
ALTO RIO DAS VELHAS ATRAVÉS DO USO DE CURVAS  
DE PERMANÊNCIA**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Centro Federal de  
Educação Tecnológica de Minas Gerais –  
Campus I como requisito parcial para a  
obtenção do título de Engenheira  
Ambiental e Sanitarista.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. MsC. Lília Maria de Oliveira.

**Belo Horizonte**

**2015**

## FICHA CATALOGRÁFICA

Meneghini, Marina Santos Mattioli

Avaliação da qualidade da água na Bacia do Alto Rio das Velhas através do uso de curvas de permanência / Marina Santos MattioliMeneghini. – 2015.

67 p.

Orientadora: Lília Maria de Oliveira.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Engenharia Ambiental e Sanitária, 2015.

1. Qualidade da água. 2. Curva de Permanência. 3. Poluição. 4. Enquadramento dos corpos hídricos. I. Oliveira, Lília Maria de II. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. III. Título.



## **AGRADECIMENTOS**

Meus agradecimentos à minha orientadora Prof<sup>ª</sup>. MsC. Lília Maria de Oliveira pela confiança, ensinamentos transmitidos e por me aconselhar e acompanhar, sempre com dedicação, ao longo deste estudo.

Meus agradecimentos ao Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) pela concessão de dados do monitoramento de qualidade de águas da Bacia do Rio das Velhas; à Agência Nacional de Águas (ANA) e à Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), pela concessão de dados do monitoramento de vazão.

Agradeço à minha família pelo apoio e compreensão durante essa etapa da minha vida.

Aos meus amigos da Engenharia Ambiental e Sanitária do CEFET-MG, agradeço aos momentos juntos, conselhos e amizade construída durante a graduação.

Por fim, agradeço a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

## RESUMO

MENEGHINI, Marina Santos Mattioli. Avaliação da qualidade da água na Bacia do Alto Rio das Velhas através do uso de curvas de permanência. 2015. 67f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

O monitoramento da qualidade das águas é uma ferramenta fundamental para gerar uma base consistente de informações para avaliar a situação atual, definir cenários futuros e estabelecer medidas para controle do consumo e degradação dos recursos hídricos. É importante que seja realizado integrando qualidade e quantidade das águas, proporcionando uma análise completa do curso d'água, de acordo com os períodos de seca e excesso hídrico. A análise de curvas de permanência de vazão, associada a dados de qualidade das águas, é uma importante ferramenta para avaliar a qualidade das águas de rios. No presente trabalho, a qualidade das águas na bacia do rio das Velhas (Alto Velhas) foi avaliada através da aplicação do conceito de curva de permanência aos dados de monitoramento de Nitrato, Nitrogênio Amoniacal e Fósforo Total, de modo a identificar o tipo de fonte poluidora (pontual ou difusa), bem como analisar o atendimento dos parâmetros ao enquadramento dos cursos d'água da bacia de acordo com Resolução CONAMA 357/2005 e a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH 01/2008. Foram construídas curvas de permanência para quatro estações fluviométricas, localizadas na parte Alta da bacia do rio das Velhas. Em conjunto com a curva de permanência de cada estação, foram plotadas informações de parâmetros de qualidade das águas de quatro estações de monitoramento, obtidas junto ao IGAM, no período de abril de 2003 a março de 2013. Foi traçado também a curva da permanência para os parâmetros Nitrato, Nitrogênio Amoniacal e Fósforo Total para avaliar em qual percentual de tempo, ao longo da série histórica, a classe de enquadramento não foi atendida. Como resultado, verificou-se que a metodologia utilizada foi adequada para avaliação inicial do tipo de fonte poluidora (pontual ou difusa), e também para verificar o percentual de tempo de atendimento dos parâmetros ao enquadramento do corpo hídrico.

**Palavras-chave:** Curva de Permanência. Qualidade da água. Poluição. Enquadramento dos corpos hídricos.

## **ABSTRACT**

MENEGHINI, Marina Santos Mattioli. Water quality assessment in upper watershed Velhas River through the usage of permanence curves. 2015. 67f. Monograph (Graduate) - Department of Environmental Science and Technology, Federal Center of Technological Education of Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

Monitoring water quality is a fundamental tool to create a consistent database to evaluate the current situation, define future scenarios and establish control measures to water sources consume and degradation. It is important to be executed integrating water quality and quantity providing a full analysis of the watercourse, according to periods of drought and water excess. The analysis of permanence curves associated to data and water quality is an important tool to assess the river water quality. The water quality in the Velhas river watershed (Upper Velhas) was assessed by applying the concept of permanence curve of monitoring Nitrate, Ammonium Nitrogen and Total Phosphorus data in order to identify the type of pollution source (punctual or diffuse) and analyze the attendance of the watercourses classification parameters of the watershed according to CONAMA 357/2005 Resolution and COPAM/CERH 01/2008 Joint Normative Resolution. Thus were built permanence curves for four fluviometric stations located in the upper part of Velhas River watershed. Combined to each permanence curve of each station, water quality information of the four monitoring stations was plotted, obtained from IGAM, during the period between April 2003 and March 2013. It was also traced the permanence curve for Nitrate, Ammonium Nitrogen and Total Phosphorus parameters to access the percentage of time which the framework is not met over the time series. As a result, it turns out that the methodology used is adequate for initial assessment of the pollution type and to check the time percentage of attendance to the waterbodies framework parameters.

Keywords: Water Quality. Permanence curve. Pollution. Water bodies classification.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	9
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	11
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	12
<b>3.1 Aspectos conceituais do enquadramento dos corpos de água</b> .....	12
3.1.1 Enquadramento das águas no Alto Rio das Velhas .....	17
<b>3.2 A curva de permanência da qualidade da água</b> .....	19
<b>3.3 Poluição na bacia do Rio das Velhas</b> .....	23
3.3.1 Parâmetros indicadores de poluição Difusa e Pontual .....	25
<b>4 METODOLOGIA</b> .....	27
<b>4.1 Caracterização da área de estudo</b> .....	27
<b>4.2 Curva de Permanência</b> .....	36
<b>4.3 Curva de Permanência da Qualidade das Águas Superficiais</b> .....	37
<b>4.4 Curva de Permanência de Vazões Associada a Concentração dos Parâmetros de Qualidade</b> .....	38
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	40
<b>5.1 Estação AV020</b> .....	40
<b>5.2 Estação BV013</b> .....	46
<b>5.3 Estação BV035</b> .....	50
<b>5.4 Estação BV037</b> .....	56
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES</b> .....	62
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	64

## 1 INTRODUÇÃO

A criação da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, através da Lei 9433/97, foi um grande marco para a gestão de recursos hídricos no Brasil.

A lei introduziu conceitos importantes para a gestão de recursos hídricos sem a dissociação dos aspectos de qualidade e quantidade, integração da gestão ambiental com a gestão de recursos hídricos e articulação da gestão de recursos hídricos com a do uso do solo. Os instrumentos previstos na PNRH como a outorga, o enquadramento das águas e a cobrança pelos usos visam atender o objetivo principal que é garantir água em qualidade e quantidade para atendimento aos diversos usos da água, com vista ao desenvolvimento sustentável.

O planejamento com vistas ao uso racional, ou seja, redução do consumo e da poluição das águas, é fundamental para atender os objetivos da PNRH. Desta forma, o monitoramento da qualidade das águas torna-se ferramenta essencial na geração de uma base consistente de informações para avaliar a situação atual, definir cenários futuros e estabelecer medidas para controle do consumo e degradação dos recursos hídricos.

A qualidade da água está diretamente associada à vazão e velocidade do fluxo, variáveis que apresentam relação direta com os processos de diluição e difusão de poluentes. Em função disso, é importante que o monitoramento e o tratamento dos dados sejam realizados integrando qualidade e quantidade das águas, proporcionando uma análise completa do curso de água, de acordo com os períodos de seca e excesso hídrico.

Os poluentes em uma bacia podem ter origem em fontes pontuais ou difusas. Fontes de poluição difusa são definidas como sendo aquelas originadas em fontes poluidoras dispersas na bacia, atingindo os corpos de água de maneira distribuída, ou seja, ao longo de toda a sua extensão, um exemplo é a atividade de agricultura. Diferente das fontes pontuais que possuem um único ponto de descarga nos cursos de água, como por exemplo, o esgoto sanitário e fontes de efluentes industriais, as fontes difusas podem atingir grandes áreas, em função do seu transporte pela água de chuva, levando poluentes para rios, lagos, reservatórios e oceanos.

No caso da presença de fontes pontuais de poluição na bacia há uma tendência de a qualidade das águas ser melhor para vazões em níveis máximos, haja vista a diluição e dispersão dos poluentes. Já para fontes difusas de poluição o inverso pode ocorrer, uma vez que elas dependem da existência de escoamento superficial para se movimentarem, o que ocorre em maior proporção no período de chuvas, carreando mais poluentes do solo da bacia para o curso d'água.

Dessa forma, existe a necessidade de que a gestão de recursos hídricos considere a quantidade hídrica para se avaliar a qualidade do corpo hídrico. A legislação brasileira através da PNRH e da Resolução CONAMA 357/05 apresenta uma resposta para esta problemática ao introduzir e regulamentar o enquadramento das águas em classes segundo os usos preponderantes, através do estabelecimento de limites para os parâmetros de qualidade hídrica, tendo como base uma vazão de referência, os quais devem ser alcançados, mantidos e até mesmo reduzidos.

O presente trabalho de monografia pretende avaliar a qualidade da água onde estão situadas 4 (quatro) estações localizadas na parte alta da Bacia do rio das Velhas, considerando os aspectos de quantidade e qualidade. Para tanto será utilizado o conceito de curva de permanência de qualidade associada às frequências de vazões, permitindo a análise conjunta da quantidade e qualidade da água.

## 2 OBJETIVOS

- Avaliar o atendimento dos parâmetros Nitrato, Nitrogênio Amoniacoal e Fósforo Total à classe de enquadramento dos cursos de água da sub-bacia do Alto do Rio das Velhas, nas estações de monitoramento AV020, BV013, BV035 e BV037, de acordo com a Resolução CONAMA 357/2005 e a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH 01/2008.
- Analisar o comportamento e a aplicabilidade das curvas de permanências de qualidade da água associadas à frequência de vazão, de modo a identificar o tipo de fonte poluidora (pontual ou difusa).

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Aspectos conceituais do enquadramento dos corpos de água

O enquadramento é o estabelecimento do nível de qualidade (classe) a ser alcançado ou mantido em um segmento de corpo d'água ao longo do tempo e desempenha uma função fundamental na integração entre os aspectos de quantidade e qualidade da água.

A partir do instrumento enquadramento é possível abordar a qualidade de determinado corpo hídrico não somente considerando sua qualidade atual, mas também os níveis de qualidade que um corpo de água deve possuir para atender as demandas atuais e futuras potenciais (PESSÔA, 2013).

O enquadramento dos corpos de água é um instrumento previsto na Lei Federal 9433/97 e sua regulamentação se dá através da Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005 e da Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, de 05 de maio de 2008 em Minas Gerais, que dispõem sobre a classificação dos corpos de água e dá as diretrizes ambientais para o seu enquadramento, definindo padrões de qualidade a serem atendidos pelas águas superficiais.

Conforme o Art. 9º da PNRH (BRASIL, 1997), os objetivos desse instrumento são *“assegurar às águas qualidade compatível com os usos mais exigentes a que forem destinadas”*, ou seja, fornecer água na quantidade e na qualidade necessária, e *“diminuir os custos de combate à poluição das águas, mediante ações preventivas permanentes”*, de forma a permitir uma melhor adequação de custos de controle da poluição, já que possibilita que os níveis de controle de poluentes exigidos estejam de acordo com os usos que se pretende dar ao corpo d'água nos seus diferentes trechos.

O Conselho Nacional de Meio Ambiente, por meio da Resolução CONAMA nº 357/05 (BRASIL, 2005), estabeleceu condições de qualidade para o enquadramento dos corpos hídricos em território nacional, de acordo com os seus usos preponderantes, e para o lançamento de efluentes. Essa resolução, como instrumento jurídico, fixou limites superiores ou inferiores para diversas variáveis em sistemas de água doce, salobra e salina, com base em uma vazão de referência (CUNHA et al., 2013).

O **Quadro 1** e a **Tabela 1** definem as classes e alguns parâmetros para a água doce estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/05, respectivamente. Os dados apresentados são idênticos aos definidos pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 01/2008 para Minas Gerais.

**Quadro 1: Classes de enquadramento e seus usos preponderantes para a água doce**

<b>CLASSE ESPECIAL</b>
a) ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção; b) à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; c) à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.
<b>CLASSE 1</b>
a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado; b) à proteção das comunidades aquáticas; c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000; d) à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; e) à proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.
<b>CLASSE 2</b>
a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; b) à proteção das comunidades aquáticas; c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000; d) à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e) à aqüicultura e à atividade de pesca.
<b>CLASSE 3</b>
a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado; b) à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; c) à pesca amadora; d) à recreação de contato secundário; e) à dessedentação de animais
<b>CLASSE 4</b>
a) à navegação; b) à harmonia paisagística.

Fonte: Adaptado de Andrade (2011).

**Tabela 1: Padrões para os parâmetros ambientais de qualidade de água doce, segundo as classes de enquadramento**

Parâmetros	Unidade	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
Oxigênio Dissolvido	mg/L O <sub>2</sub>	≥ 6,0	≥ 5,0	≥ 4,0	> 2,0
Coliformes Termotolerantes	nmp/100 ml	200	1000	4000	-
pH	-	Entre 6 e 9	Entre 6 e 9	Entre 6 e 9	Entre 6 e 9
DBO <sub>5</sub> 20	mg/L O <sub>2</sub>	≤ 3,0	≤ 5,0	≤ 10,0	-
Turbidez	UNT	≤ 40	≤ 100	≤ 100	-
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	500	500	500	-
Alumínio dissolvido	mg/L Al	0,1	0,1	0,2	-
Arsênio	mg/L As	0,01	0,01	0,033	-
Chumbo	mg/L Pb	0,01	0,01	0,033	-
Ferro Dissolvido	mg/L Fe	0,3	0,3	5,0	-
Fósforo Total	mg/L P	Lêntico: 0,020	Lêntico: 0,030	Lêntico: 0,05	-
		Interm.: 0,025	Interm.: 0,050	Interm.: 0,075	
		Lótico: 0,1	Lótico: 0,1	Lótico: 0,15	
Mercúrio	mg/L Hg	0,0002	0,0002	0,002	-
Níquel	mg/L Ni	0,025	0,025	0,025	-
Nitrato	mg/L N	10,0	10,0	10,0	-
Nitrogênio Amoniacal	mg/L N	3,7 (pH ≤ 7,5)	Idem Classe 1	13,3 (pH ≤ 7,5)	-
		2,0 (7,5 < pH ≤ 8,0)		5,6 (7,5 < pH ≤ 8,0)	
		1,0 (8,0 < pH ≤ 8,5)		2,2 (8,0 < pH ≤ 8,5)	
		0,5 (pH > 8,5)		1,0 (pH > 8,5)	
Zinco	mg/L Zn	0,18	0,18	5,0	-

Na Classe Especial deverão ser mantidas as condições naturais do corpo de água.

Fonte: Adaptado de Andrade (2011).

Para que se atinjam os objetivos do enquadramento devem ser adotadas ações estratégicas, em conjunto, de forma progressiva e obrigatória, que tenham como efeito a prevenção da poluição e a redução da carga poluidora afluyente ao rio.

De acordo com Medeiros et al. (2009 *apud* PESSÔA, 2013) a quantidade de carga a ser reduzida varia conforme a fonte poluidora. Ela pode ser determinada pela diferença entre a carga poluidora futura, calculada com base nos lançamentos de efluentes e na carga difusa gerada pelas atividades antrópicas previstas para a bacia (prognóstico) e a carga máxima que pode ser recebida pelos corpos hídricos da bacia (capacidade suporte), ou seja, a autodepuração dos corpos d'água.

Se a diferença entre o prognóstico e a capacidade suporte for positiva, então haverá necessidade de redução da carga poluidora, por meio do planejamento do enquadramento dos corpos de água. Por outro lado, se a diferença for negativa, não existe na lei a obrigatoriedade de medidas de redução. Conforme exposto por Pizella e Souza (2007), embora o enquadramento seja reconhecido na Resolução CONAMA nº 357/05 como um “*sistema de planejamento que requer metas progressivas intermediárias e finais*”, não há explicitada a obrigatoriedade de constante melhoria da qualidade hídrica, uma vez que há possibilidade de enquadramento final em classes com determinado grau de degradação.

Segundo o Art. 10 da Resolução CONAMA nº 357/2005, o enquadramento deve obedecer a condição de vazão de referência para valores máximos das concentrações dos parâmetros de qualidade da água em cada uma das classes, a fim de garantir que a qualidade da água seja compatível com os padrões exigidos para o atendimento do uso preponderante da água, mesmo em situações mais críticas de vazão (BRASIL, 2005).

Além disso, segundo o mesmo Art. 10, § 2º, da CONAMA nº 357/05:

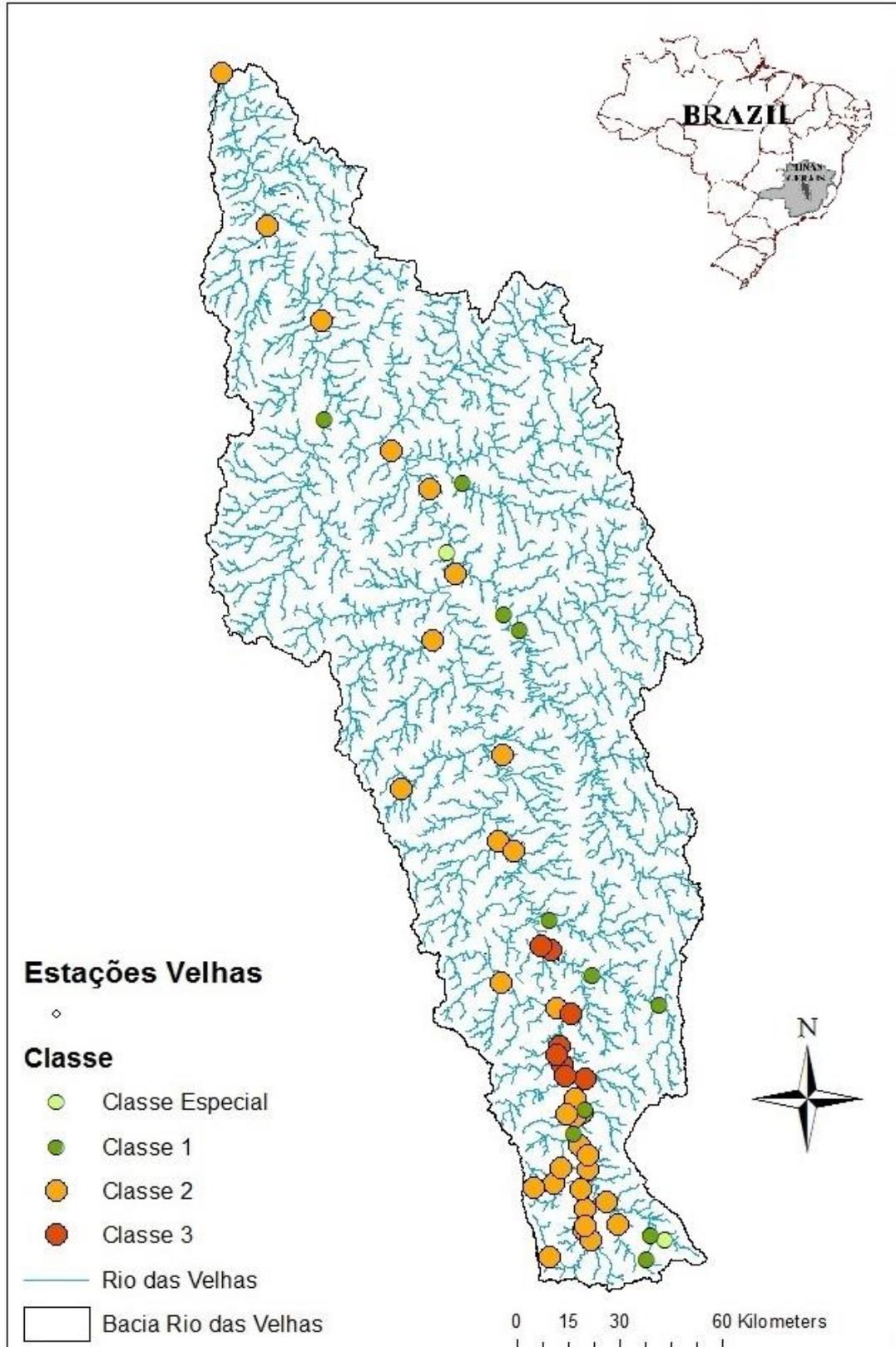
Os valores máximos admissíveis dos parâmetros relativos às formas químicas de nitrogênio e fósforo, nas condições de vazão de referência, poderão ser alterados em decorrência de condições naturais, ou quando estudos ambientais específicos, que considerem também a poluição difusa, comprovem que esses novos limites não acarretarão prejuízos para os usos previstos no enquadramento do corpo de água (BRASIL, 2005).

