

## **METODOLOGIA PARA DELIMITAÇÃO DE ÁREA DE INFLUÊNCIA DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA QUALIDADE DA ÁGUA DE RESERVATÓRIOS HIDRELÉTRICOS**

*Déborah Tavares Viana<sup>1</sup>, Camila Costa de Amorim<sup>2</sup>, Politácito Ricardo O. Santos<sup>3</sup>, Júlia França Alvarenga<sup>4</sup>, Jessyca Irene Guimarães<sup>4</sup>, Mônica M. Diniz Leão<sup>2\*</sup>, Sílvia M. A. Correa de Oliveira<sup>2</sup>*

**Resumo** - A delimitação de uma área no entorno de reservatórios hidrelétricos é uma importante ferramenta para avaliar a influência do uso e ocupação do solo na qualidade da água. A utilização da bacia hidrográfica como unidade de planejamento nem sempre permite o monitoramento ambiental apropriado uma vez que pode englobar uma grande área dificultando os levantamentos de campo. A utilização de ferramentas de informação geográfica aliadas às análises estatísticas multivariadas é de grande utilidade, a fim de diminuir a subjetividade na metodologia de delimitação dessas áreas. O presente trabalho tem como objetivo estabelecer uma metodologia para a definição da área de influência do uso e ocupação do solo sobre a qualidade da água no reservatório da UHE Nova Ponte, localizada no estado de Minas Gerais, na bacia do Araguari. Esse estudo visa aliar informações geográficas com análises estatísticas da qualidade da água, buscando uma metodologia menos subjetiva e viável para outros reservatórios. Sendo assim para identificação e mapeamento da área de influência do uso e ocupação do solo no entorno do reservatório, foi considerado um conjunto de variáveis socioambientais. A metodologia proposta neste trabalho se mostrou adequada para delimitar a área de influência do reservatório da UHE Nova Ponte. A delimitação dessa área de influência pode servir como uma ferramenta de gestão ambiental, auxiliando os estudos a respeito dos impactos na qualidade da água do reservatório, corroborando para ações de prevenção.

**Palavras-Chave:** Qualidade da água, Sistema de Informação Geográfica, Área de Influência.

## **METHODOLOGY FOR AREA INFLUENCE DELIMITATION BY LAND USE AND OCCUPATION ON THE WATER QUALITY IN HYDROELECTRIC RESERVOIRS**

**Abstract** - The delimitation of an area around the hydroelectric reservoirs is an important tool to assess the land use and occupation influence on the water quality. The use of geographic information tools allied to multivariate statistical analysis are very useful in order to reduce the methodology subjectivity when delimitating these areas. This paper aims to establish a methodology to define land use and occupation influence area on the water quality in the reservoir HPP Nova Ponte, located in the Minas Gerais state, in the Araguari basin. This study aims to bring together geographic information systems with statistical analysis pursuing a less subjective methodology and viable one for other reservoirs. Thus for identification and mapping of the land use and occupation influence area around the reservoir a set of environmental variables was considered. The proposed methodology in this paper was proved suitable to delimit the influence area of the reservoir. This area delimitation may be useful as an environmental management tool, helping studies related to the reservoir impacts and preventive actions.

**Keywords:** Water quality, Geographic Information System, Influence Area

1 – Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos (PG-SMARH), Especialista em Saneamento e Meio Ambiente – UFMG

2 – Professor Adjunto/Associado, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), PG-SMARH.

3 – Bolsista P&D402 ANEEL/CEMIG. Graduando em Geografia. Instituto de Geociências – UFMG.

4 - Bolsista P&D402 ANEEL/CEMIG. Graduanda em Engenharia Ambiental. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG.

\*Autor correspondente: monica@desa.ufmg.br

## INTRODUÇÃO

A demanda de usos múltiplos de água superficial têm aumentando globalmente, principalmente devido ao crescimento da população e à irrigação (MATSUMURA-TUNDISI & TUNDISI, 2011). Os lagos e reservatórios são mais vulneráveis que os rios uma vez que suas águas são menos recirculadas. A qualidade do ambiente lântico pode variar de acordo com a geologia do local, o clima, escoamento superficial, dentre outras diversas características (BU *et al*, 2010). No Brasil os reservatórios hidrelétricos ocupam extensas áreas, armazenam grandes volumes de água e acabam sofrendo pressões antrópicas diante do crescimento populacional e econômico do país. A delimitação de uma área no entorno de reservatórios hidrelétricos é uma importante ferramenta para avaliar a influência do uso e ocupação do solo, na qualidade da água. Sem essa delimitação essa tarefa torna-se difícil diante da extensão territorial tanto da bacia, quanto dos reservatórios. A definição de “uso e ocupação do solo”, segundo ROSA (2001), são as atividades humanas realizadas e as características que revestem o solo de um determinado local.

