

## **Sistemas de informações geográficas como ferramenta para avaliação ambiental integrada de potenciais hidrelétricos**

Maíra Dzedzej<sup>1</sup>  
Bárbara Karoline Flauzino<sup>1,2</sup>  
João Malta Álvares<sup>1,2</sup>  
Afonso Henrique Moreira Santos<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> iX Consultoria e Representações Ltda  
CEP- 37.501-052 - Itajubá - MG, Brasil  
{afonso, barbara, joão.malta, maira}@ixconsult.com.br

<sup>2</sup> Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI  
Caixa Postal: 50 - CEP: 37500-903 - Itajubá – MG

**Abstract.** The hydropower plants are responsible for much of the energy generated in the country, there is also a large hydro potential in Brazilian rivers. This form of power generation is considered renewable and fits into the concept of sustainable development, however, social and environmental impacts from the implementation of hydropower projects are known and widely discussed, especially when it comes to large plants. In this context, study the environmental analysis of potential hydropower was incorporated at various stages of the studies implementation, in order to, identify environmental factors and that will restrict or impede construction, to obtain the best option for the environment, evaluate the role and of social and environmental impacts, contribute to improving the design and functionality of the enterprises in order to reduce overall costs, minimize conflicts and assist in preserving the environment. To fulfill these functions to a satisfactory and reliable level, it the study has increasingly used the techniques, tools and applications of Geographic Information Systems in the process of environmental assessment, since they provide procurement, integration, visualization and data analysis of natural resources, its uses and protection, offering greater security and speed in decision making. This paper presents some applications of GIS in environmental assessment processes, developed mainly in the steps of estimating hydropower potential, hydropower inventory, basic design and environmental licensing.

**Palavras-chave:** Geographic Information System, Integrated Environmental Assessment, Hydroelectric Potential.

### **1. Introdução**

A geração de energia por meio de empreendimentos hidrelétricos possui grande importância no Brasil, dado que a matriz energética do país é baseada na hidroeletricidade. Segundo o MME, em 2009 os sistemas hidrelétricos geraram 391 TWh, representando 77,3% da oferta interna de energia elétrica, sendo 83,8% de origem nacional. De acordo com Sousa (2000), no contexto nacional a hidroeletricidade é a melhor alternativa de geração de energia, por se tratar, sobretudo, de uma fonte renovável e disponível no país.

A implantação de empreendimentos hidrelétricos causa diversos impactos ao ambiente, e, de maneira geral, a magnitude desses impactos está diretamente associada ao porte do projeto. Segundo Sousa (2000), a geração de energia hidrelétrica é um dos sistemas que se enquadram no conceito de desenvolvimento sustentável, pois promove o uso racional e sustentável dos recursos hídricos. Para tanto, é necessário que as questões ambientais sejam contempladas desde o início do projeto, passando pela etapa de implantação e perdurando ao longo da vida útil da central, de forma a minimizar os impactos negativos e maximizar os positivos. Assim, a avaliação dos aspectos ambientais tornou-se uma variável de decisão nos estudos de prospecção de potenciais, inventário de cursos d'água, projeto básico entre outros.

A utilização de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) como ferramenta de avaliação ambiental tem apresentado ampla disseminação nos últimos anos, uma vez que oferece mecanismos para combinação de várias informações, permitindo a manipulação e análise de grande volume de informações, além de consultas, recuperação, visualização e representação de dados georreferenciados. De acordo com Miranda (2005) os SIG auxiliam na avaliação de impactos ambientais e nas simulações de cenários alternativos, podendo ser aplicados com sucesso no monitoramento e na detecção de mudanças em áreas urbanas ou no campo, previsão de potencial de uso de recursos naturais, modelagem da interação de vários componentes do ambiente para predição de efeitos de mudanças, entre outros. Todavia, segundo Carvalho *et al.* (2007) os recursos do SIG, combinados com as energias renováveis, têm sido utilizados de forma modesta no país, devido a diversas barreiras, tais como: dificuldade de acesso aos bancos de dados gerais no Brasil, ausência de um padrão metodológico que possa ser adotado pelos setores envolvidos, diferenças nas escalas de trabalho, etc.

## 2. Objetivo

O presente artigo tem por objetivo apresentar as principais formas de uso dos SIG no processo de avaliação ambiental de potenciais hidrelétricos, evidenciando a importância dessa ferramenta como instrumento integrador de informações espaço-temporais, complementando os levantamentos de campo e oferecendo subsídio para a escolha do melhor aproveitamento sob a ótica ambiental.