### 3.1.1 Enquadramento das águas no Alto Rio das Velhas

Em 1993, o Conselho Estadual de Política Ambiental – COPAM priorizou, no Estado de Minas Gerais, o enquadramento das águas das bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Paraopeba, Paraibuna, Velhas, Pará, Verde e Gortuba. No período de dezembro de 1995 a junho de 1997, atendendo solicitação do COPAM e visando, sobretudo, à melhoria da qualidade das águas e à compatibilização dos seus usos múltiplos, a Fundação Estadual de Meio Ambiente - FEAM efetuou o enquadramento das águas da bacia hidrográfica do rio das Velhas.

Em 1997, após discussões no COPAM e com a comunidade da bacia, ocorridas por meio de audiências públicas, a proposta de enquadramento foi consolidada na Deliberação Normativa de nº 20, de 24 de junho de 1997 (MINAS GERAIS, 1997). Tal deliberação constitui um instrumento normativo importante para a definição de medidas preventivas e de controle ambiental na bacia (IGAM, 2005).

O arcabouço legal utilizado para classificação dos corpos de água do rio das Velhas foi a Deliberação Normativa COPAM nº 10/86 (MINAS GERAIS, 1987), que ordena e classifica a qualidade das águas em cinco classes de usos, sendo a de melhor qualidade a especial e as subsequentes, variando da classe um a quatro. A **Figura 1** apresenta o mapa ilustrativo da Bacia do Rio das Velhas com a classificação dos corpos d'água, segundo seu enquadramento.



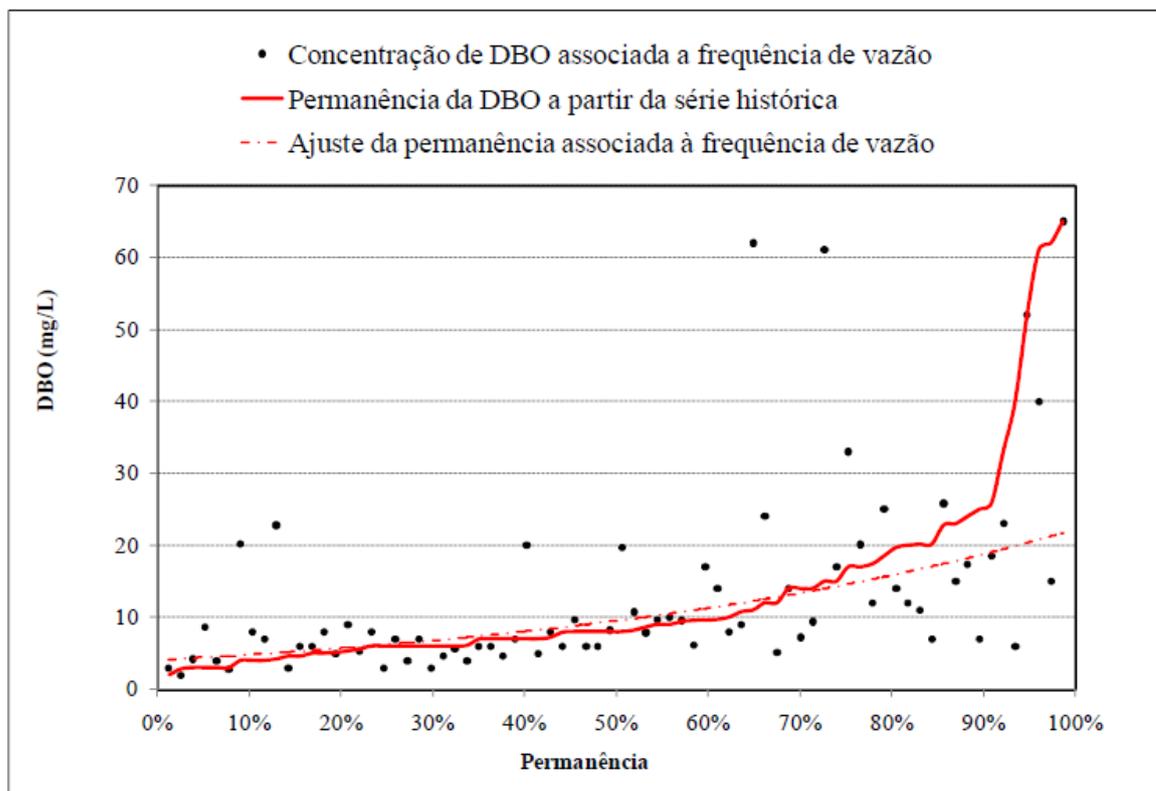
**Figura 1: Enquadramento dos corpos d'água da Bacia do Rio das Velhas**

Fonte: Elaborado pela autora

### 3.2 A curva de permanência da qualidade da água

Para que o enquadramento das águas possa atender aos objetivos da PNRH, são necessárias ferramentas que avaliem o comportamento e atendimento aos parâmetros de qualidade das águas e as metas definidas. Para isto, vários métodos são utilizados, desde modelos matemáticos, associados ou não a sistemas de informações geográficas, a técnicas mais simples, como o uso da curva de permanência de qualidade.

Segundo Formigoni et al. (2011), a curva de permanência da qualidade da água permite analisar o comportamento de determinada variável indicativa da qualidade ao longo do tempo, podendo ser estabelecida com base em valores diários, semanais e mensais, trazendo uma nova perspectiva ao processo de gerenciamento dos recursos hídricos, a partir da avaliação do percentual de tempo do atendimento da qualidade do rio, prevista pela legislação. Na **Figura 2** é apresentada a curva de permanência do parâmetro DBO elaborada no estudo de Formigoni et al. (2011).



**Figura 2: Ilustração da curva de permanência do parâmetro DBO**

Fonte: Formigoni et al. (2011)

A qualidade da água de um curso de água sofre influência de fatores externos (chuva, atividades desenvolvidas na bacia, etc.) e o entendimento desta dinâmica pode ocorrer através da análise dos dados de monitoramento, auxiliada pelo uso de curvas de permanência de qualidade associadas à vazão. Com base nestes dados e com outras informações sobre a bacia, pode-se ter ideia de como a qualidade da água responde a diferentes vazões e programar ações de controle e despoluição (FORMIGONI et al., 2011).

A análise da permanência da vazão no tempo é uma abordagem bastante consolidada na área de recursos hídricos. Por outro lado, o uso desta mesma abordagem para parâmetros de qualidade é mais recente. A aplicação da permanência de parâmetros de qualidade de águas superficiais pode ser encontrada em Brites (2010), Cunha et. al. (2012) e Formigoni et al. (2011).

Diversos estudos bibliográficos buscaram analisar o comportamento da qualidade das águas e associá-lo às fontes poluidoras. Santos (2005) e Maillard e Santos (2008) utilizaram um modelo estatístico de regressão linear múltipla na avaliação dos efeitos do uso e ocupação do solo na qualidade das águas na Bacia do Rio das Velhas.

Os resultados permitiram avançar de forma promissora na compreensão dessa relação, principalmente no que diz respeito aos parâmetros pH, nitrato, nitrito, turbidez, fósforo e coliformes fecais. Para o nitrito e nitrato, os usos do solo urbano e agropastoril atuaram como fonte de poluição para as águas do rio das Velhas, e a presença de floresta e vegetação ripária funcionou como filtro de poluição. Em relação ao fósforo, os resultados mostraram que todos os usos da terra, exceto o agropastoril, contribuíram positivamente para o aumento na concentração de fósforo, sendo solo improdutivo e plantação de eucalipto os de contribuição mais expressiva (MAILLARD E SANTOS, 2008).

Zeilhofer et al. (2006) utilizaram modelos hidrológicos e técnicas de geoprocessamento para quantificar aportes de poluição difusa na bacia hidrográfica do Rio Manso, localizado à montante do Pantanal Mato-Grossense. A distribuição espacial dos poluentes nitrogênio total e fósforo total foi obtida em função do uso e ocupação do solo nessa bacia.

Os resultados mostraram que alterações na qualidade das águas ocorreram principalmente em função da intensidade de uso do solo e a utilização de recursos de água dos afluentes. Mais especificamente, o principal problema de poluição na bacia hidrográfica a jusante da aglomeração urbana de Cuiabá é de origem em fontes pontuais. Por outro lado, a presença de cultura intensiva de soja e algodão elevou a média das concentrações de nitrogênio total na bacia hidrográfica do Casca, a mais afetada da área de estudo por apresentar um impacto crescente de poluição difusa.

Brites (2010) definiu uma metodologia para a formulação da curva de permanência da qualidade de água com o objetivo de analisar o atendimento ou não das metas do enquadramento de corpos hídricos em classe de uso. A utilização da curva de permanência da qualidade da água foi baseada na possibilidade de associar valores de vazão a valores de concentração dos parâmetros de qualidade da água, e, desta forma, relacionar estas concentrações a uma probabilidade de ocorrência.

A partir das respostas do método proposto, tornou-se possível analisar o comportamento da qualidade da água do Rio Iguaçu quanto ao atendimento às classes do enquadramento para a situação de aporte de cargas considerada. Em função do baixo atendimento às classes de enquadramento propostas para o Rio, foram estabelecidas metas progressivas visando o aumento do atendimento às classes, assim como os investimentos necessários para atingir a meta desejada.

Nos estudos desenvolvidos por Maillard e Santos (2008) e Zeilhofer et al. (2006) verifica-se a preocupação com a presença de nutrientes no curso de água, tais como: Nitrato, Nitrogênio Amoniacal e Fósforo Total.

O **nitrogênio**, elemento indispensável para o crescimento das algas, tem sua origem natural em constituintes de proteínas, clorofilas e em vários outros componentes biológicos. Nas ações antrópicas, é disponibilizado no meio ambiente através dos despejos doméstico e industrial, excrementos de animais e fertilizantes. O nitrogênio manifesta-se no ambiente de diversas formas, quais sejam (VON SPERLING, 2014):

- Nitrogênio molecular ( $N_2$ ), livre na atmosfera;

- Nitrogênio orgânico (dissolvido e em suspensão no corpo d'água);
- Amônia (livre –  $\text{NH}_3$  e ionizada –  $\text{NH}_4^+$ );
- Nitrito ( $\text{NO}_2$ );
- Nitrato ( $\text{NO}_3$ ).

Em concentração elevada, a presença deste nutriente pode levar à eutrofização de lagos e represas e ao crescimento exagerado de algas, modificando substancialmente as características físicas, químicas e biológicas do corpo d'água.

Em um corpo hídrico, a determinação da forma predominante do nitrogênio pode fornecer informações sobre o estágio da poluição, em se tratando de lançamento de esgoto. O nível de poluição mais recente é associado ao nitrogênio na forma orgânica ou de amônia, enquanto um nível de poluição mais remoto é associado ao nitrogênio na forma de **nitrato** (VON SPERLING, 2014).

O nitrogênio sob forma de amônia, se transforma com o tempo, dependendo das condições física e química do meio aquático, em nitrito e, posteriormente, em nitrato, por meio do processo de nitrificação. Isso implica no consumo de oxigênio do meio, o que pode afetar a vida aquática.

O nitrato em altas concentrações nas fontes utilizadas para abastecimento humano pode trazer graves problemas de intoxicação tanto no ser humano como nos animais.

As concentrações de nitrogênio na forma de amônia livre ( $\text{N-NH}_3$ ) e nitrogênio na forma de íon amônio ( $\text{N-NH}_4^+$ ) são determinadas em conjunto. O valor medido, que corresponde à soma das concentrações das duas formas, recebe o nome de **nitrogênio amoniacal**. A determinação do percentual de nitrogênio amoniacal que corresponde a cada uma dessas formas é feita com base do pH do meio (SOUTO, 2009).

O **fósforo** é um nutriente essencial para o crescimento dos microrganismos responsáveis pela estabilização da matéria orgânica. A origem natural do fósforo está na dissolução de compostos dos solos e das rochas que o contém, bem como na decomposição de matéria orgânica. As fontes pontuais são os despejos domésticos e industriais, e as fontes difusas

são originadas do escoamento superficial de áreas agrícolas e urbanas (VON SPERLING, 2014).

Concentrações elevadas de fósforo podem contribuir para a proliferação de algas e acelerar, indesejavelmente, em determinadas condições, o processo de eutrofização.

### **3.3 Poluição na bacia do Rio das Velhas**

Poluição é toda alteração que prejudica as características originais do meio ambiente, de forma a afetar a saúde, a segurança e o bem-estar da população, criando obstáculos ao desenvolvimento de atividades socioeconômicas e causando danos à fauna, à flora e aos recursos naturais e afetando as condições sanitárias do meio ambiente (BRASIL, 1981).

A poluição das águas tem como origem diversas fontes, associadas ao tipo de uso e ocupação do solo. Pode-se destacar a poluição por efluentes domésticos, efluentes indústrias, carga difusa urbana, poluentes decorrentes de atividades ligadas à agropecuária, mineração, entre outros.

Cada uma dessas fontes possui características próprias quanto aos poluentes que carregam. Os esgotos domésticos apresentam compostos orgânicos biodegradáveis, nutrientes e microrganismos patogênicos. Os efluentes industriais apresentam diversificados poluentes devido aos tipos de matérias-primas e processos industriais utilizados. Os efeitos da atividade agrícola dependem das práticas utilizadas em cada região e da época do ano em que se realizam as preparações do terreno para o plantio, assim como, do uso intensivo dos fertilizantes e pesticidas agrícolas (KNUPP, 2007).

O uso e a ocupação do solo na Bacia do Rio das Velhas têm interferência direta nos recursos hídricos. Segundo IGAM (2005), algumas estações de amostragem na região do Quadrilátero Ferrífero demonstram uma concentração de metais (cobre, manganês e níquel) e sólidos em suspensão nos cursos d'água. A mineração, como principal atividade econômica naquela região, influencia diretamente na qualidade das águas.

Na Região Metropolitana de Belo Horizonte, o Rio das Velhas recebe uma grande quantidade de efluentes domésticos e industriais, além de resíduos sólidos. A urbanização exerce grande impacto sobre os recursos hídricos nessa região. No baixo Velhas, além do somatório de todos os efluentes adquiridos a montante, também são adicionados efluentes gerados pela atividade agropecuária, que é mais significativa nessa região (IGAM, 2005).

Os poluentes em uma bacia podem ter origem em fontes pontuais ou difusas. Fontes de poluição pontual são decorrentes de efluentes industriais, estações de tratamento de esgoto ou redes de esgoto urbanas, que após o seu lançamento, interferem na qualidade do corpo hídrico. Podem ser relacionadas à sua fonte original a partir da identificação com as substâncias contaminantes (POLIGNANO et al., 2012). As fontes pontuais são mais facilmente identificadas, mensuradas e controladas.

Na poluição difusa, o escoamento superficial e subsuperficial são os agentes dominantes do transporte de poluentes. Neste caso, a identificação e quantificação do tipo de poluente e de sua provável fonte de contaminação constituem em um procedimento complexo, sobretudo por abranger extensas áreas e por se tratar de um processo aparentemente imperceptível. Sua ocorrência provém, principalmente, de eventos de precipitação, que carregam elementos contaminantes sobre a superfície como sedimentos, nutrientes, pesticidas, microrganismos, resíduos sólidos, poeira, compostos químicos, entre outros, até atingir o curso d'água (APRÍGIO, 2012).

Nos últimos anos, a poluição difusa vem recebendo uma atenção especial devido à complexidade de sua determinação e identificação. No estudo realizado por Haupt (2009) foi realizada a pesquisa e aplicação do método do índice de potencial de poluição não-pontual (PNPI), para que pudesse subsidiar a gestão e o planejamento dos recursos hídricos, para as condições de poucos dados das bacias hidrográficas brasileiras. O método, baseado em Sistema de Informações Geográficas, avalia a pressão global exercida pelos diferentes usos da terra da bacia hidrográfica sobre as águas superficiais. Através da aplicação do PNPI, foi possível obter mapas que pudessem ser utilizados para definir áreas prioritárias para alocação de medidas de controle de poluição difusa.

Silva (2003) avaliou a geração de cargas difusas na bacia de Ribeirão da Estiva, em São Paulo, utilizando o modelo WinHSPF, mundialmente utilizado no estudo de cargas difusas, e que nesta versão traz inserido uma ferramenta de aplicação de BMP (práticas ótimas de manejo). O modelo se mostrou acessível e eficiente, demonstrou ser uma ferramenta prática para simulação de cargas difusas, principalmente para bases de dados médios anuais, e pode ser objeto de uso em outras bacias hidrográficas brasileiras.

### 3.3.1 Parâmetros indicadores de poluição Difusa e Pontual

Através da análise da qualidade das águas, é possível identificar prováveis fontes de poluição difusa e pontual dos corpos hídricos, relacionadas com a atividade antrópica. A seguir, estão listados alguns parâmetros utilizados para indicar a poluição das águas da bacia:

- Turbidez: representa o grau de interferência com a passagem da luz através da água, deixando-a turva. Indica a presença de sólidos em suspensão na água, como partículas de rocha, argila, algas e outros microrganismos. Atividades extrativas minerárias, efluentes domésticos e industriais e processos erosivos são fontes importantes de geração de turbidez (VON SPERLING, 2014).
- Coliformes fecais: preferencialmente denominados de coliformes termotolerantes, indicam a contaminação microbiológica das águas, como decorrência do lançamento de esgotos (POLIGNANO et al., 2012).
- Nitrogênio: dentro do ciclo do nitrogênio na biosfera, este se alterna entre várias formas e estados de oxidação. No meio aquático, as diversas formas de nitrogênio podem ser de origem natural (proteínas, clorofila e outros compostos biológicos) e/ou de origem das atividades humanas e animais (despejos domésticos e industriais, excrementos de animais e fertilizantes) (VON SPERLING, 2014).
- Fósforo total: A origem natural do fósforo está na dissolução de compostos dos solos e das rochas que o contém, bem como na decomposição de matéria orgânica. As fontes pontuais são os despejos domésticos e industriais, e as fontes difusas são originadas do escoamento superficial de áreas agrícolas e urbanas (VON SPERLING, 2014).
- Demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e oxigênio dissolvido (OD): São parâmetros de grande importância para na caracterização dos efeitos e do grau de poluição em um

corpo d'água. Podem ser evidenciados por despejos industriais e domésticos e outros fatores como a erosão e o desmatamento do solo.