Para o estudo da área de influência de um empreendimento existem algumas definições descritas nas legislações ambientais brasileiras. Na avaliação de impacto ambiental a área de influência de um empreendimento consiste na área geográfica na qual são detectáveis os impactos diretos e indiretos de um projeto (SÁNCHEZ, 2006). A Resolução CONAMA 001/86 estipula que o estudo de impacto ambiental, deve definir os limites da área geográfica a ser direta ou indiretamente afetada, denominada área de influência do projeto (BRASIL, 1986). Já a Resolução CONAMA 303/02 (BRASIL, 2002) exige a elaboração do Plano Ambiental de Conservação e Uso do Entorno de Reservatório Artificial (PACUERA) para reservatórios de área igual ou superior a cinco hectares. O Novo Código Florestal, Lei 12.727 (BRASIL, 2012), vai ao encontro das resoluções citadas e institui ainda que os reservatórios artificiais de água destinados à geração de energia ou abastecimento público devem ter uma faixa de Área de Preservação Permanente - APP.

As áreas definidas nas legislações vigentes, como áreas de preservação permanente, zonas de amortecimento e áreas de influência tem como objetivo avaliar a influência do empreendimento no meio ambiente (físico, biótico e antrópico). Poucos são os estudos para delimitar a área que está de entorno que pode influenciar parâmetros de qualidade ambiental em um determinado empreendimento, como é o caso dos reservatórios de usinas hidrelétricas. É importante o estabelecimento da área de influência para assim realizar estudos e medidas de conservação mais objetivas. Sendo assim a utilização de ferramentas de informação geográfica aliadas às análises estatísticas multivariadas são de grande utilidade, a fim de diminuir a subjetividade na metodologia de delimitação dessas áreas.

Para estabelecer uma área de influência é importante considerar as informações já existentes da área. Nesse trabalho utilizou-se de informações do monitoramento de qualidade da água realizado pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM. Essas informações podem auxiliar no conhecimento do *background* da área e estabelecer áreas prioritárias de conservação. Os bancos de dados de monitoramentos ambientais são caracterizados pelo grande número de parâmetros, estações de monitoramento e longas escalas de temporais. Essa característica, comum aos bancos de dados de monitoramentos ambientais, faz com que os dados sejam complexos e de difícil análise e interpretação (ZHANG *et al*, 2011). Para a seleção de estações de monitoramento e parâmetros é necessário uma metodologia bem definida, já que a interação entre os parâmetros e pontos é complexa.

O presente trabalho tem como objetivo estabelecer uma metodologia para a definição da área de influência do uso e ocupação no solo sobre a qualidade da água no reservatório da UHE Nova Ponte, localizada no estado de Minas Gerais, na bacia do Araguari. Esse estudo visa aliar as informações dos sistemas geográficos com as análises estatísticas buscando uma metodologia menos subjetiva e viável para outros reservatórios.

## METODOLOGIA

A área de estudo foi delimitada como a área da bacia hidrográfica do rio Araguari, situada à montante do reservatório de Nova Ponte – MG, na UPGRH PN2 (Figura 1), uma vez que objetivava-se encontrar a influência do uso e ocupação do solo na qualidade da água do reservatório de Nova Ponte. Para avaliação da qualidade da água foram utilizados os dados físico-químicos de monitoramento realizado pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM, por meio do Projeto Águas de Minas, no período de 1997 a 2010. A seleção das estações de monitoramento levou em conta os afluentes do reservatório, dessa forma foram selecionados cinco estações: PB011, PB013, PB015, PB017 e PB019. Foi mantido um ponto à jusante do reservatório (PB019) para fins de comparação com os dados de montante.

A Usina Hidrelétrica de Nova Ponte está localizada na Bacia Hidrográfica do Rio Araguari, parte integrante da UPGRH PN2. A UHE de Nova Ponte foi construída em 1987 e iniciou sua operação no ano de 1994, com capacidade de geração de 510 MW. O reservatório possui uma área de 443 km<sup>2</sup> de espelho d'água com um volume de 12.792hm<sup>3</sup> (CEMIG, 2013). É considerada, portanto, a maior usina hidrelétrica presente no rio Araguari.