- Contaminação por elementos tóxicos: micro poluentes inorgânicos provenientes, na sua maioria, de efluentes industriais e altamente tóxicos para a vida aquática (POLIGNANO et al., 2012).
  - A presença de níquel total nas águas pode estar associada às atividades de mineração, extração de argila, areia e calcário.
  - A permanência de valores de chumbo total é proveniente do lançamento de efluentes industriais sendo fábricas de cimento e cal; siderurgia, produtos químicos, papel e papelão, têxtil, curtume e de tratamento de superfícies metálicas.
  - O arsênio é um contaminante que fica em destaque devido às atividades de extração e beneficiamento de minérios na bacia.
  - O alumínio dissolvido pode estar associado à poluição por origem difusa, ocasionada pelas áreas de pastagens e de plantio presentes na região e também às atividades industriais.

No caso específico da bacia do rio das Velhas, observou-se um nível de contaminação alto por contaminantes tóxicos próximos a grandes centros urbanos como a Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) e em toda a extensão do rio das Velhas em 2014 (IGAM, 2015). Essa condição foi favorecida pela presença de áreas urbanas, indústrias, mineração e uso de insumos agrícolas nessas regiões.

## 4 METODOLOGIA

Os dados de qualidade das quatro estações de monitoramento foram obtidos junto ao Projeto Águas de Minas, do IGAM, e os dados de vazão junto à Companhia Energética de Minas Gerais - CEMIG e Agência Nacional das Águas – ANA, do período de abril de 2003 a março de 2013. Os parâmetros de qualidade Nitrato, Nitrogênio Amoniacal e Fósforo Total serão avaliados, visando o atendimento aos limites de enquadramento para os corpos de água enquadrados como Classe II (**Quadro 2**), segundo a Deliberação Normativa Conjunta COPAM-CERH n° 1/2008 e a Resolução CONAMA n° 357/2005 (**Tabela 2**). Além disso, será feita a identificação do tipo de fontes poluidora (pontual ou difusa) a partir da análise dos gráficos relacionando a curva de permanência da estação fluviométrica mais próxima com a concentração dos parâmetros de qualidade.

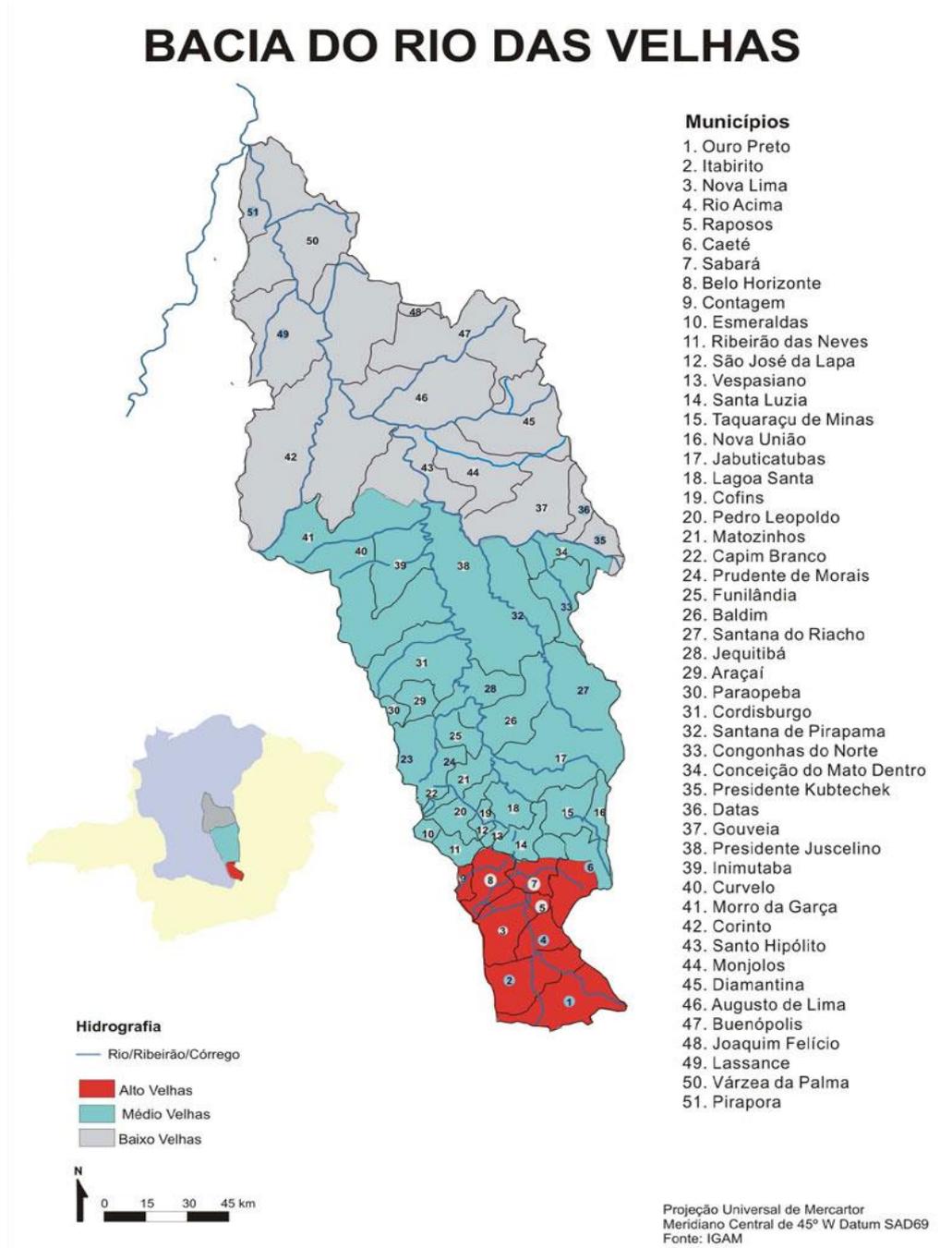
**Tabela 2: Parâmetros e limites conforme a legislação**

Parâmetros	Limites da CONAMA n° 357/05 e DN COPAM/CERH n° 01/2008
Nitrato	10,0 mg/L
Nitrogênio Amoniacal	3,7 mg/L (pH ≤ 7,5)
Fósforo Total	0,1 mg/L

### 4.1 Caracterização da área de estudo

A **Figura 3** apresenta a Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas, completamente inserida no estado de Minas Gerais, em sua região central, ocupando uma área de drenagem de 29.173 km<sup>2</sup> (IGAM, 2005).

Com 801 km, o Rio das Velhas é o maior afluente em extensão da Bacia do São Francisco. Nasce no município de Ouro Preto, dentro do Parque Municipal das Andorinhas, e deságua no Rio São Francisco no distrito de Barra do Guaicuy, município de Várzea da Palma. Integram a bacia do rio das Velhas 51 municípios e sua população total é de cerca de 4,9 milhões de habitantes (IBGE, 2010), sendo que 44 destes estão totalmente inseridos na bacia e 7 possuem a sede municipal fora da mesma.



**Figura 3: Bacia do rio das Velhas e sua localização no estado de Minas Gerais**

Fonte: CBH- Rio das Velhas.

As altitudes ao longo da bacia variam de aproximadamente 500 m (na sua foz no rio São Francisco) até cerca de 1500 m (verificados na Serra do Jorge, região de cabeceira). A temperatura média anual é de 20°C, com precipitação média de 1400 mm. A vegetação natural predominante é de campos e cerrado, sendo que 90% da bacia apresenta sua vegetação modificada devido à ocupação antrópica crescente e desenfreada (IGAM, 2005).

A bacia hidrográfica apresenta uma significativa densidade de drenagem, que alimenta o rio das Velhas em todo o seu percurso. Os principais tributários são o Rio Paraúna, Rio Itabirito, Rio Taquaraçu, Rio Bicudo e Ribeirão da Mata. O rio das Velhas apresenta regime de tipo pluvial, como, aliás, a quase totalidade dos rios brasileiros. No período de chuvas (outubro-março), verifica-se uma grande elevação no nível das águas (IGAM, 2005).

A bacia do Rio das Velhas é subdividida em Alto, Médio e Baixo Rio das Velhas (IGAM, 2005):

- a) Alto rio das Velhas: compreende toda a região denominada Quadrilátero Ferrífero, tendo o Município de Ouro Preto como o limite ao sul e os municípios de Belo Horizonte, Contagem e Sabará como limite ao norte. Uma porção do município de Caeté faz parte do alto rio das Velhas, tendo a Serra da Piedade como limite leste.
- b) Médio rio das Velhas: ao norte traça-se a linha de limite desse trecho da bacia coincidindo com o rio Paraúna, o principal afluente do rio das Velhas. No lado esquerdo, atravessa o município de Curvelo e, em outro trecho, coincide com os limites do município de Corinto.
- c) Baixo rio das Velhas: compreende, ao sul, a linha divisória entre os municípios de Curvelo, Corinto, Monjolos, Gouveia e Presidente Kubitscheck e, ao norte, os municípios de Buenópolis, Joaquim Felício, Várzea da Palma e Pirapora.

A bacia do rio das Velhas abrange 3 biomas considerados mantenedores de grande biodiversidade (Mata Atlântica, Cerrado e Campos de Altitude), porém apenas 32,95% destes ainda se encontram preservados, enquanto 45,28% de toda a área da bacia já foi ocupada por atividade agropastoris, como mostra a **Tabela 3**. Além disso, boa parte do rio das Velhas, juntamente com algumas de suas cabeceiras, está encaixada no Quadrilátero Ferrífero, sendo uma das áreas mais críticas devido aos inúmeros empreendimentos de mineração.

Tabela 3: Distribuição das classes de uso do solo na bacia do rio das Velhas

CLASSES	ALTO		MÉDIO		BAIXO		TOTAL	
	Km <sup>2</sup>	%						
Mata	723	26,49	627	5,11	527	4,09	1.876	6,73
Cerrado	0	0,00	662	5,41	882	6,84	1.544	5,54
Campo	600	21,98	2.081	16,98	3.083	23,93	5.764	20,68
Capoeira	201	7,35	2.059	16,80	1.739	13,50	3.998	14,35
Pasto	668	24,46	6.244	50,96	5.706	44,29	12.618	45,28
Agricultura	0	0,00	34	0,28	239	1,85	273	0,98
Urbano	388	14,21	199	1,62	17	0,13	603	2,16
Mineração	31	1,14	14	0,12	0	0,00	45	0,16
Afloramento Rochoso	1	0,02	0	0,00	0	0,00	1	0,00
Reflorestamento	119	4,35	334	2,72	692	5,37	1.144	4,11
Total	2.731	100,00	12.254	100,00	12.885	100,00	27.866	100,00

Fonte: IGAM, 2005.

A região metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), apesar de ocupar apenas 10% da área territorial da bacia, é a principal responsável pela degradação do rio das Velhas, devido à sua elevada densidade demográfica (mais de 70,8% de toda a população da bacia), processo de urbanização e atividades industriais (POLIGNANO et al., 2001 *apud* MORENO e CALLISTO, 2004).

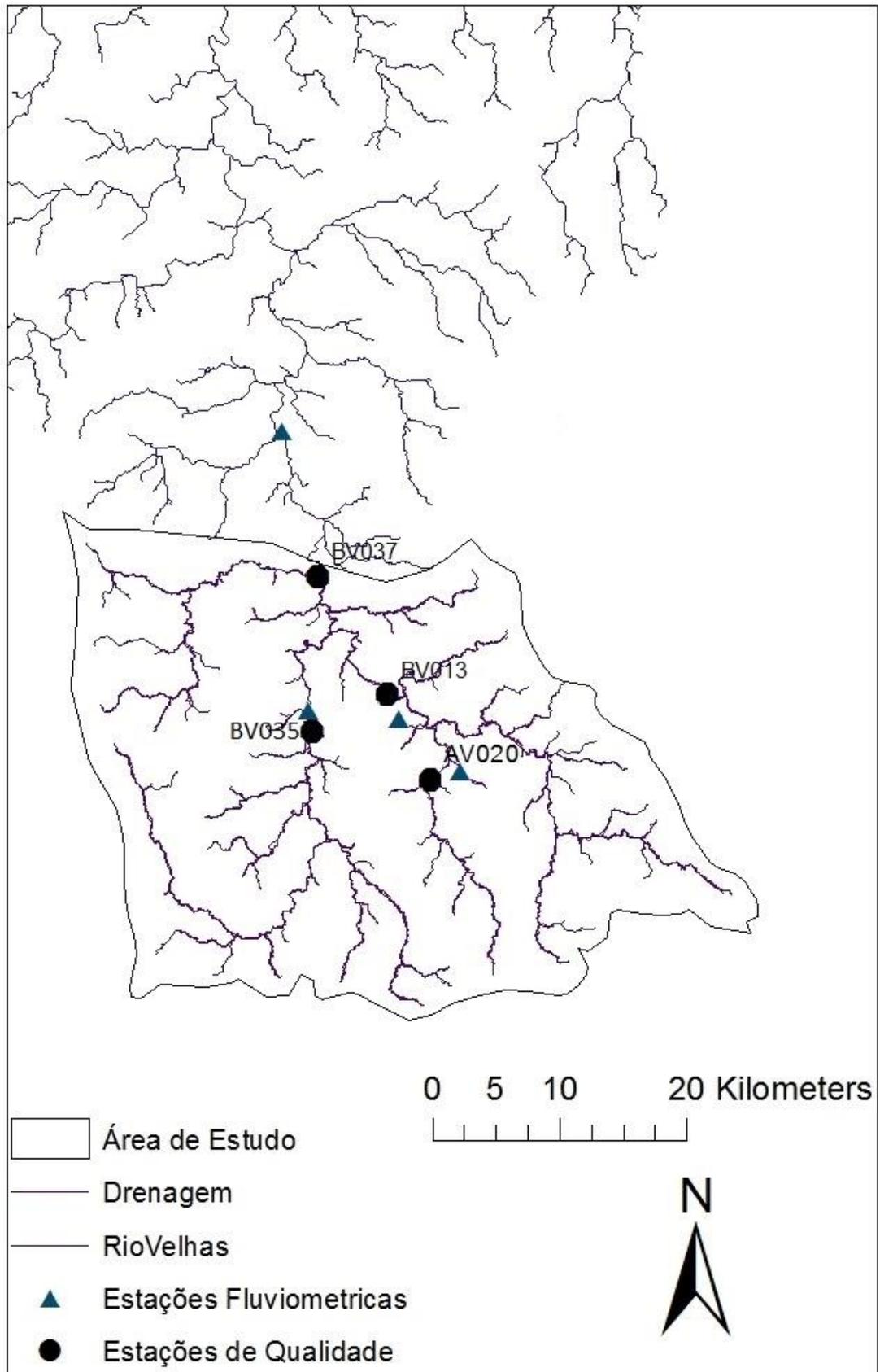
Os principais problemas ambientais identificados na bacia são resultado da exploração excessiva e inadequada dos recursos naturais. Os processos de erosão e contaminação do solo e da água estão relacionados a atividades antrópicas, tais como agricultura, pecuária, mineração, urbanização, extrativismo vegetal e industrialização (EUCLYDES e FERREIRA, 2002 *apud* SANTOS, 2005). Podem ser citados ainda os ineficientes sistemas públicos de abastecimento de água, de coleta de lixo e de esgoto em quase todas as cidades. Esta situação é fundamental para explicar a má qualidade da água em toda a bacia.

O trecho alto rio das Velhas apresenta o maior contingente populacional, com uma expressiva atividade econômica, concentrada, principalmente, na Região Metropolitana de

Belo Horizonte, onde estão presentes os maiores focos de poluição hídrica de toda a bacia. Os principais agentes poluidores são os esgotos industriais e domésticos não tratados e os efluentes gerados pelas atividades minerárias clandestinas atuantes nesta parte da bacia.

Os trechos médio e baixo rio das Velhas possuem características diferenciadas em relação ao uso e ocupação do solo do trecho anterior, apresentando uma menor concentração populacional, com o predomínio das atividades agrícolas e pecuária.

A área estudada neste trabalho limita-se às nascentes do Rio das Velhas, sendo mostrada na **Figura 4**.



**Figura 4: Área de Estudo e localização das estações**

Fonte: Elaborado pela autora

O **Quadro 2** apresenta a descrição das estações de monitoramento dos dados de qualidade fornecidos pelo IGAM, mostradas na **Figura 4**.

**Quadro 2: Descrição das estações de monitoramento dos dados de qualidade**

Estação	Descrição	Classe de Enquadramento	Curso d'água	Município	Tipo de ambiente do corpo d'água
AV020	Rio Maracujá a montante da confluência do Córrego dos Padres	Classe 2	Rio Maracujá	Itabirito (MG)	Lótico
BV013	Rio das Velhas a montante da foz do Rio Itabirito	Classe 2	Rio das Velhas	Itabirito (MG)	Lótico
BV035	Rio Itabirito a jusante da cidade de Itabirito	Classe 2	Rio Itabirito	Itabirito (MG)	Lótico
BV037	Rio das Velhas a jusante da foz do Rio Itabirito	Classe 2	Rio das Velhas	Rio Acima (MG)	Lótico

Fonte: IGAM (2003a).

Foram selecionadas 4 estações fluviométricas (**Figura 4**) para avaliar a permanência da vazão nos pontos de monitoramento da qualidade das águas, sendo estas selecionadas devido à proximidade com as estações de qualidade. O **Quadro 3** apresenta as estações fluviométricas selecionadas para cada estação de qualidade avaliada.