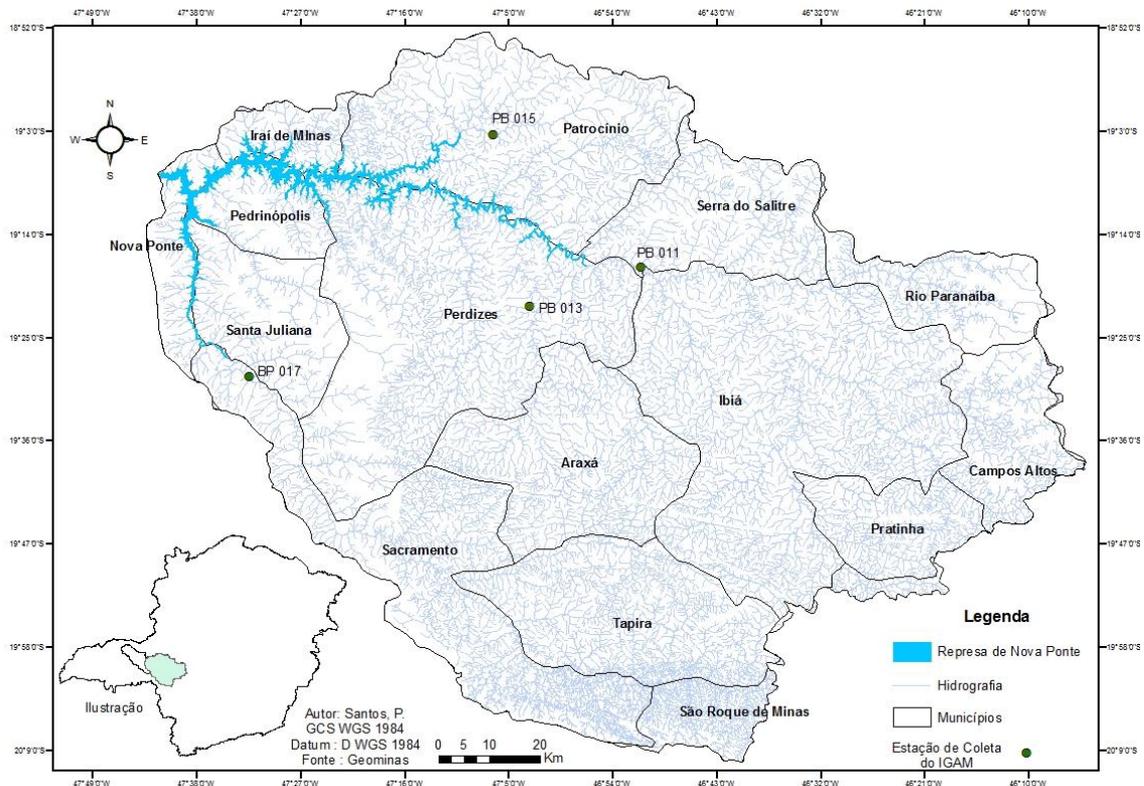


Figura 1 – Localização do reservatório de Nova Ponte e pontos de amostragem de qualidade da água, na bacia do Rio Araguari

Para a seleção dos parâmetros de maior importância para a análise da qualidade da água foi definida uma metodologia constituída de 4 etapas sendo elas: (1) - análise da estatística descritiva dos dados com os cálculos de média, mediana, percentil 10% e 90%, assimetria, % faltantes e % censurados; (2) - testes de correlação de Spearman, já que os dados não possuem distribuição paramétrica; (3) - gráficos do tipo Boxplot com o teste de Kruskal-Wallis para verificar as similaridades entre as estações; (4) - observação pontual, verificando dentre os parâmetros restantes quais realmente seriam interessantes ou não para os objetivos da análise. Cabe destacar que a última etapa é uma etapa subjetiva, porém essencial para a definição dos parâmetros cabíveis na análise. Os parâmetros também foram avaliados quanto a adequação a sua classe de uso preponderante. Os

corpos d'água da área de estudo são enquadrados conforme a Resolução CONAMA 357/2005 como classe II (IGAM, 2009).

A respeito do uso e ocupação do solo na bacia foram utilizados dados secundários cujas licenças foram formalizadas entre 1983 e 2013. Tais dados foram disponibilizados pelo SIAM e permitiram conhecer as características socioeconômicas dos municípios pertencentes à área de estudo. Foram utilizadas ainda informações sobre as outorgas concedidas pelo IGAM entre 2001 e 2011.

Após seleção dos pontos de qualidade da água no reservatório de Nova Ponte utilizou-se o Sistema de Informações Geográficas (SIG) com intuito de construir um acervo de dados que corroborassem com o objetivo deste trabalho. Para a elaboração dos mapas recorreu ao software ArcGis 9.3. As bases cartográficas digitais (rede hidrografia, curvas de nível e limites da bacia hidrográfica e municipais, uso e ocupação do solo) e a imagem de satélite RapidEye-2010-2011, resolução de 5m, da área de estudo, foram obtidos junto ao Instituto Estadual de Florestas de Minas Gerais (IGAM).