**Quadro 3: Estações fluviométricas da área de estudo**

Estação Qualidade	Código Estação Fluviométrica	Nome Estação Fluviométrica	Operadora
AV020	41153050	Fazenda Maracujá	CEMIG
BV013	41152000	Fazenda Vertentes	CEMIG
BV035	41180500	AVH - 040	CEMIG
BV037	41199998	Honório Bicalho - Montante	ANEEL

Fonte: HidroWEB (2015)

A escolha da área abordada neste estudo, na qual estão inseridas as quatro estações de monitoramento, pode ser justificada pela cabeceira da bacia sofrer uma menor interferência da Região Metropolitana de Belo Horizonte e possuir atividades antrópicas com baixo

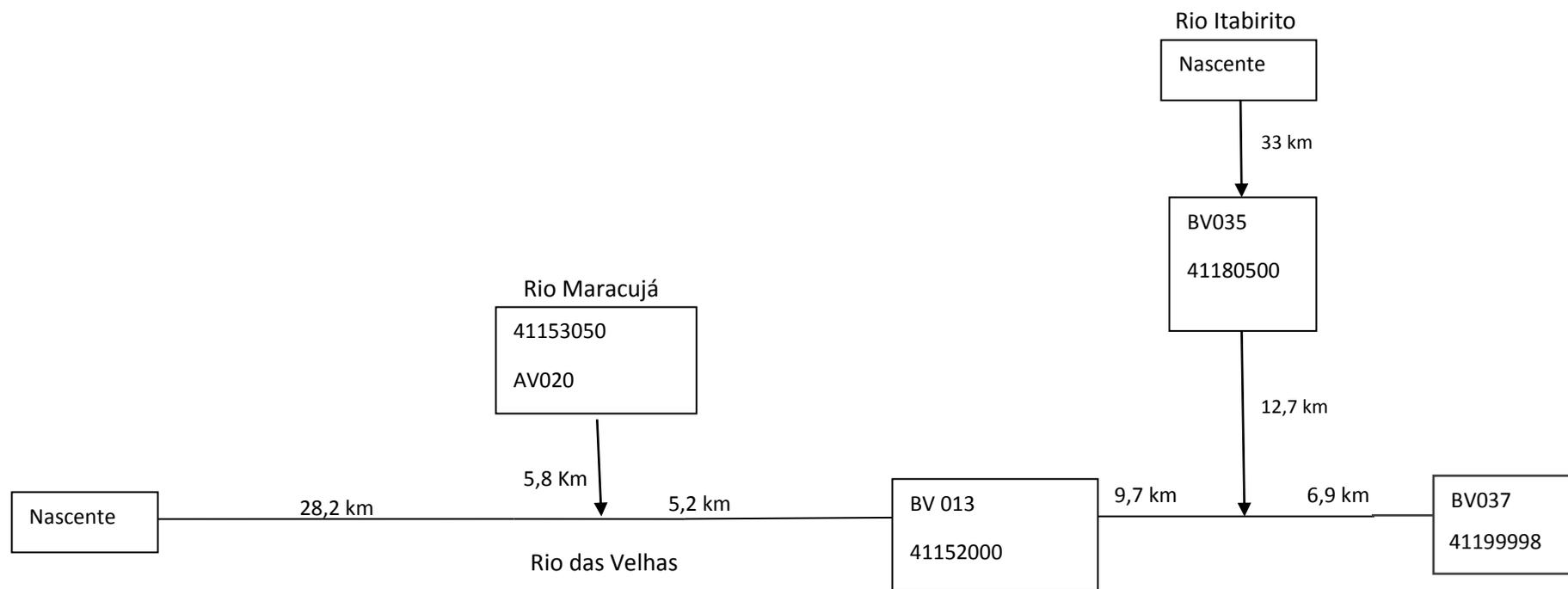
impacto, para assim poder avaliar a qualidade das águas a partir dos parâmetros de qualidade nitrato, nitrogênio amoniacal e fósforo total.

A escolha desses parâmetros se deve ao fato dos mesmos estarem associados a fontes difusas e pontuais, e assim poderem favorecer a definição da origem das fontes poluidoras. São ainda parâmetros amplamente pesquisados e, portanto, com vasta literatura, o que facilita a comparação dos resultados obtidos nos estudos com outros disponíveis na literatura em estudos como os apresentados por Maillard e Santos (2008), Brites (2010), Cunha et al. (2012) e Formigoni et al. (2011).

Segundo IGAM (2013b), os principais fatores de poluição identificados para o corpo d'água da estação de monitoramento AV020 estão relacionados ao recebimento de esgoto de Cachoeira do Campo, de chácaras do Distrito de Maracujá e áreas de pastagem. A estação de amostragem BV013, localizada no Rio das Velhas a montante da foz do Rio Itabirito, apresenta interferência de atividade minerária, lançamento de esgoto sanitário dos distritos a montante e fontes difusas na região (POLIGNANO et al., 2012; IGAM, 2013b).

A estação de amostragem BV035, localizada no Rio Itabirito a jusante da cidade de Itabirito, apresenta como principais fatores de poluição o lançamento de esgotos domésticos de Itabirito, atividades de siderurgia e mineração (extração e beneficiamento de minerais metálicos). A estação BV037, localizada no Rio das Velhas a jusante da foz do Rio Itabirito, apresenta como principais fatores de degradação o lançamento de esgotos domésticos de Itabirito, atividades de siderurgia, mineração (extração e beneficiamento de minerais metálicos) e extração de areia (IGAM, 2013b).

Na **Figura 5** é apresentado um fluxograma com as estações de qualidade e as distâncias entre as mesmas e os cursos hídricos em que estão inseridas.



**Figura 5: Distâncias entre as estações de qualidade e os cursos de água**

Fonte: Elaborado pela autora.

## 4.2 Curva de Permanência

Neste trabalho, será utilizada a metodologia mais usual para obtenção da curva de permanência, apresentada por Tucci (1997 e 2002), conforme os seguintes passos:

- a) Estabelecer  $N$  intervalos de classe de vazão, que podem ser estabelecidos de acordo com a magnitude das vazões procurando uma quantidade razoável de valores que caíam em cada intervalo. A sub-divisão de cada intervalo pode ser baseada na escala logarítmica devido à grande variação de magnitude das vazões envolvidas. Neste caso, a amplitude de cada intervalo é calculada por:

$$dx = \frac{\ln(Q_{mx}) - \ln(Q_{mi})}{N} \quad (1)$$

$Q_{mx}$  = É a vazão máxima encontrada na série histórica;

$Q_{mi}$  = Vazão mínima da série;

$N$  = número de intervalos escolhidos;

Os limites dos intervalos são calculados a partir de  $Q_{mi}$ , adicionando o intervalo calculado anteriormente, ou seja, resultando para a vazão do limite superior do intervalo  $i$  o seguinte:

$$Q_{i+1} = \exp [\ln(Q_i) + dx] \quad (2)$$

- b) Utilizando as vazões do período de análise, determinara frequência da vazão (permanência) em cada intervalo. A frequência de cada intervalo é obtida por:

$$f_i(\%) = \frac{N_{qi}}{N_T} * 100 \quad (3)$$

Onde  $N_{qi}$  é o número de vazões do intervalo  $i$  e  $N_T$  é o número total de vazões.

- c) As ordenadas da curva de permanência são obtidas acumulando as frequências no sentido da maior para menor vazão. A abscissa da curva deve ser o valor de vazão do limite inferior do intervalo. A curva obtida relaciona a vazão e a probabilidade na qual os valores são maiores ou iguais ao valor da ordenada ao longo do tempo. Os resultados podem ser apresentados em gráficos ou tabelas, relacionando a vazão à probabilidade de ser superada, como mostra o exemplo na **Tabela 4**.

**Tabela 4: Permanência das vazões médias da estação 41153050 (Faz. Maracujá)**

Permanência (%)	Vazões (m <sup>3</sup> /s)
5%	4,50
10%	3,21
15%	2,52
20%	2,10
25%	1,85
30%	4,65
35%	1,50
40%	1,35
45%	1,20
50%	1,05
55%	0,95
60%	0,86
65%	0,78
70%	0,70
75%	0,62
80%	0,54
85%	0,50
90%	0,46
95%	0,42
100%	0,30

Fonte: Elaborado pela autora.

### 4.3 Curva de Permanência da Qualidade das Águas Superficiais

O traçado de curva da permanência, para os parâmetros Nitrato, Nitrogênio Amônico e Fósforo Total, segue a mesma metodologia utilizada para a vazão, definida no **Tópico 4.2**, e possibilitará avaliar em qual percentual de tempo ao longo da série histórica a concentração supera os limites definidos para a classe de enquadramento. Assim, pretende-se verificar o atendimento ao enquadramento dos cursos de água da bacia do rio das Velhas, de acordo com a CONAMA 357/2005 e a COPAM/CERH 01/2008, no período de abril de 2003 a março de 2013, obtendo os percentuais de tempo em que a legislação é atendida.

#### 4.4 Curva de Permanência de Vazões Associada a Concentração dos Parâmetros de Qualidade

Essa etapa foi realizada exclusivamente para o traçado da curva de permanência de vazões médias diárias associada aos parâmetros de qualidade, para verificar o tipo de fonte poluidora a partir da análise de sua concentração em função da vazão medida, seguindo a metodologia proposta por Brites (2010).

Os parâmetros de qualidade (Nitrato, Nitrogênio Amoniacal e Fósforo Total) foram associados à curva de permanência de vazões médias. Para realizar essa associação, foi feita a separação da curva de permanência em intervalos de 5%, sendo eles, vazão com 5% de permanência até a vazão com 95% de permanência. Cada intervalo obtido foi definido a partir de um percentual de 2,5% acima e abaixo do valor definido. Como exemplo, para a vazão de 15%, tomou-se o intervalo de 17,5% e 12,5% de permanência. Dentro desse intervalo, foram selecionadas as concentrações dos parâmetros de qualidade registradas no mesmo, as quais foram obtidas as médias para cada intervalo.

A **Tabela 5** exemplifica o cálculo do valor médio das concentrações dos parâmetros utilizados na estação AV020, considerando o intervalo entre vazões e seus respectivos percentuais de permanência da estação 41153050 (Faz. Maracujá).

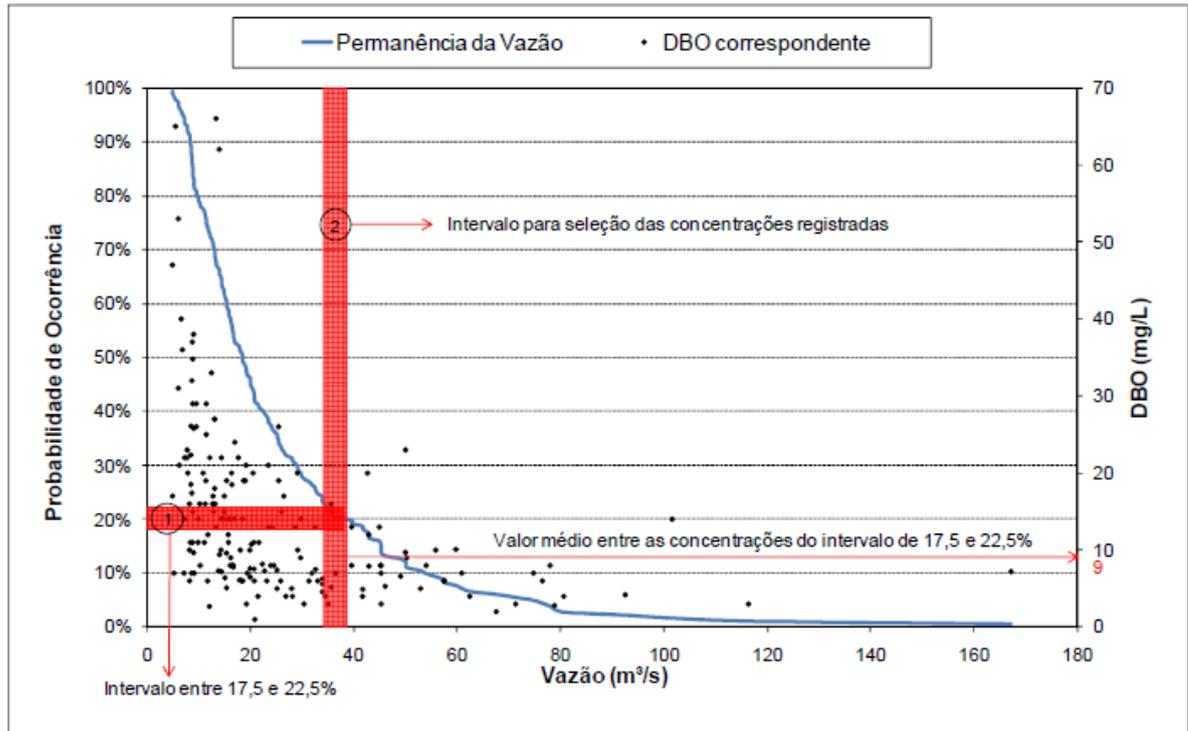
**Tabela 5: Cálculo do valor médio das concentrações dos parâmetros de qualidade no intervalo definido**

Permanência (%)	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Concentrações dos parâmetros registradas entre as vazões do intervalo 17,5% e 12,5% e seu valor médio (mg/L)		
		Nitrato	Nitrogênio Amoniacal	Fósforo Total
17,5%	2,31	0,38; 0,05; 0,18 Média: 0,20	0,1 Média: 0,1	0,05; 0,03; 0,12 Média: 0,07
15%	2,52			
12,5%	2,87			

Fonte: Elaborado pela autora.

Observa-se que para alguns valores de permanência não foram obtidos os valores médios dos dados de qualidade, pois não houve monitoramento simultâneo dos dados de qualidade e vazão.

Na **Figura 6** é ilustrado o gráfico para a curva de permanência de vazões médias associada às concentrações médias, e a faixa de vazão média relacionada à probabilidade, apresentado no trabalho de Brites (2010).



**Figura 6: Ilustração da determinação das faixas de vazões e cálculo das concentrações médias de DBO**

Fonte: Brites (2010).

A associação das concentrações dos parâmetros de qualidade da água às frequências de vazões, através do uso da curva de permanência de vazão, possibilitará analisar se o Nitrato, Nitrogênio Amoniaco e Fósforo Total podem sofrer maiores alterações em períodos de estiagem ou chuva, possibilitando estabelecer se a fonte poluidora tem característica difusa, ou seja, depende da existência de escoamento superficial para ocorrer, apresentando maiores concentrações durante o período chuvoso, ou se tem característica pontual, com maior ocorrência na seca e conseqüentemente maior concentração de poluente neste período.

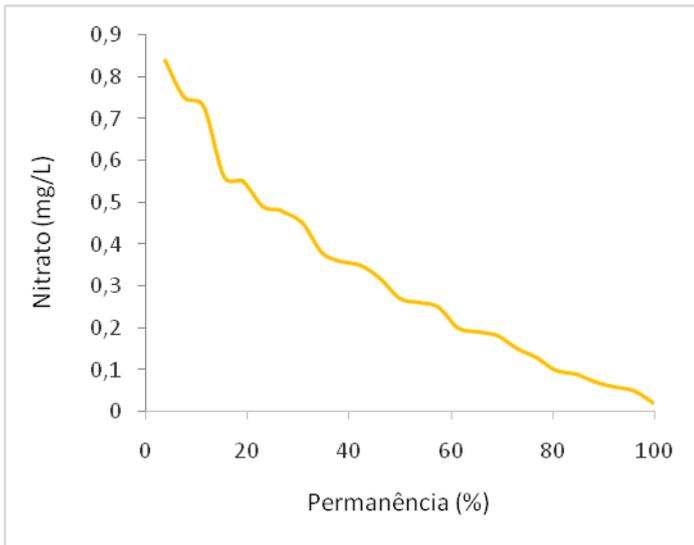
Para auxiliar na análise do tipo de fonte poluidora, foram traçados gráficos de vazão pela concentração de cada parâmetro, avaliando toda a série histórica de dados, de abril de 2003 a março de 2013. Assim, foi possível avaliar a continuidade da vazão e distribuição espaço-temporal do poluente.

## **5 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

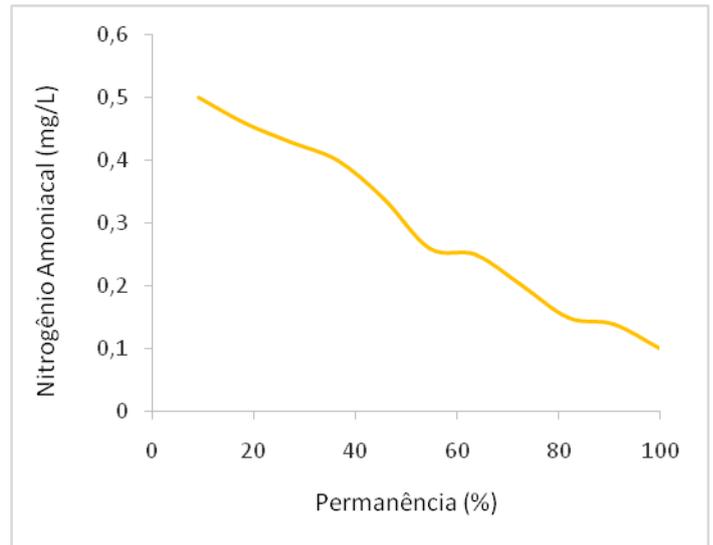
Os resultados para avaliação do atendimento à legislação nas estações de monitoramento para os parâmetros Nitrato, Nitrogênio Amoniacal e Fósforo Total e para análise da natureza pontual e/ou difusa da fonte poluidora estão demonstrados nos seguintes tópicos do presente trabalho.

### **5.1 Estação AV020**

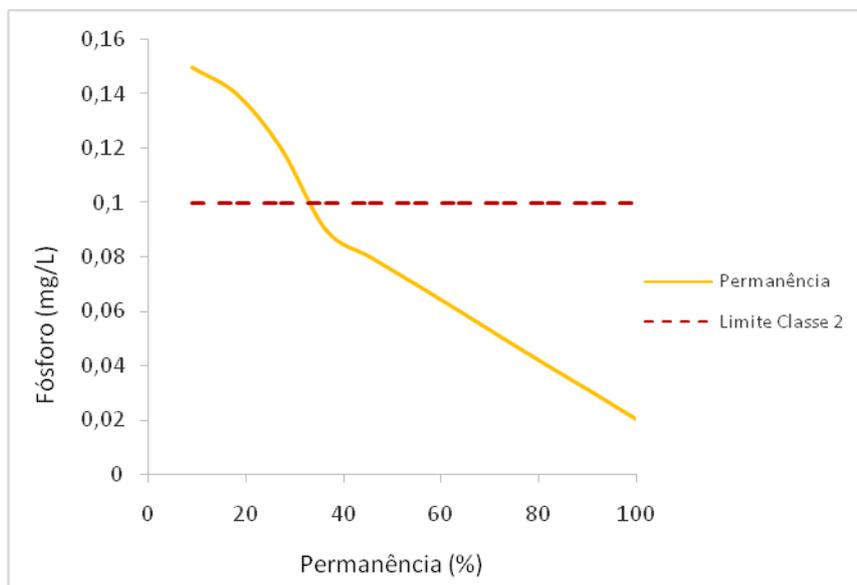
Nos **Gráficos 1, 2 e 3** são apresentadas as curvas de permanência para os parâmetros Nitrato, Nitrogênio Amoniacal e Fósforo Total e o limite de enquadramento para o Fósforo Total.



**Gráfico 1: Curva de Permanência do Nitrato**



**Gráfico 2: Curva de Permanência do Nitrogênio Amoniacal**



**Gráfico 3: Curva de Permanência do Fósforo Total e limite de enquadramento**

Conforme os **Gráficos 1 e 2**, para os parâmetros Nitrato e Nitrogênio Amoniacal não houve violação do parâmetro nesta estação de medição.

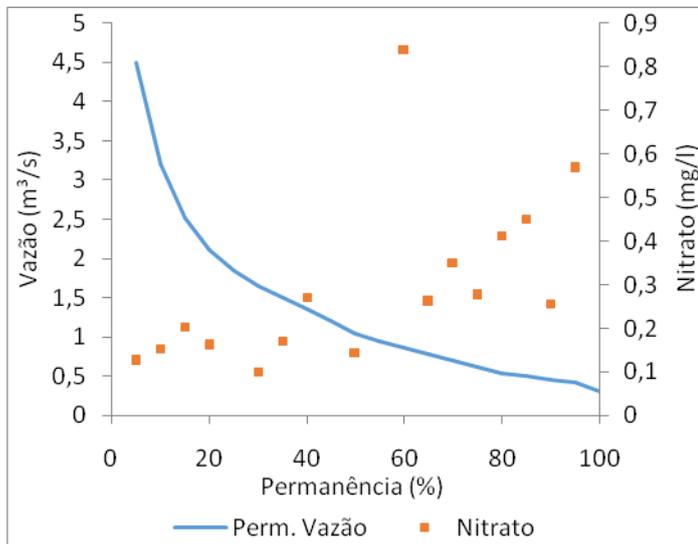
De acordo com o **Gráfico 3**, o parâmetro Fósforo Total excedeu os limites da legislação para o corpo hídrico enquadrado como Classe II em 36% do período avaliado. Neste caso, como a permanência da concentração do parâmetro avaliado não está compatível com o padrão mínimo estabelecido, devem ser adotadas medidas de redução da carga poluidora.