## RESULTADOS

### *Qualidade da água*

De acordo com os cálculos realizados para a estatística descritiva foi identificado que a grande parte dos parâmetros não apresentou distribuição normal, portanto foi considerado que os dados apresentam distribuição não paramétrica. Todos os parâmetros com mais que 50% de dados censurados foram excluídos do banco de dados, com exceção da DBO e N-NH<sub>3</sub>, que mesmo possuindo mais que 50% de censurados, permaneceram por serem parâmetros importantes para a análise da qualidade da água. Para a segunda etapa da seleção de parâmetros foi realizado o teste de correlações de Spearman para identificar as variáveis que se correlacionam fortemente, podendo ser utilizada apenas uma das variáveis. A partir das correlações foram excluídos os parâmetros: Alcalinidade de Bicarbonato, Coliformes Totais, Dureza de cálcio, Dureza de magnésio, %ODsat e pH laboratório que apresentaram coeficientes de correlação significativos ( $p < 0,05$ ) com parâmetros semelhantes.

Para os 32 parâmetros restantes, foram realizados gráficos do tipo boxplot para verificar a variabilidade dos parâmetros em cada uma das estações. Para verificar se os dados variam de forma semelhante nos pontos amostrais também foi realizado o teste de Kruskal-Wallis, com 95% de confiança. Através da análise dos gráficos e dos resultados do teste de KW percebeu-se que os parâmetros DBO, nitrogênio amoniacal, temperatura do ar e CT não têm medianas significativamente diferentes entre as estações. Isso poderia ser um indicativo de que o parâmetro não está sofrendo grandes variações entre os pontos de coleta. Por esse motivo os parâmetros temperatura do ar e CT foram excluídos. Os parâmetros DBO e nitrogênio amoniacal foram mantidos no banco de dados por serem parâmetros reconhecidamente importantes para a qualidade da água. A última etapa constitui em excluir parâmetros que não são relevantes para o objetivo desse trabalho de acordo com os conhecimentos específicos na área. Dessa forma foram excluídos treze parâmetros: Amônia NI, Bário, Cálcio, Cloreto, Magnésio, Nitrito, N-NH<sub>3</sub>, Potássio, Sódio, Sólidos Totais, Temperatura da água, temperatura do ar e CT.

De acordo com os gráficos e as estatísticas descritivas pode-se perceber que a qualidade da água dos afluentes do reservatório está de maneira geral dentro dos níveis classificados para a Classe 2. Alguns parâmetros excedem o valor máximo permitido (coliformes, cor, fósforo e turbidez) mostrando que a região está sofrendo pressões antrópicas e naturais (Figura 2). Pode-se inferir que a cor e a turbidez estão infringindo a legislação nas estações chuvosas, o que é esperado para a qualidade das águas de rios e lagos. Percebe-se nos gráficos que a estação PB013 varia de forma diferente das outras estações. Os valores de diversos parâmetros (coliformes, alcalinidade, condutividade, dureza, fósforo, nitrato, SDT) estão mais altos do que as demais estações. Essa análise inicial indica a possibilidade de haver fontes pontuais e difusas de poluição na região do córrego Capivara (correspondente ao PB013). Os parâmetros que estão com concentrações altas no

PB013 podem ser indícios de descargas de efluentes industriais e domésticos, e arraste de fertilizantes e dejetos animais.

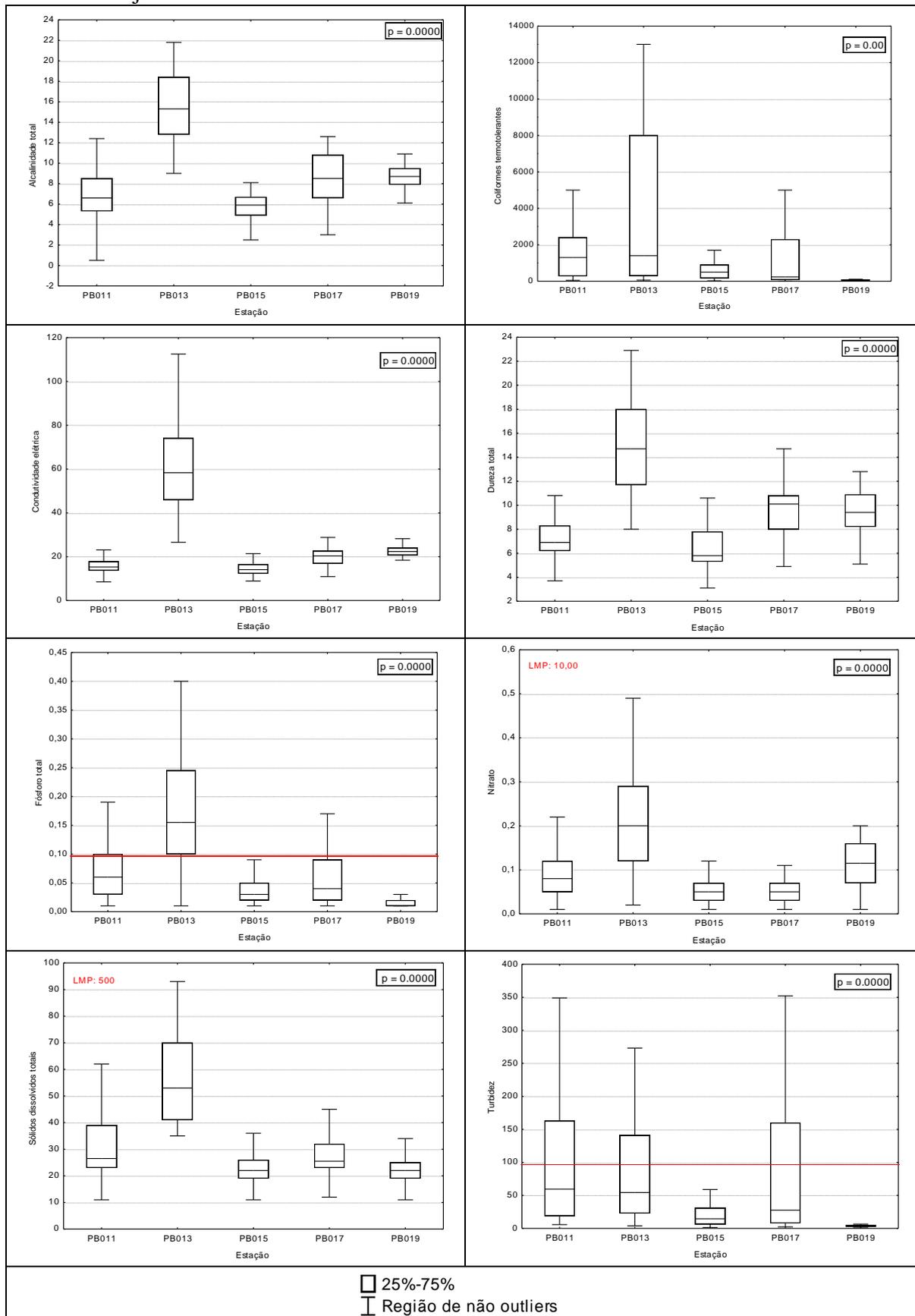


Figura 2 – Gráficos do tipo Boxplot para 8 parâmetros de qualidade da água selecionados.

### Uso e ocupação do solo

De acordo com o que foi apresentado, percebe-se que a qualidade da água do reservatório da UHE Nova Ponte sofre alterações de acordo com o uso e ocupação de sua área de influência. Quanto às atividades licenciadas, pode-se observar na Figura 3 que mais de 60% dos empreendimentos licenciados na área à montante da UHE Nova ponte é de atividades agrossilvipastoris. A análise inicial da qualidade da água corrobora com os dados de ocupação do solo, pois mostra que há parâmetros como fósforo, nitrato e coliformes que estão com suas concentrações elevadas e são indicadores de atividades agrícolas e pastagem. Além disso, pode-se identificar no gráfico uma porcentagem significativa de atividades industriais, minerárias o que pode estar alterando a qualidade da água na estação PB013.

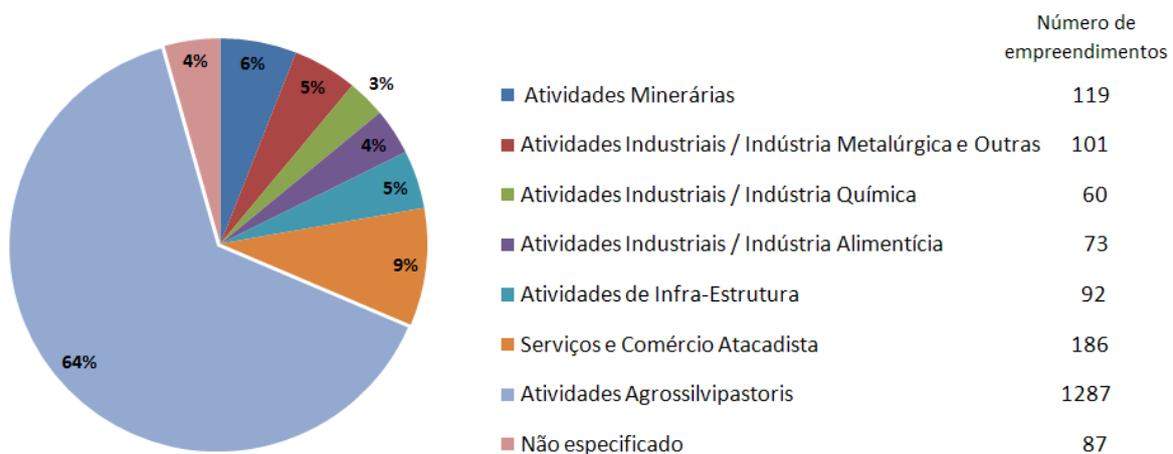


Figura 3: Classificação das atividades da área de influência do reservatório da UHE Nova Ponte cujas licenças foram formalizadas entre 1983 e 2013 segundo o SIAM