A não conformidade com a resolução restringe a aplicação deste recurso para alguns usos. Um corpo de água doce que atenda aos padrões estabelecidos para a Classe 2 pode ter suas águas

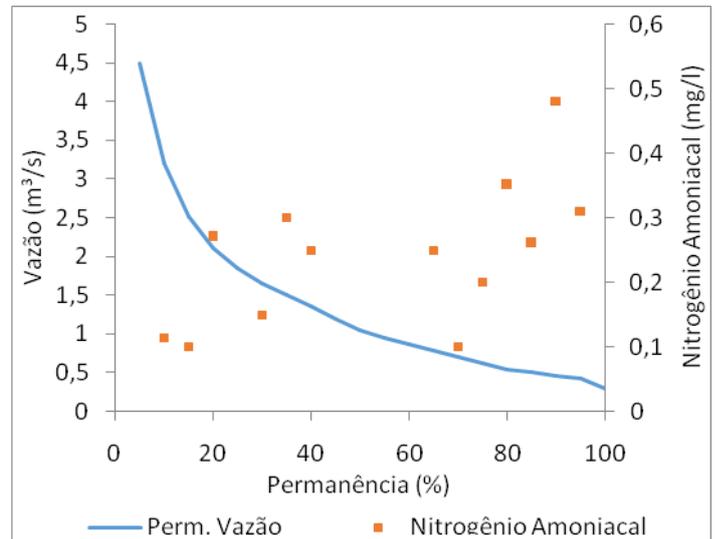
destinadas ao abastecimento humano (após tratamento convencional), a proteção de comunidades aquáticas, a recreação de contato primário, a irrigação de hortaliças e plantas frutíferas e a atividade de pesca (BRASIL, 2005).

Esse resultado é semelhante ao obtido por Cunha et al. (2012), que verificou por meio da análise de curvas de permanência que o fósforo excedeu significativamente a carga permissível do nutriente no Rio Sorocaba, de acordo com o enquadramento do curso de água. Isso indica a necessidade de avaliação e mitigação das fontes pontuais e difusas para inibir o aporte de fósforo ao ambiente aquático.

Os gráficos abaixo foram traçados relacionando a permanência da vazão da estação fluviométrica localizada mais próxima à estação de qualidade avaliada, conforme apresentado na **Figura 4** e nos **Quadros 2 e 3**, com a concentração dos parâmetros de qualidade (**Gráficos 4, 5 e 6**).

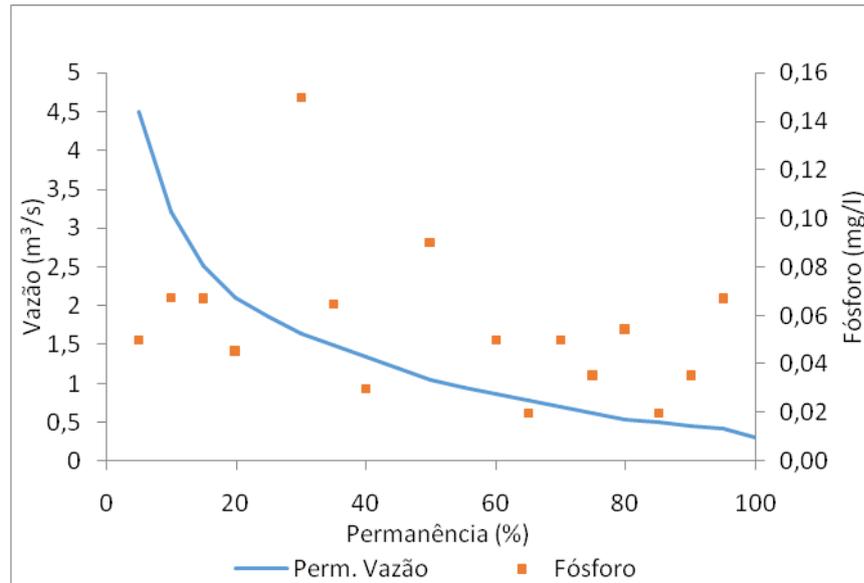


**Gráfico 4: Curva de Permanência da vazão e concentração de Nitrato**



**Gráfico 5: Curva de Permanência da vazão e concentração de Nitrogênio Amoniacal**

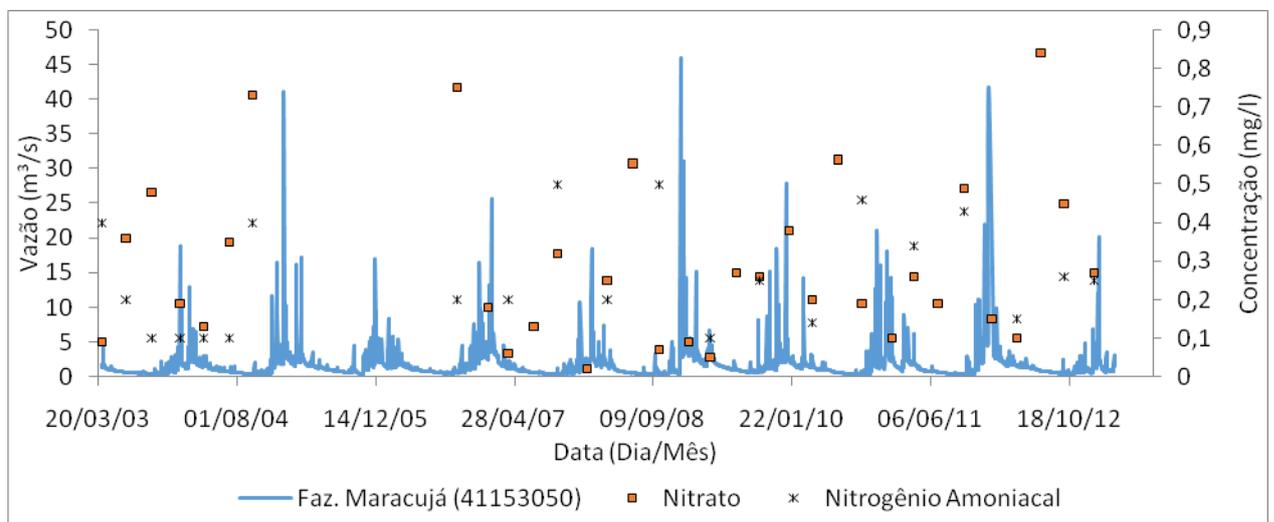
Para o nitrato e o nitrogênio amoniacal notou-se uma tendência de aumento da concentração durante o período de estiagem, para vazões com permanência superior a 50% do tempo. Inicialmente, isto indica que a redução de vazão amplia a concentração dos poluentes, o que indicaria uma característica de fontes poluidoras pontuais.



**Gráfico 6: Curva de Permanência da Vazão e Concentração de Fósforo Total**

Para o fósforo total, a variação é mais uniforme ao longo de toda a curva de permanência, o que pode indicar a presença de ambas as fontes poluidoras (difusas e pontuais), resultado este condizente com os apresentados por Maillard e Santos (2008).

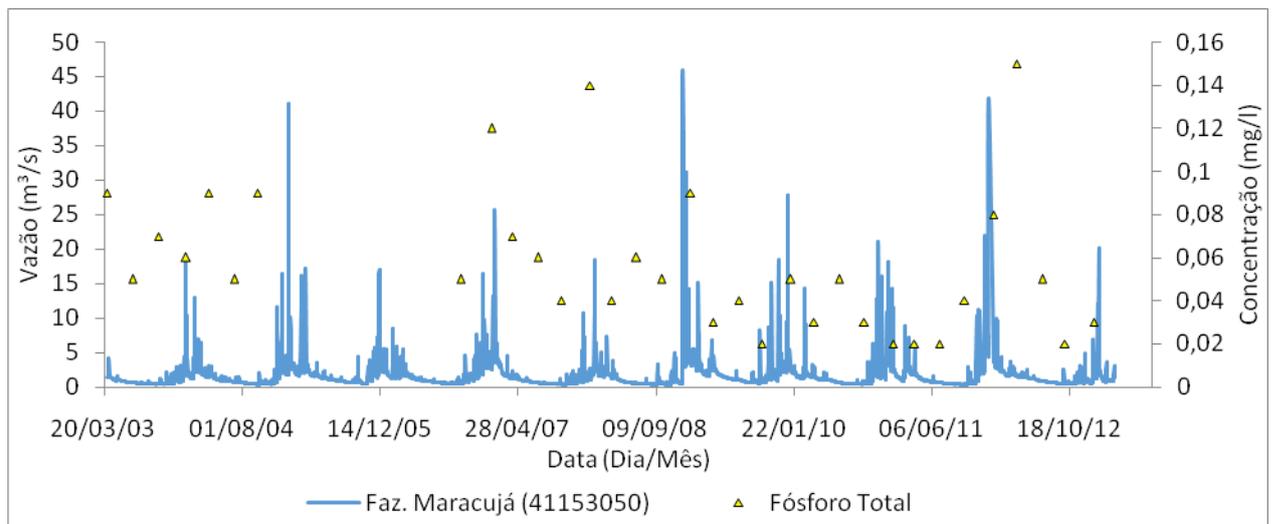
Para complementar a análise desenvolvida através dos **Gráficos 4, 5 e 6**, foi avaliada a variação da vazão e da concentração dos parâmetros de qualidade ao longo do tempo (**Gráficos 7 e 8**).



**Gráfico 7: Vazão e Concentração de Nitrato e Nitrogênio Amoniacal no período de abril de 2003 a março de 2013**

Através do **Gráfico 7** é possível verificar que as maiores concentrações de nitrato e nitrogênio amoniacal foram verificadas para as vazões mais baixas, condizente com os resultados apresentados nos **Gráficos 4 e 5**. Verifica-se também a necessidade de ampliar o monitoramento no período de vazões mais elevadas, haja visto que a maioria das datas de monitoramento são relativas aos períodos secos (baixa vazão). Além disso, no período compreendido entre os meses de outubro de 2004 a setembro de 2006 não foram realizados monitoramentos dos parâmetros.

Em síntese, considerando o **Gráfico 7**, verifica-se o aumento na concentração de nitrato e nitrogênio amoniacal associado a redução de vazões, aspecto característico de fontes pontual.



**Gráfico 8: Vazão e Concentração de Fósforo Total no período de abril de 2003 a março de 2013**

Através do **Gráfico 8** é possível verificar para o fósforo total que no período compreendido entre os meses de outubro de 2004 a setembro de 2006 não foram realizados monitoramentos do parâmetro. As concentrações mais elevadas do parâmetro ocorreram nos anos de 2007, 2008 e 2012 e de 2009 a 2012 a concentração de fósforo apresenta os valores mais baixos da série. Os oito maiores valores de concentração estão associados a altas (4) e baixa vazão (4), não indicando uma tendência clara no seu comportamento, conforme também obtido pelo **Gráfico 6**. E a maioria das datas de monitoramento são relativas aos períodos secos (baixa vazão), ou seja, é baixa a representatividade para as vazões mais elevadas.

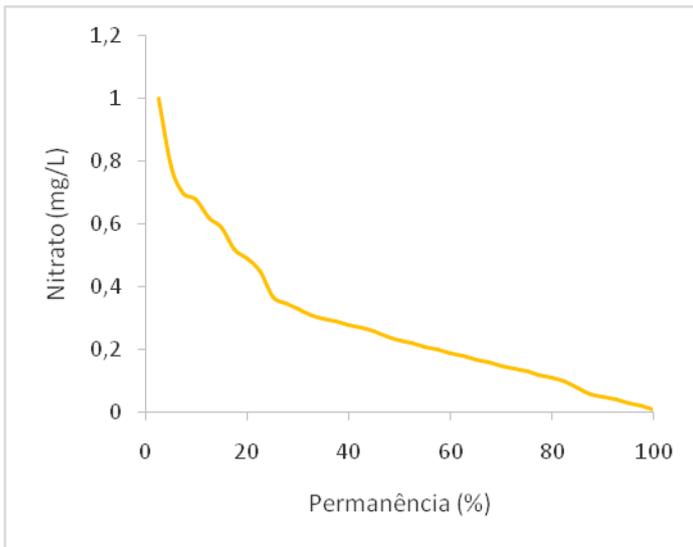
Considerando o **Gráfico 8**, verifica-se que o aumento na concentração de fósforo total é bem variável ao longo da série histórica, apresentando valores elevados para vazões de seca e também de chuva, o que pode indicar a existência de fontes difusa e pontuais.

Na **Tabela 6** são apresentados os valores médio, máximo e mínimo das concentrações de Nitrato, Nitrogênio Amoniacal e Fósforo Total, relativos ao período de abril de 2003 a março de 2013, para a estação AV020.

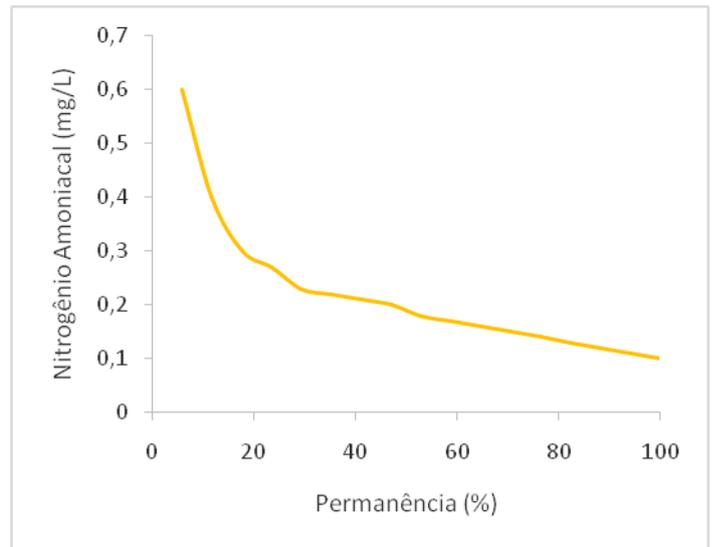
**Tabela 6: Valor médio, máximo e mínimo das concentrações de Nitrato, Nitrogênio Amoniacal e Fósforo Total da estação AV020**

	<b>Nitrato</b>	<b>Nitrogênio Amoniacal</b>	<b>Fósforo Total</b>
<b>Média</b>	0,29	0,26	0,06
<b>Valor máximo</b>	0,84	0,50	0,15
<b>Valor mínimo</b>	0,02	0,10	0,02

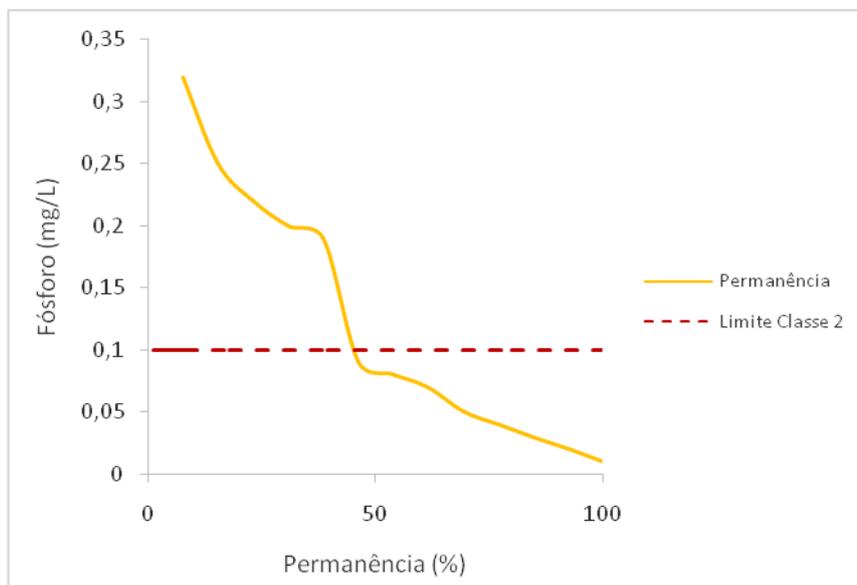
## 5.2 Estação BV013



**Gráfico 9: Curva de Permanência do Nitrato**



**Gráfico 10: Curva de Permanência do Nitrogênio Amoniacal**

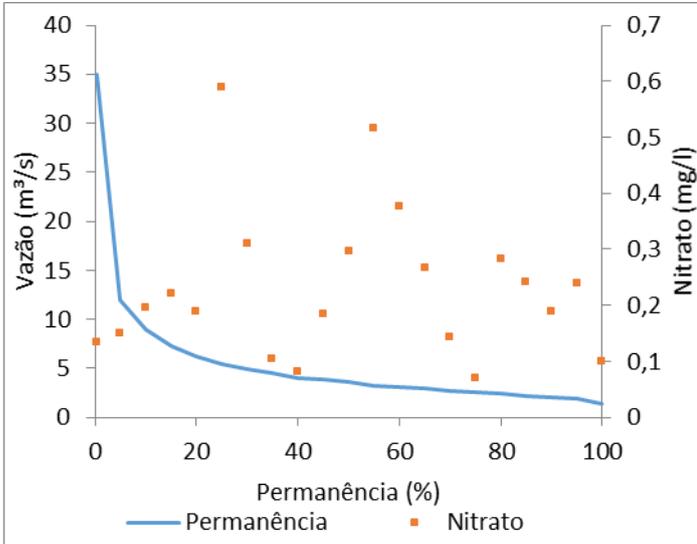


**Gráfico 11: Curva de Permanência do Fósforo Total e limite de enquadramento**

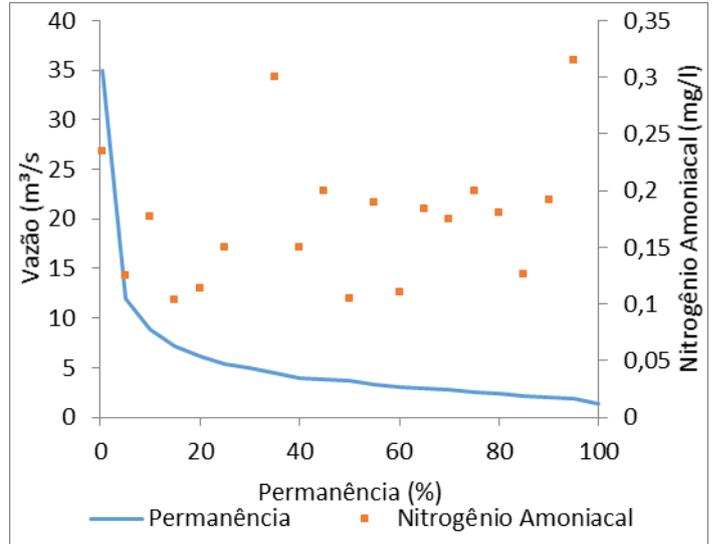
Os **Gráficos 9 e 10** mostram que para os parâmetros Nitrato e Nitrogênio Amoniacal não houve violação do parâmetro nesta estação de medição.

De acordo com o **Gráfico 11**, em 46% do tempo, no período de abril de 2003 a março de 2013, o parâmetro Fósforo Total excedeu os limites da legislação para o corpo hídrico enquadrado como Classe II.

Para avaliar o tipo de fonte poluidora apresentado pelo trecho, os **Gráficos 12, 13 e 14** relacionam a curva de permanência da estação fluviométrica mais próxima com a concentração dos parâmetros de qualidade.