De acordo com os dados referentes às outorgas concedidas pelo IGAM, no período de 2001 a 2011, foi feito um mapa com os usos preponderantes de água à montante da UHE Nova Ponte (Figura 4). Dentre os diversos usos dos recursos hídricos, a irrigação corresponde ao uso de maior significância espacial e quantitativa com 71% dos requerimentos registrados. Percebe-se também a presença expressiva de atividades minerárias, principalmente nas cidades de Sacramento, Ibiá, Patrocínio, Perdizes, Santa Juliana, Araxá e Nova Ponte. As atividades industriais estão presentes nas cidades de Santa Juliana e Tapira de forma significativa.

A respeito das condições de saneamento nas cidades que compõem a bacia, apesar de a maioria da população se concentrar em áreas urbanas, aquelas que se encontram em área rural apresentam parte considerável de seu sistema de saneamento considerado como inadequado ou semi-adequado, de forma que é possível que haja lançamento de efluentes domésticos nos cursos d'água, contribuindo para a diminuição de sua qualidade. Especialmente as cidades maiores e mais próximas ao reservatório, como Patrocínio, Santa Juliana e Perdizes.

### Definição da área de influência

A delimitação de áreas de influência em estudos ambientais é considerada uma etapa complexa, pois para este tipo de tarefa existe a dificuldade de elaborar limites para os possíveis impactos ambientais e de mesmo modo compreender a própria dinâmica natural dos fenômenos ambientais. Neste trabalho utilizou-se como terminologia área de influência direta para especificar uma determinada localidade em que o uso e ocupação solo desta área esta relacionado diretamente com a qualidade da água do reservatório.

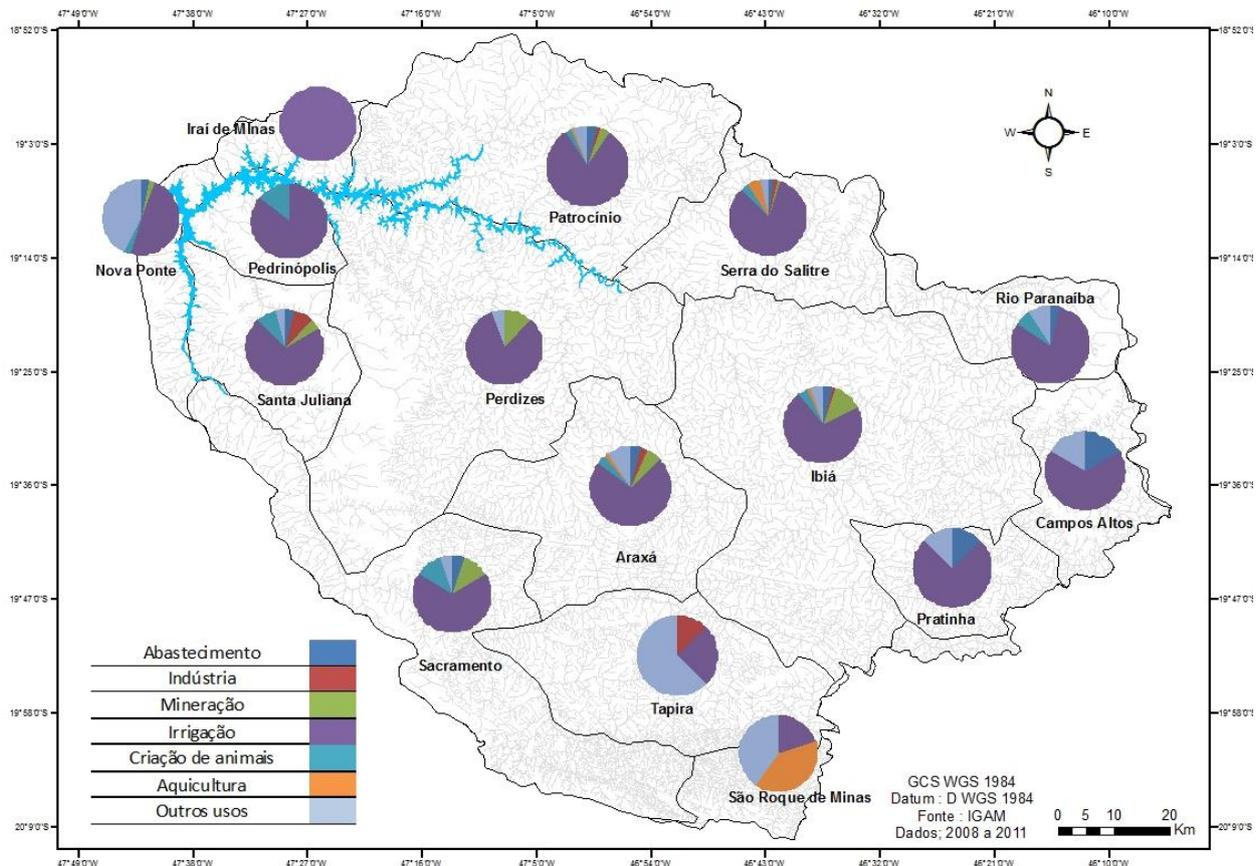


Figura 4 – Mapa dos usos preponderantes de água na alto-medio curso da bacia do rio Araguari.

A Resolução CONAMA Nº 001/1986, ao especificar limites da área geográfica a ser afetado por certo empreendimento ou fenômeno, privilegiou a bacia hidrográfica como unidade referencial. A arquitetura dessa delimitação é natural e extremamente importante nos estudos ambientais, nesse sentido, a bacia hidrográfica é considerada um dos mais eficazes recortes espaciais para o planejamento e a gestão ambiental (RODRIGUES & ADAMI, 2005; LANNA, 1995; SANTOS, 2004; BOTELHO; 1999).

No entanto para execução desse trabalho a bacia hidrográfica não se tornou representativa, por razões de escala espacial e pelo objetivo proposto. Isto porque não deve-se negligenciar outras variáveis, tais como as sociais, econômicas, políticas e culturais, que podem não satisfazer tais limites naturais, demandando outros recortes que melhor integrem as inter-relações biofísicas e socioeconômicas (SANTOS, 2004). Portanto, nem sempre o recorte definitivo de uma Área de Influência deverá concordar com os limites de uma bacia hidrográfica, pois ao decorrer do estudo pode se tornar um procedimento metodológico inadequado.

Sendo assim para identificação e mapeamento da área de influência do uso e ocupação do solo no entorno do reservatório da UHE-Nova Ponte (Figura 6), foi considerado um conjunto de variáveis socioambientais que se tornaram representativas, sendo elas: dados físico-químicos da qualidade da água e escolha dos pontos de amostragem; características do uso e ocupação do solo na área de estudo; características socioeconômicas, demográficas e de saneamento básico, tipos de empreendimentos e número de outorgas registradas na área de estudo.

Diante do conjunto de variáveis socioambientais determinados gerou-se um mapa com uma área de influência a partir de um *buffer* 5 km do reservatório da UHE-Nova Ponte uma vez que esta foi a distância necessária para que os pontos de amostragem selecionados estivessem presentes nos limites dessa área. A partir dessa delimitação a ideia é que se faça um levantamento detalhado do

uso e ocupação do solo com imagens de satélite e visitas a campo gerando mapas em escalas mais apropriadas (1:5.000m).