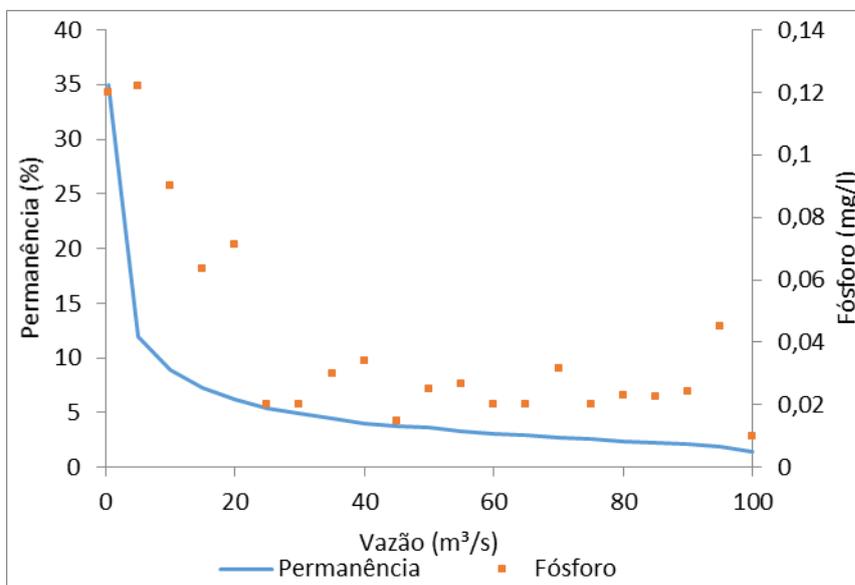


**Gráfico 12: Curva de Permanência da vazão e concentração de Nitrato**



**Gráfico 13: Curva de Permanência da vazão e concentração de Nitrogênio Amoniacal**

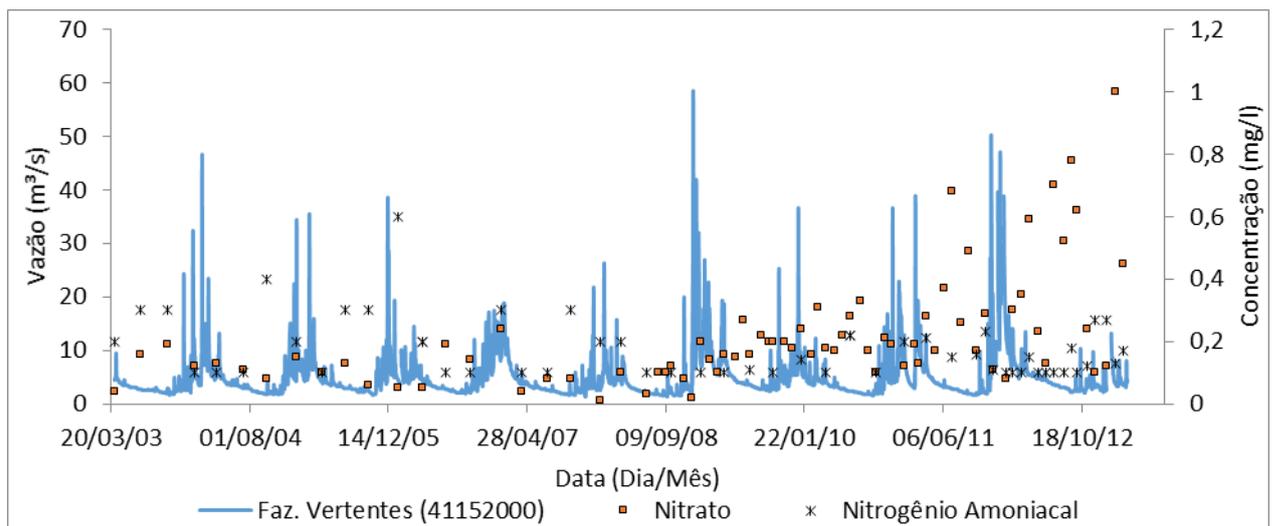
Os gráficos acima mostram que os valores de concentração de nitrato e nitrogênio amoniacal são bastante variados ao longo da curva de permanência, o que pode indicar a presença de fontes poluidoras difusas e pontuais.



**Gráfico 14: Curva de Permanência da Vazão e Concentração de Fósforo Total**

No **Gráfico 14**, é possível observar que há uma tendência do aumento de fósforo com o aumento da vazão na estação monitorada. Isso pode indicar a existência de fontes difusas de poluição no trecho avaliado, haja visto que os maiores valores de fósforo ocorrem para as maiores vazões, com menor permanência, este resultado também é condizente com o observado por Maillard e Santos (2008).

Os gráficos seguintes apresentam a variação da vazão e da concentração dos parâmetros de qualidade ao longo do tempo.



**Gráfico 15: Vazão e Concentração de Nitrato e Nitrogênio Amoniacal no período de abril de 2003 a março de 2013**

Através do **Gráfico 15** é possível verificar para o nitrato que no período de 2003 a 2009 o nutriente apresenta menor concentração nas vazões de seca e de chuva, quando comparado ao restante da série (2010-2013). A partir de 2010, aparentemente há um aumento significativo nas concentrações de nitrato.

Para o nitrogênio amoniacal que, a concentração é mais elevada no início da série que no final e a partir de 2010, as concentrações de nitrogênio amoniacal se mantiveram baixas.

Outro aspecto a ser observado foi que a partir de 2008 o monitoramento da estação passa de trimestral a mensal, o que amplia significativamente o número de dados disponíveis.

Dessa forma, verifica-se o que as concentrações de nitrato e nitrogênio amoniacal são bem variáveis ao longo da série histórica, apresentando tanto valores elevados quanto baixos

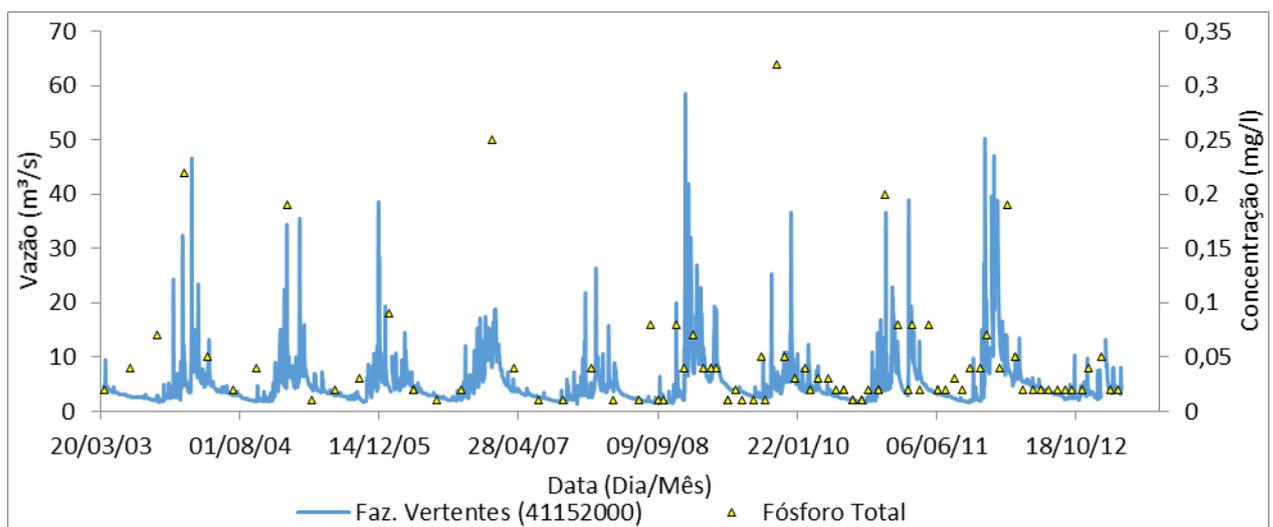
valores para vazões de seca e também de chuva, o que indica a existência de fontes difusa e pontuais no trecho monitorado.

Na **Tabela 7** são apresentados os valores médio, máximo e mínimo das concentrações de Nitrato, Nitrogênio Amoniacal e Fósforo Total, relativos ao período de abril de 2003 a março de 2013, para a estação BV013.

**Tabela 7: Valor médio, máximo e mínimo das concentrações de Nitrato, Nitrogênio Amoniacal e Fósforo Total da estação BV013**

	Nitrato	Nitrogênio Amoniacal	Fósforo Total
<b>Média</b>	0,22	0,17	0,04
<b>Valor máximo</b>	1,00	0,60	0,32
<b>Valor mínimo</b>	0,01	0,10	0,01

A partir das **Tabelas 6 e 7**, pode-se observar que houve redução da carga poluidora de Nitrato, Nitrogênio Amoniacal e Fósforo Total em relação à estação de monitoramento anterior (AV020), o que pode indicar desnitrificação ou diluição ao longo do tempo.

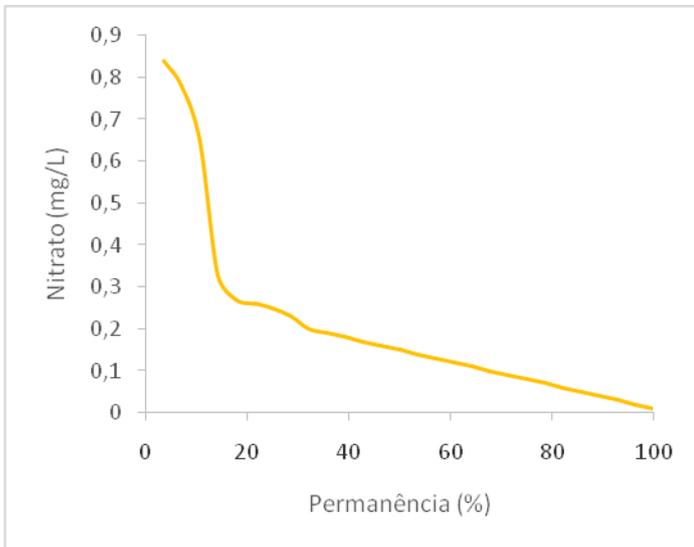


**Gráfico 16: Vazão e Concentração de Fósforo Total no período de abril de 2003 a março de 2013**

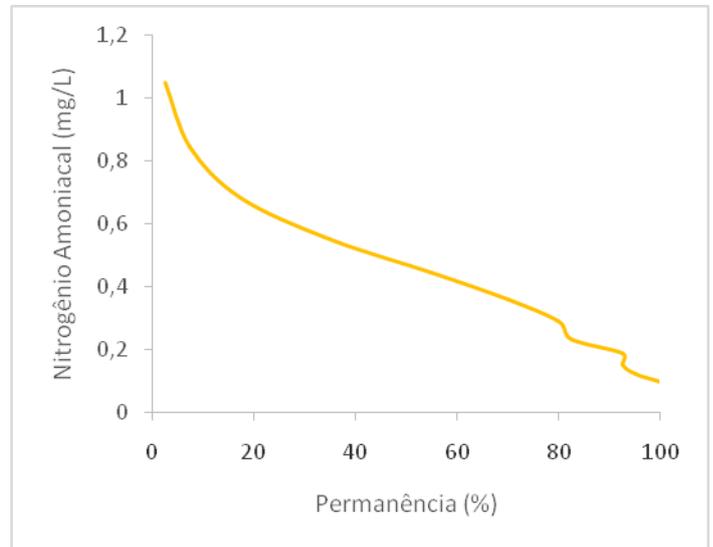
Através do **Gráfico 16** é possível verificar para o fósforo total que as concentrações mais elevadas do parâmetro ocorreram nos períodos chuvosos, com vazões mais elevadas e o fósforo apresenta menor concentração em períodos secos, com menor vazão.

É possível perceber que, aparentemente, o aumento na concentração de fósforo total ocorre com o aumento da vazão nos períodos chuvosos, comportamento indicativo de fontes difusas no corpo d'água monitorado.

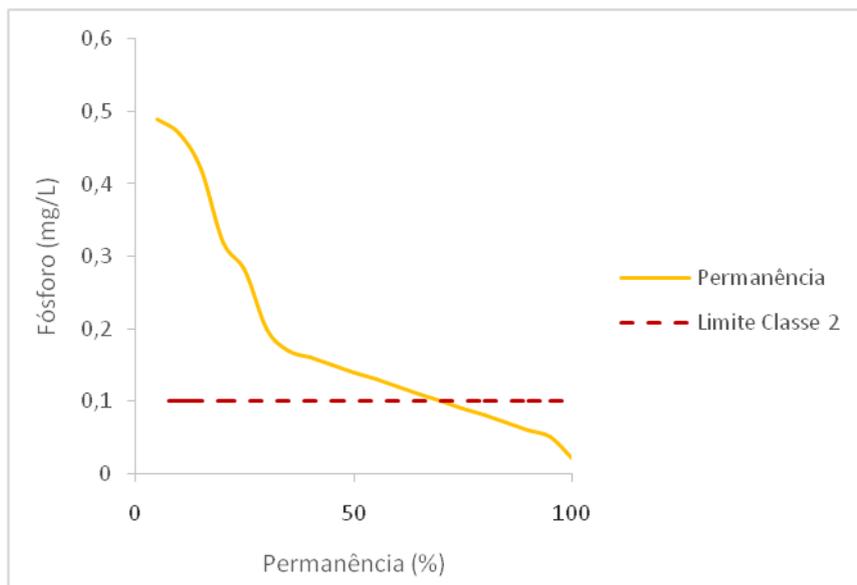
### 5.3 Estação BV035



**Gráfico 17: Curva de Permanência do Nitrato**



**Gráfico 18: Curva de Permanência do Nitrogênio Amoniacal**



**Gráfico 19: Curva de Permanência do Fósforo Total e limite de enquadramento**

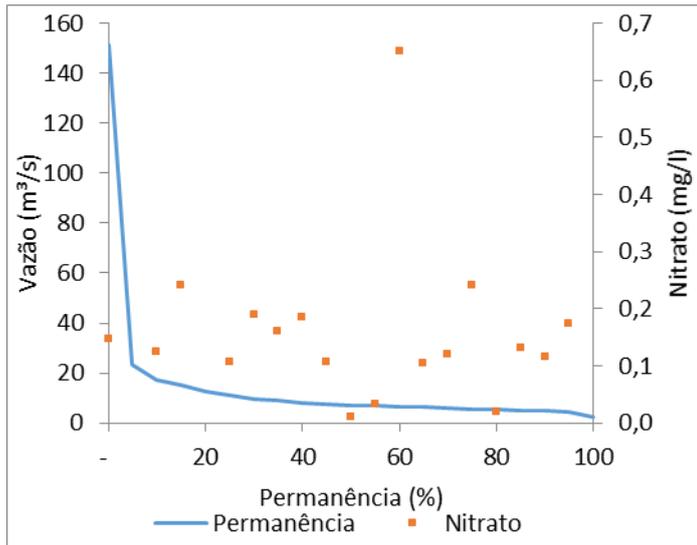
Novamente os parâmetros Nitrato e Nitrogênio Amoniacal não ultrapassaram os limites definidos pela legislação no trecho analisado, como mostram os **Gráficos 17e 18**.

Em 70% do tempo ao longo da série histórica, o parâmetro Fósforo Total excedeu os limites da classe de enquadramento do corpo hídrico, segundo o **Gráfico 19**. Esta estação se encontra a jusante do lançamento de esgoto da cidade de Itabirito, no Rio Itabirito, e a alteração verificada possivelmente se deve ao recebimento de descargas de efluentes domésticos da zona urbana.

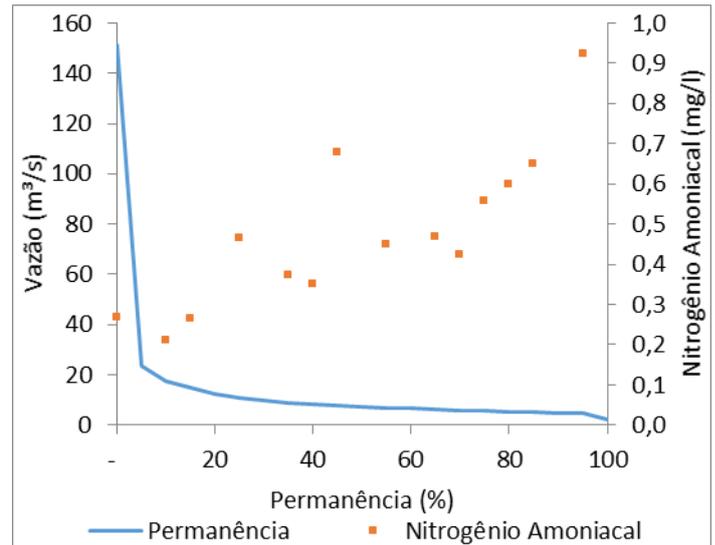
Este resultado é condizente ao obtido no relatório de monitoramento das águas na Bacia do Velhas no segundo trimestre de 2013 para a estação de amostragem BV035 (IGAM, 2013b), no qual o Fósforo total violou os limites legais da Deliberação Normativa COPAM/CERH nº 01/08 em 20% das amostras.

IGAM (2015) também apresentou no monitoramento de águas superficiais de Minas Gerais de 2014 a não conformidade do parâmetro Fósforo Total na estação BV035 aos limites estabelecidos pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH 01/08, como um dos parâmetros indicativos de enriquecimento orgânico para avaliação da qualidade das águas da Bacia do Rio das Velhas.

Os seguintes gráficos foram traçados relacionando a curva de permanência da estação fluviométrica mais próxima com a concentração dos parâmetros de qualidade para avaliar a natureza pontual e/ou difusa da fonte poluidora.



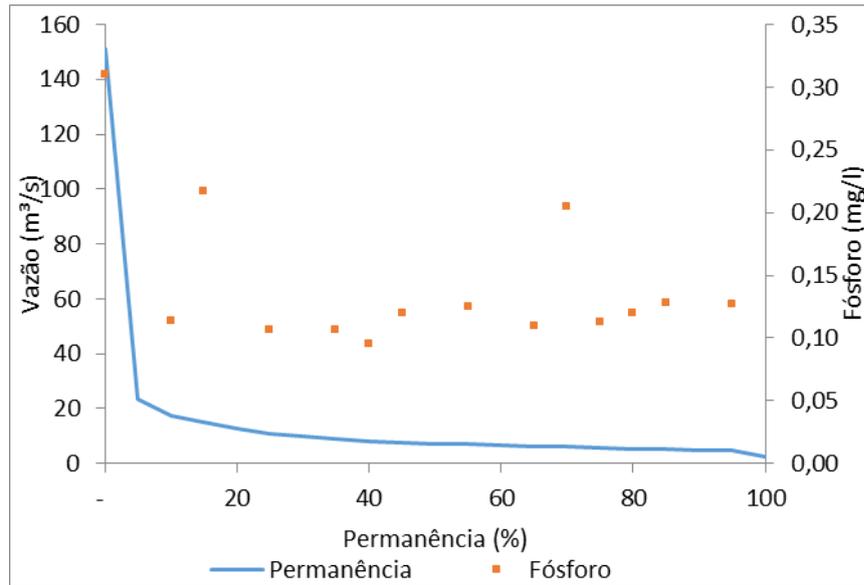
**Gráfico 20: Curva de Permanência da vazão e concentração de Nitrato**



**Gráfico 21: Curva de Permanência da vazão e concentração de Nitrogênio Amoniacal**

O **Gráfico 20** mostra que os valores de concentração de nitrato apresentam um comportamento disperso ao longo da curva de permanência, o que pode indicar a presença de fontes poluidoras difusas e pontuais. O valor para a permanência de 60% deve ser destacado por ter apresentado uma concentração alta em relação aos outros valores, o que pode se configurar como erro de monitoramento ou registro de dados, uma vez que os demais parâmetros monitorados se mantiveram dentro da média.