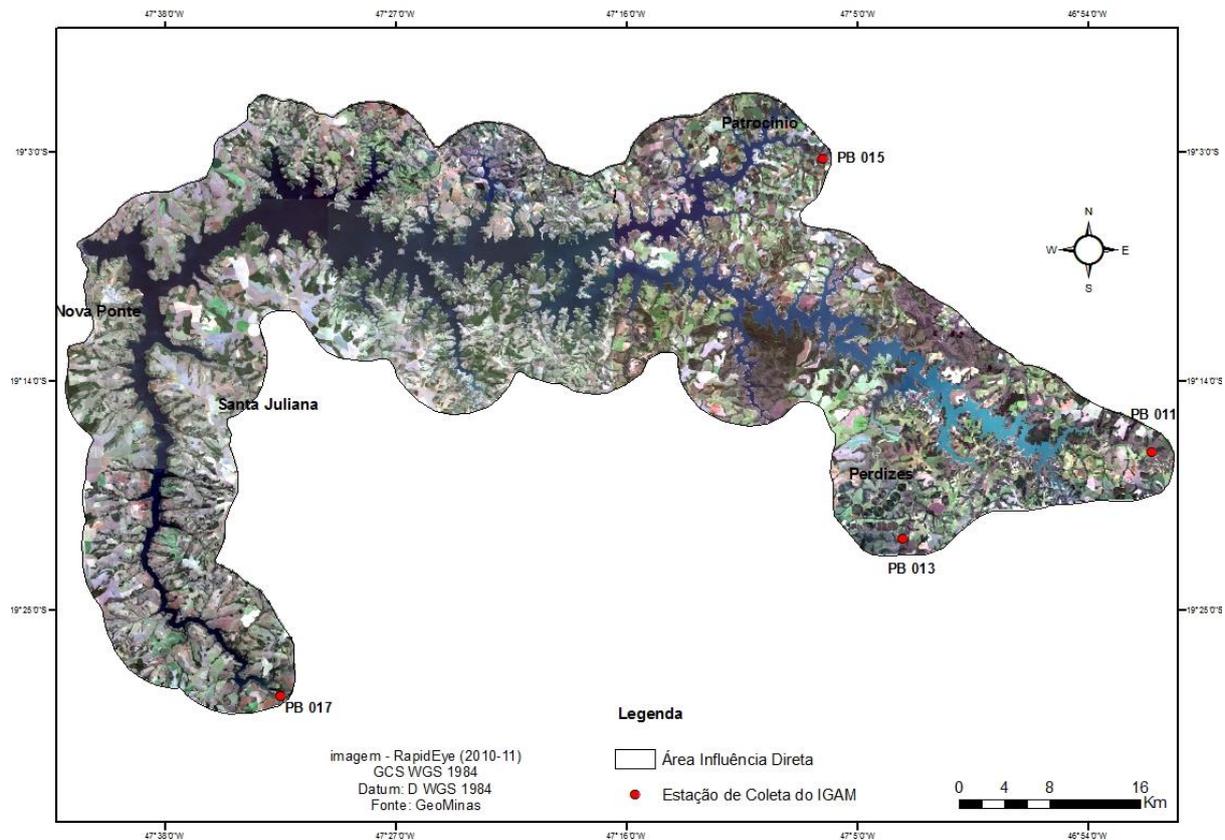


Figura 6 – Área de Influência do uso e ocupação do solo na qualidade da água do reservatório da UHE-Nova Ponte.

## CONCLUSÕES

A metodologia proposta neste trabalho se mostrou adequada para delimitar a área de influencia do reservatório da UHE Nova Ponte. As informações utilizadas do monitoramento de qualidade da água, outorgas, saneamento e uso e ocupação do solo aliadas com os SIG foram muito importantes, pois serviram de base e auxílio para a definição da área a ser estabelecida como área de influencia. Com o embasamento dessas diversas fontes de dados foi possível estabelecer uma metodologia mais objetiva e prática. A delimitação dessa área de influencia pode servir como uma ferramenta de gestão ambiental, auxiliando os estudos a respeito dos impactos causados no reservatório e também as ações de prevenção. Destaca-se a importância de estudos que visem desenvolver metodologias para auxiliar as ações voltadas para o âmbito ambiental. Com metodologias bem definidas evita-se falhas e ineficácia das ações, contribuindo não só para o lado financeiro das ações mas também para a preservação do meio ambiente.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro e as bolsas concedidas pela ANEEL/CEMIG, FAPEMIG, CNPQ e PrPq-UFGM.

## REFERÊNCIAS

- BRASIL. Lei 12.727, de 17 de outubro de 2012. Publicada no D.O.U. em 17 de outubro de 2012.
- BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução n. 001 de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. Publicado no D.O.U. de 17 de fevereiro de 1986.

- BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução n. 303 de 20 de março de 2002. Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente. Publicado no D.O.U. em 13 de maio de 2002.
- BOTELHO, R. G. M. Planejamento ambiental em microbacia hidrográfica. In: GUERRA, A. J. T.; BU, Hongmei; TAN, Xiang; LI, Siyue; ZHANG, Quanfa. Temporal and spatial variations of water quality in the Jinshui River of the South Qinling Mts., China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, n. 73, p. 907-913, 2010.
- LANNA, A. E. L. Gerenciamento de bacia hidrográfica: aspectos conceituais e metodológicos. Brasília: Ibama, 1995.
- RODRIGUES, C.; ADAMI, S. Técnicas fundamentais para o estudo de bacias hidrográficas. In: ROSA, R. , 2001. Metodologia de interpretação visual de dados, Introdução ao Sensoriamento Remoto, Ed. Da Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Minas Gerais, 201 p.
- SÁNCHEZ, L. E. *Avaliação de Impacto Ambiental: Conceitos e Métodos*. São Paulo: Oficina de. Textos, 2006, 495p.
- SANTOS, R. F. dos. Planejamento ambiental: teoria e prática. São Paulo: Oficina de textos, 2004.
- MATSUMURA-TUNDISI, Takako; TUNDISI, José Galizia (Ed.). **Lagos e Reservatórios: Qualidade da Água: O Impacto da Eutrofização**. São Paulo: UNEP-IETC/ILEC/IIIE, 2011.
- ZHANG, Xuan; WANG, Qishan; LIU, Yanfang; WU, Jing; YU, Miao. Application of multivariate statistical techniques in the assessment of water quality in the Southwest New Territories and Kowloon, Hong Kong. *Environ Monit Assess*, n. 173, p. 17-27, 2