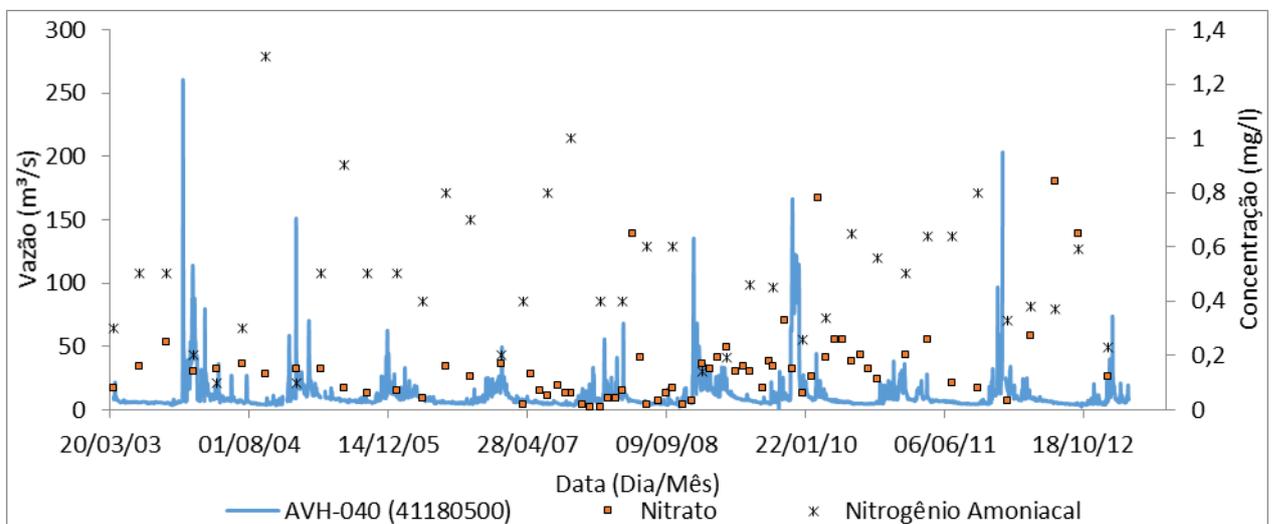
Para o nitrogênio amoniacal, como mostra o **Gráfico 21**, verifica-se uma tendência de maior concentração para vazões com maior permanência, ou seja, a medida que a vazão diminui a concentração aumenta. Inicialmente isto indica que a redução de vazão amplia a concentração dos poluentes, característica de fontes poluidoras pontuais.



**Gráfico 22: Curva de Permanência da Vazão e Concentração de Fósforo Total**

Pelo **Gráfico 22**, é possível observar um comportamento constante dos valores de concentração de fósforo ao longo da curva de permanência na estação monitorada. Isso pode indicar a presença de ambas as fontes poluidoras (difusas e pontuais). Somente as permanências de 0,1%, 15% e 70% apresentaram valores elevados de fósforo, indicando a necessidade de uma análise mais detalhada dos dados desta estação.

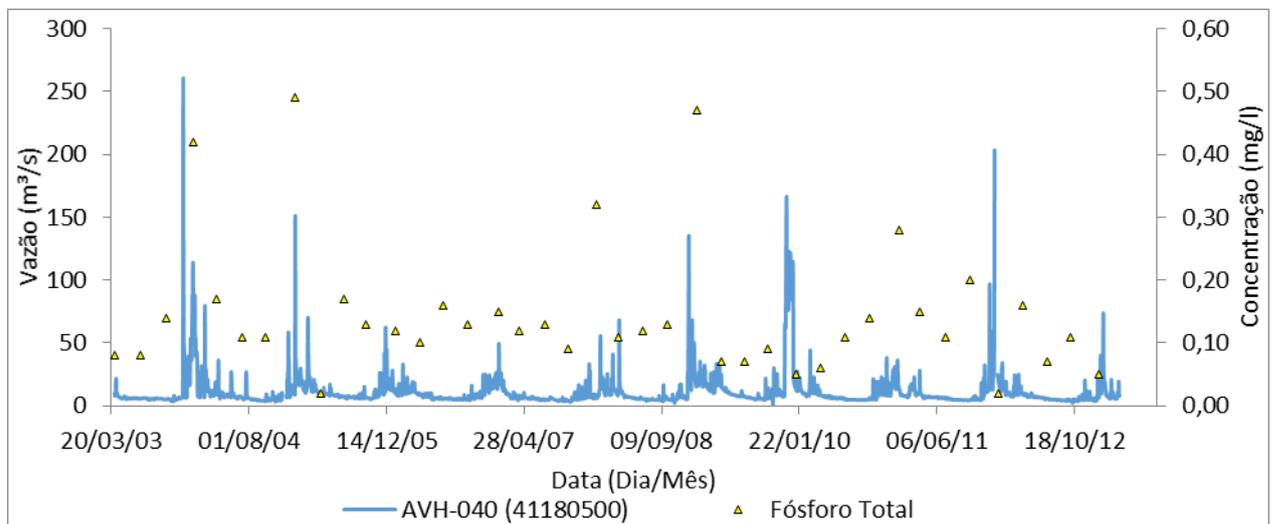
Os **Gráficos 23, 24 e 25** mostram a variação da vazão e da concentração dos parâmetros de qualidade ao longo do tempo.



**Gráfico 23: Vazão e Concentração de Nitrato e Nitrogênio Amoniacal no período de abril de 2003 a março de 2013**

Através do **Gráfico 23** é possível verificar para o nitrato que o nutriente apresentou concentrações baixas nas vazões de seca e de chuva e alguns pontos de aumento principalmente nos períodos mais secos de 2008 e 2012. Em relação ao nitrogênio amoniacal, a maioria das datas de monitoramento do parâmetro são relativas aos períodos secos (baixa vazão), ou seja, é baixa a representatividade para as vazões mais elevadas, resultado que confirma já demonstrado no **Gráfico 21**.

Assim, considerando o **Gráfico 23**, em relação ao nitrato verifica-se a existência de fontes difusa e pontuais no corpo d'água monitorado, devido à variação do parâmetro ao longo da série histórica. Para o nitrogênio amoniacal, é possível identificar aspectos característicos de fonte pontual relativos ao aumento da concentração do parâmetro associado à redução de vazões. Este resultado é coerente haja visto que o nitrogênio amoniacal indica uma poluição recente de origem orgânica (lançamento de esgoto de Itabirito), e o nitrato uma poluição remota.



**Gráfico 24: Vazão e Concentração de Fósforo Total no período de abril de 2003 a março de 2013**

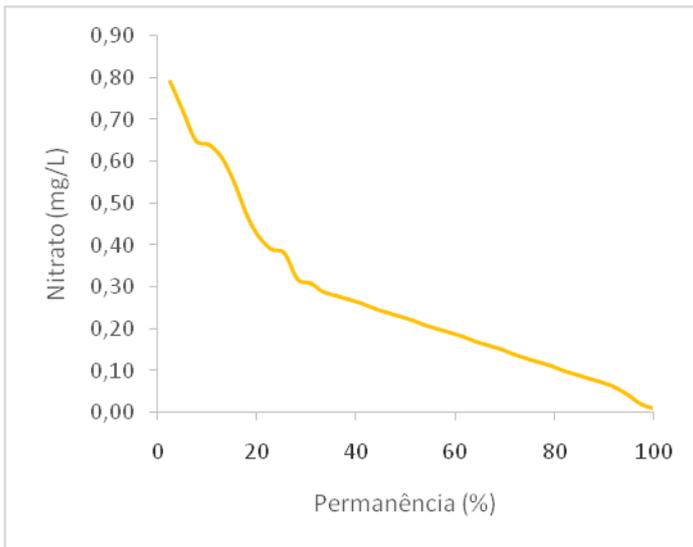
Através do **Gráfico 24** é possível verificar para o fósforo total que o parâmetro apresenta valores elevados ao longo de toda a série avaliada (acima de 0,10 mg/l), tanto nos períodos mais secos quanto nos chuvosos. Assim, além do lançamento de esgoto de Itabirito, há indícios de outras fontes poluidoras que disponibilizam fósforo na bacia com origem difusa e pontual.

Na **Tabela 8** são apresentados os valores médio, máximo e mínimo das concentrações de Nitrato, Nitrogênio Amoniacal e Fósforo Total, relativos ao período de abril de 2003 a março de 2013, para a estação BV035.

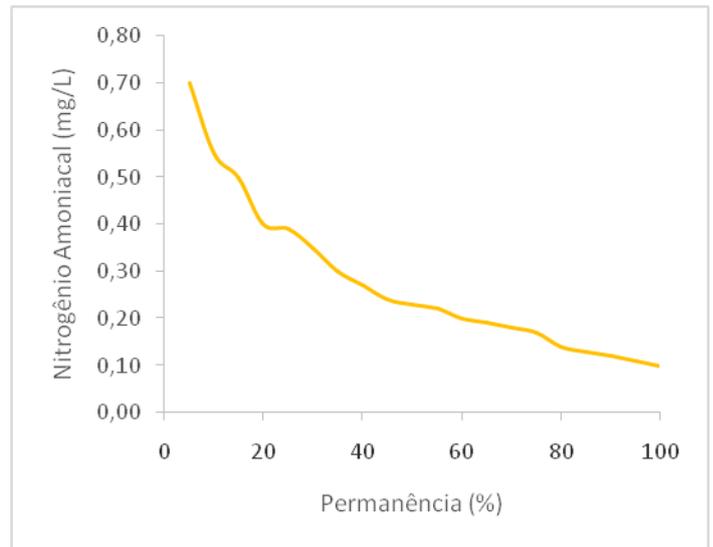
**Tabela 8: Valor médio, máximo e mínimo das concentrações de Nitrato, Nitrogênio Amoniacal e Fósforo Total da estação BV035**

	<b>Nitrato</b>	<b>Nitrogênio Amoniacal</b>	<b>Fósforo Total</b>
<b>Média</b>	0,16	0,49	0,15
<b>Valor máximo</b>	0,84	1,30	0,49
<b>Valor mínimo</b>	0,01	0,10	0,02

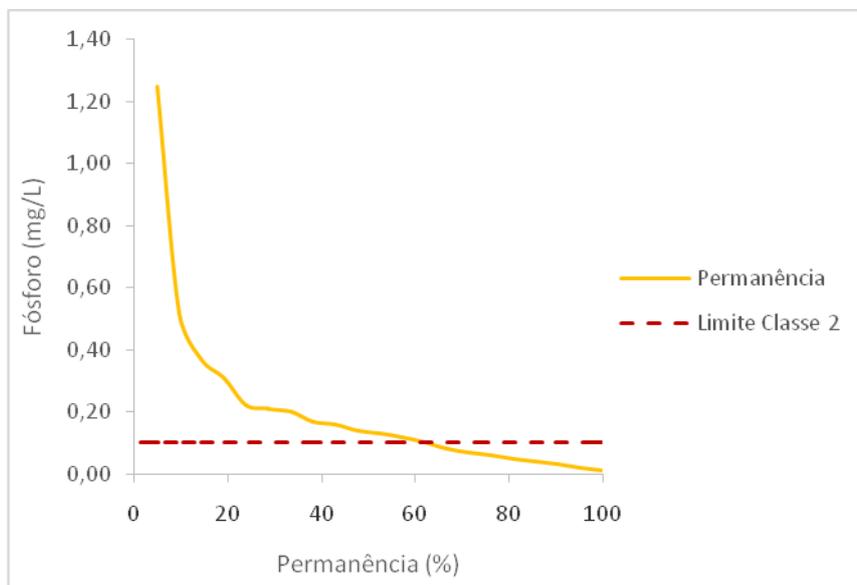
### 5.4 Estação BV037



**Gráfico 25: Curva de Permanência do Nitrato**



**Gráfico 26: Curva de Permanência do Nitrogênio Amoniacal**



**Gráfico 27: Curva de Permanência do Fósforo Total e limite de enquadramento**

A concentração dos parâmetros Nitrato e Nitrogênio Amoniacal se mantiveram dentro dos limites definidos pela legislação no trecho analisado, como mostram o **Gráfico 25** e o **Gráfico 26**.

Em relação ao Fósforo Total, a concentração do parâmetro ultrapassou o padrão de enquadramento definido para o corpo hídrico em 62% do tempo, segundo o **Gráfico 27**.

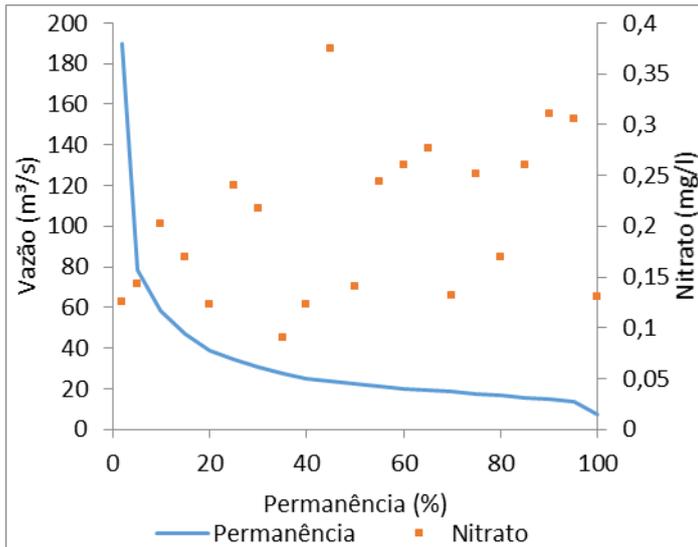
Na **Tabela 9** são apresentados os valores médio, máximo e mínimo das concentrações de Nitrato, Nitrogênio Amoniacal e Fósforo Total, relativos ao período de abril de 2003 a março de 2013, para a estação BV037.

**Tabela 9: Valor médio, máximo e mínimo das concentrações de Nitrato, Nitrogênio Amoniacal e Fósforo Total da estação BV037**

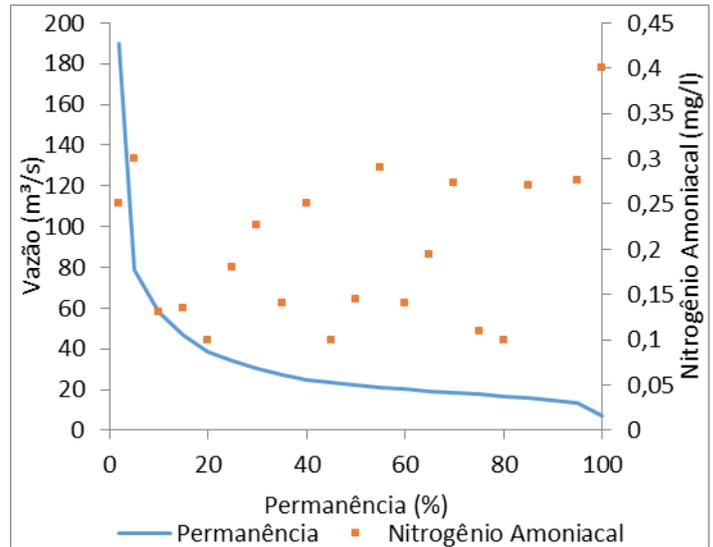
	<b>Nitrato</b>	<b>Nitrogênio Amoniacal</b>	<b>Fósforo Total</b>
<b>Média</b>	0,21	0,20	0,10
<b>Valor máximo</b>	0,79	0,70	1,25
<b>Valor mínimo</b>	0,01	0,10	0,01

A estação se encontra a jusante da foz do Rio Itabirito no Rio das Velhas, e a possível entrada de água de melhor qualidade, conforme dados da estação BV013, pode ter promovido a diluição da carga poluidora proveniente do rio Itabirito (BV035) em relação ao Fósforo Total e a desnitrificação da carga de Nitrogênio Amoniacal.

Para avaliar o tipo de fonte poluidora apresentado pelo trecho, os **Gráficos 28, 29 e 30** relacionam a curva de permanência da estação fluviométrica mais próxima com a concentração dos parâmetros de qualidade.

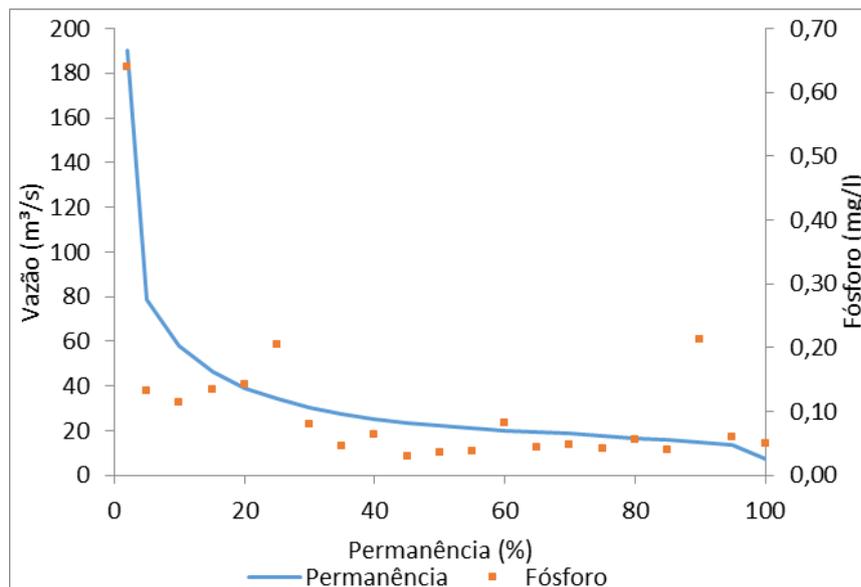


**Gráfico 28: Curva de Permanência da vazão e concentração de Nitrato**



**Gráfico 29: Curva de Permanência da vazão e concentração de Nitrogênio Amoniacal**

Os gráficos mostram que há uma dispersão dos dados de concentração de nitrato e nitrogênio amoniacal ao longo da curva de permanência, o que pode indicar a presença de fontes poluidoras pontuais e difusas.

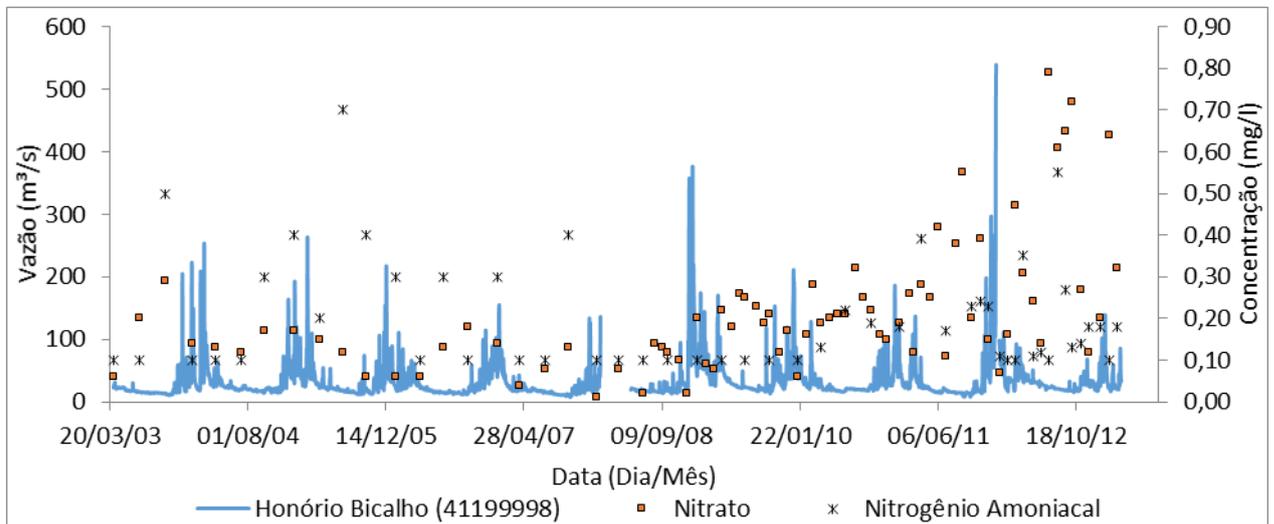


**Gráfico 30: Curva de Permanência da Vazão e Concentração de Fósforo Total**

No **Gráfico 30**, é possível observar que há uma tendência do aumento de fósforo com o aumento da vazão na estação monitorada. Isso pode indicar a existência de fontes difusas de poluição na bacia avaliada, haja visto que os maiores valores de fósforo ocorrem para as maiores vazões, com menor permanência no tempo.

O dado para a permanência de 2% é condizente com o valor observado na estação BV035, para 0,5% de permanência, e necessita de uma análise mais detalhada.

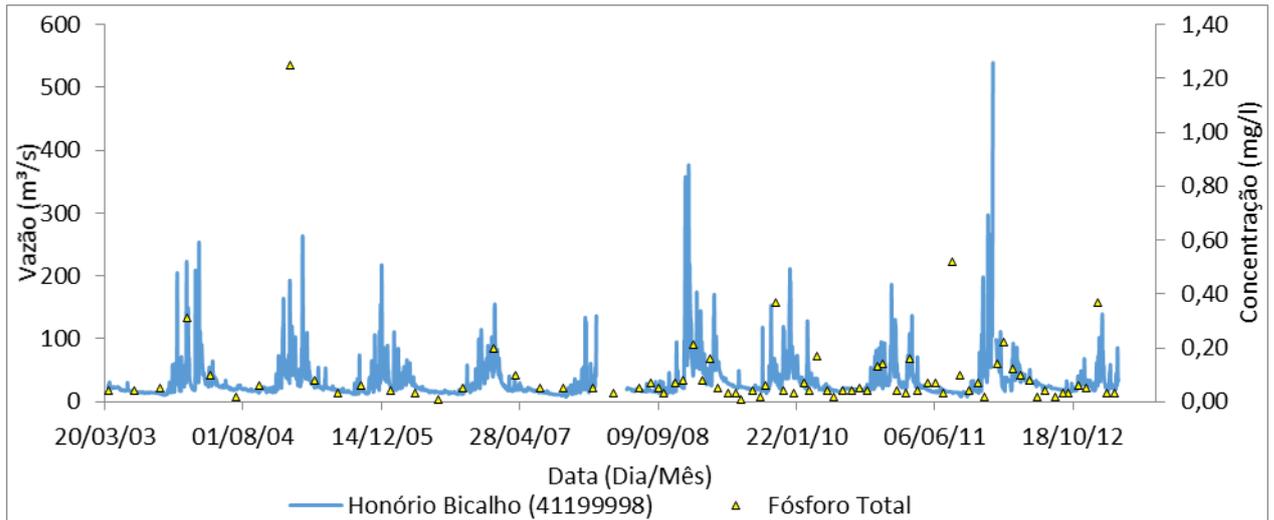
Os **Gráficos 31 e 32** apresentam a variação da vazão e da concentração dos parâmetros de qualidade ao longo do tempo para auxiliar a avaliação da natureza pontual e/ou difusa da fonte poluidora.



**Gráfico 31: Vazão e Concentração de Nitrato e Nitrogênio Amoniacal no período de abril de 2003 a março de 2013**

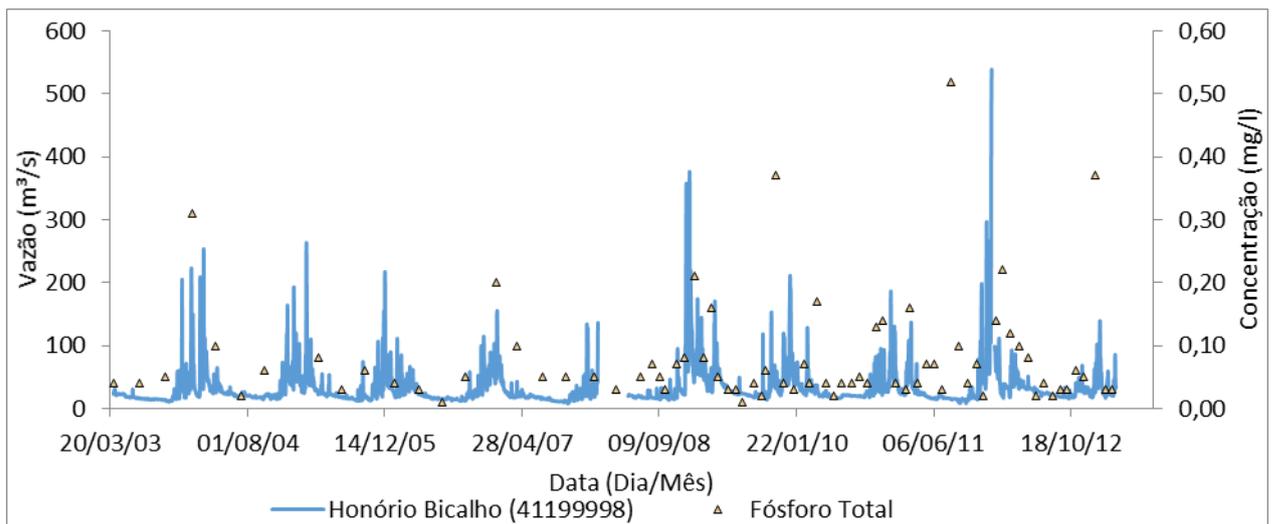
Através do **Gráfico 31** é possível verificar para o nitrato que no período de 2003 a 2008 o parâmetro apresentou concentrações baixas nas vazões de seca e ligeiramente elevadas na chuva, isto se inverte a partir de 2008, quando o monitoramento passa a ser mensal. Para o nitrogênio amoniacal o comportamento é mais disperso em todo o período. Além disso, pode-se perceber que no período compreendido entre os meses de fevereiro e abril de 2008 não foram realizados monitoramentos de vazão.

Assim, é possível identificar que as concentrações variam bastante ao longo da série histórica, nos períodos de seca e de chuva, o que pode indicar a existência de fontes difusa e pontuais no trecho monitorado, resultado também verificado nas estações de montante.



**Gráfico 32: Vazão e Concentração de Fósforo Total no período de abril de 2003 a março de 2013**

Através do **Gráfico 32** é possível verificar que o fósforo apresenta baixas concentrações nos períodos de baixa vazão e aumento da concentração nos períodos chuvosos, comportamento indicativo de fontes difusas no corpo d'água monitorado.



**Gráfico 33: Vazão e Concentração de Fósforo Total no período de abril de 2003 a março de 2013**

Para facilitar a visualização dos dados de monitoramento de fósforo da estação BV037, o **Gráfico 32** foi reproduzido acima (**Gráfico 33**), sem o dado em destaque (*outlier*) do dia 17/01/2005. É possível perceber com mais clareza os dados de maior concentração nos períodos de alta vazão.

Deve-se observar, pelos gráficos de vazão e da concentração dos parâmetros de qualidade ao longo do tempo, que os monitoramentos existentes no período de chuvas ocorrem na maioria das vezes no meio ou fim do período chuvoso. Em se tratando de fontes difusas, para sua adequada identificação o monitoramento deveria ocorrer no início das chuvas, pois a primeira lavagem do solo é geralmente a responsável pelo carreamento de grande quantidade de poluentes das fontes difusas.

De forma geral, as regiões onde se encontram as estações de monitoramento sofrem interferência de fontes difusas de poluição, lançamento de esgoto doméstico e de atividade da mineração. O planejamento das atividades, assim como a utilização de técnicas de manejo e uso do solo, poderiam reduzir a carga poluidora que interferem na qualidade dos cursos hídricos. A cobertura vegetal apresenta um papel fundamental na regulação dos parâmetros nitrato nitrogênio amoniacal e fósforo total. O tratamento do esgoto auxiliaria na obtenção de melhores índices de qualidade da água, e principalmente por contribuir para a normalização de parâmetros. O controle e acompanhamento do uso de agrotóxicos e fertilizantes em áreas agrícolas também contribuiriam para minimizar a contaminação dos cursos d'água.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

A avaliação da qualidade das águas na sub-bacia do rio das Velhas (Alto Velhas), através da aplicação do conceito de curva de permanência dos dados de monitoramento de Nitrato, Nitrogênio Amoniacal e Fósforo Total, pode ser feita utilizando dados de qualidade do projeto Águas de Minas, do IGAM, e os dados de vazão de estações fluviométricas selecionadas para quatro estações de qualidade avaliadas, obtidos no período de abril de 2003 a março de 2013.

Os estudos realizados indicaram que a metodologia utilizada é adequada para avaliação inicial do tipo de fonte poluidora (pontual ou difusa) e também para verificar o percentual de tempo de atendimento dos parâmetros ao enquadramento do corpo d'água, além de analisar o comportamento dos parâmetros através de toda a série histórica. Entretanto, não são suficientes para a adequada caracterização das fontes poluidoras responsáveis pela alteração da qualidade da água.

O uso da curva de permanência para avaliar o atendimento dos parâmetros Nitrato, Nitrogênio Amoniacal e Fósforo Total ao enquadramento dos cursos de água da sub-bacia do Alto do Rio das Velhas foi satisfatório, pois permitiu verificar a porcentagem de tempo em que os parâmetros não atendiam a legislação para o corpo hídrico. Os parâmetros nitrato e nitrogênio amoniacal estiveram em conformidade com a Resolução CONAMA 357/2005 e a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH 01/2008 em todas as estações. O parâmetro fósforo interferiu na qualidade das águas nas quatro estações de monitoramento por superar os valores estabelecidos na legislação.

A análise do comportamento das curvas de permanências de qualidade da água associado à frequência de vazão, de modo a identificar o tipo de fonte poluidora, auxiliou a esclarecer a presença da fonte poluidora difusa e/ou pontual nos trechos em que a estação se encontra, como por exemplo, a identificação da fonte pontual no trecho da estação BV013, por meio da concentração de fósforo. Além disso, a região em que a estação está localizada pôde ser associada às principais fontes de poluição pontuais ou difusas, como lançamento de efluentes sanitários, fontes difusas e atividades minerárias, estando os resultados de acordo com as fontes indicadas por IGAM (2013b).

Por outro lado, o próprio monitoramento realizado na Bacia do Rio das Velhas interferiu nas análises, de modo que não houve monitoramento de dados de qualidade e vazão em certos períodos ou havia poucos dados disponíveis para a avaliação. As análises da qualidade da água são realizadas em um dia, refletindo apenas as condições dos cursos no dia e na hora de sua coleta.

O monitoramento dos dados de vazão e de qualidade não são feitos no mesmo ponto e nos mesmos horários. Ou seja, na data de monitoramento da qualidade obtivemos a média diária da vazão na estação fluviométrica mais próxima. Em rios de cabeceira, a variação da vazão é muito grande quando da ocorrência de chuvas, o que dificulta a associação da vazão a qualidade da água. Desta forma, recomenda-se que o IGAM tente realizar medições de vazão simultâneas ao monitoramento das variáveis de qualidade.

A avaliação da continuidade e distribuição espaço-temporal de cada parâmetro através de toda série histórica de dados foi fundamental para auxiliar na identificação da fonte poluidora, pois forneceu uma visão mais ampla da distribuição dos dados do parâmetro nos períodos de seca e chuva.

Para dar continuidade ao trabalho, seria interessante utilizar técnicas de geoprocessamento para obter as características físicas da bacia nos pontos avaliados e verificar os usos do solo na região e a declividade do terreno, a qual interfere no escoamento superficial da água, carreando os poluentes, e o cadastro das fontes poluidoras na região. Além disso, o período de análise de dados poderia ser estendido, para avaliar se a não conformidade do parâmetro com a legislação foi resolvida.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, P. R. G. S. de. Enquadramento de corpos de água e estudo de impacto ambiental: vinculações com o planejamento de recursos hídricos. In: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2011, Macéio - AL. **Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. Porto Alegre -RS: Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH, 2011.

APRÍGIO, P. de O. **Avaliação de Modelos de Simulação de Cargas Difusas em Bacias Urbanas**. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2012. 113p.

BRASIL. Política Nacional do Meio Ambiente. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 31 ago. 1981.

BRASIL. Política Nacional de Recursos Hídricos. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 8 jan. 1997.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. RESOLUÇÃO CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 17 mar. 2005.

BRITES, A. P. Z. **Enquadramento dos corpos de água através de metas progressivas: probabilidade de ocorrência e custos de despoluição hídrica**. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, São Paulo, 2010. 177 p.

CBH–Rio das Velhas. Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas. Disponível em:<<http://www.cbhvelhas.org.br/index.php/more-about-joomla/a-bacia>>. Acesso em 05 de novembro de 2014.

CUNHA, G. F. C. et al. Integração entre curvas de permanência de quantidade e qualidade da água como uma ferramenta para a gestão eficiente dos recursos hídricos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 17, n. 4, p.369-376, out/dez. 2012.

CUNHA, G. F. C. et al. Resolução CONAMA 357/2005: análise espacial e temporal de não conformidades em rios e reservatórios do estado de São Paulo de acordo com seus enquadramentos (2005–2009). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 2, n. 18, p.159-168, abr/jun. 2013.

EUCLYDES, H. P., FERREIRA, P. A. **Recursos hídricos e suporte ecológico a Projetos Hidroagrícolas: Sub-Bacia do Alto e Médio São Francisco**. Viçosa: UFV; Belo Horizonte: RURALMINAS; Brasília: ANA, 2002. p.4-10. (Boletim técnico, 6)

FORMIGONI, Y. et al. Análise Crítica da curva de Permanência de Qualidade da Água com Base em Dado Históricos. In: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2011, Maceió-AL. **Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. Porto Alegre - RS: Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH, 2011.

HAUPT, J. P. de O. **Metodologia para Avaliação do Potencial de Produção de Poluição Difusa: Estudo de Caso da Bacia do Rio Jundiáí**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Sanitária), Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009. 127 p.

HIDROWEB. **Sistema de Informações Hidrológicas**. Agência Nacional de Águas - ANA (2015). Disponível em:<<http://hidroweb.ana.gov.br/default.asp/>>. Acesso em 02 de dezembro de 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE) (2010). **Indicadores demográficos**. Disponível em:<<http://www.ibge.gov.br/home/>>. Acesso em 23 de agosto de 2015.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM) - COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DAS VELHAS (CBH VELHAS). **Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas: Resumo Executivo/Dezembro 2004**. Belo Horizonte: IGAM, 2005. 229 p.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM). **Identificação de municípios com condição crítica para a qualidade de água na bacia do rio das Velhas - Relatório 2013**. Belo Horizonte: IGAM, 2013a. 49 p.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM). **Monitoramento da qualidade das águas superficiais no Estado de Minas Gerais – Relatório Trimestral (3º Trimestre de 2013)**. Belo Horizonte: IGAM, 2013b. 69 p.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM). **Qualidade das águas superficiais em Minas Gerais, 2014: Resumo Executivo**. Belo Horizonte: IGAM, 2015. 175 p.

KNUPP, E. A. N. **Usos de Métodos Estatísticos para Dados de Qualidade de Águas: Estudo de Caso, Rio das Velhas**. Tese (Doutorado em Ciências – Química), Departamento de Química, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2007. 224 p.

MAILLARD, P.; 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**, v. 86, n. 1, p. 158-170, jan.2008.

MEDEIROS, Y. D. P. et al. **Governança da Água na América Latina e Europa: Enquadramento dos Corpos d' Água no Semi-Árido Brasileiro**. In: Pedro Roberto Jacobi; Paulo de Almeida Sinisgalli. (Org.). *Governança da Água na América Latina e Europa: Atores Sociais, Conflitos e Territorialidade*. 100 ed. SP: ANNABLUME, 2009, v. III, p. 99-124.

MINAS GERAIS. Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM). Deliberação Normativa COPAM nº 10, de 16 de dezembro de 1986. Estabelece normas e padrões para qualidade das águas, lançamento de efluentes nas coleções de águas, e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado de Minas Gerais**. Minas Gerais, 10 jan. 1987.

MINAS GERAIS. Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM). Deliberação Normativa COPAM nº 20, de 24 de junho de 1997. Dispõe sobre o enquadramento das águas da bacia do rio das Velhas. **Diário Oficial do Estado de Minas Gerais**. Minas Gerais, 27 jun. 1997.

MINAS GERAIS. Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM); Conselho Estadual de Recursos Hídricos de Minas Gerais (CERH-MG). Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, de 05 de maio de 2008. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado de Minas Gerais**. Minas Gerais, 13 mai. 2008.

MORENO, P.; CALLISTO, M. Bioindicadores de qualidade de água ao longo da bacia do Rio das Velhas. In: FERRACINI V. L.; QUEIROZ S. C. N.; SILVEIRA M. P. **Bioindicadores de Qualidade da Água**. 1. ed. Jaguariuna: EMBRAPA, v. 1, cap. 5, 2004. 95-116 p.

PESSÔA, Z. B. **Efetivação do enquadramento de corpos d'água para fins de consumo humano em regiões semiáridas: avaliação conforme Resolução CONAMA 357/2005 e**

**Portaria MS 2914/2011.** Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2013. 123 f.

PIZELLA, D. G.; SOUZA, M. P. de. Análise da sustentabilidade ambiental do sistema de classificação das águas doces superficiais brasileiras. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.12, n. 2, p. 139-148, abr/jun.2007.

POLIGNANO, M. V. et al. **Uma viagem ao projeto Manuelzão e à bacia do Rio das Velhas–Manuelzão vai à Escola.** Belo Horizonte: Coleção Revitalizar, 2001.

POLIGNANO, M. V. et al. **Meta 2014 - Revitalização da Bacia do Rio das Velhas: Diagnóstico Preliminar.** Belo Horizonte: Projeto Manuelzão, 2012. 60 p.

SANTOS, N. A. P. **Uma abordagem metodológica para determinar a influência do solo e da cobertura do solo como fonte de poluição difusa na alteração da qualidade da água na Bacia do Rio das Velhas.** Dissertação (Mestrado em Geografia do Instituto de Geociências). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.120p.

SILVA, A. L. **A Utilização do Modelo WinHSPF no Estudo das Cargas Difusas de Poluição da Bacia do Ribeirão da Estiva, SP.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica), Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003. 179 p.

SOUTO, G. D'A. de B. **Lixiviado de aterros sanitários brasileiros - estudo de remoção de nitrogênio amoniacal por processo de arraste com ar ("*stripping*").** Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2009. 317 p.

TUCCI, C. E. M. (org.) **Hidrologia, Ciência e Aplicação.** 4. ed. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS, 1997.943 p.

TUCCI, C. E. M. (org.) **Regularização de Vazões.** Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS, 2002.256 p.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 4. ed. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2014. 472 p. (Volume 1).

ZEILHOFER, P.; LIMA, E.B.N.R. & LIMA, G.A.R. Spatial patterns of water quality in the Cuiaba river basin, Central Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 123, n 1-3, p. 41-62, nov. 2006.