## 3. Metodologia

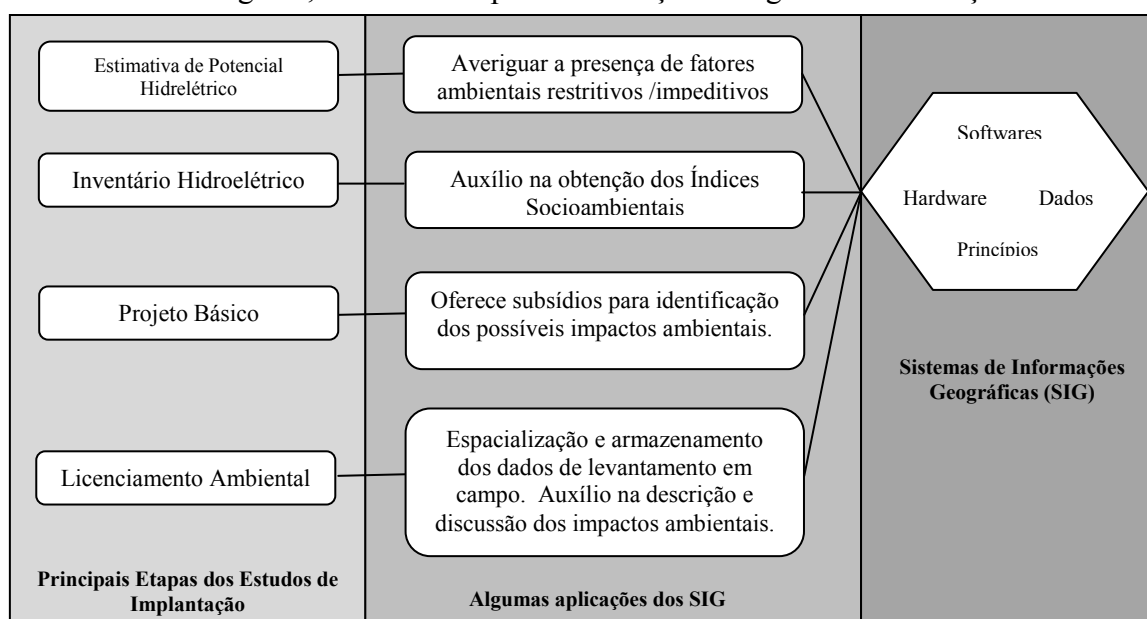
As metodologias de avaliação ambiental de potenciais hidrelétricos diferem de acordo com as principais etapas dos estudos de implantação, podendo os SIG serem utilizados como ferramentas de análise em todas as etapas (Figura 1).

Na primeira fase, *Estimativa de Potencial Hidrelétrico*, cujo objetivo é verificar a vocação da bacia para geração elétrica (MME, 2007), as interfaces SIG são utilizadas, sobretudo, para constatar a presença de fatores ambientais restritivos e ou impeditivos à implantação de empreendimentos hidrelétricos. Na segunda etapa, *Inventário Hidroelétrico*, em que há a concepção e análise de várias alternativas de partição de queda para a bacia (MME, 2007), as ferramentas dos SIG auxiliam na obtenção dos índices socioambientais oriundos da Avaliação Ambiental Integrada (AAI). Na fase de *Projeto Básico*, na qual há o detalhamento do aproveitamento concebido nas etapas anteriores (MME, 2007), os SIG auxiliam, principalmente, na análise espacial, oferecendo subsídios para a identificação dos possíveis impactos decorrentes da instalação do empreendimento. Na etapa de *Licenciamento Ambiental*, os SIG são utilizados para o planejamento das atividades de campo, espacialização, armazenamento e análise das informações dos levantamentos realizados, auxiliam nos estudos de vazão ecológica e outros processos que embasam a descrição e discussão dos impactos gerados. Além disso, atuam na elaboração de mapas temáticos em todas as fases de estudos. Para que seja possível a utilização dos SIG nos processos de avaliação ambiental é fundamental que se conte com a presença de alguns itens básicos, tais como: banco de dados georreferenciados, softwares de geoprocessamento, equipamentos que comportem o volume de informações, profissionais habilitados, dentre outros.

## 4. Principais aplicações dos SIG nos processos de avaliação ambiental

### 4.1. Formação de Banco de Dados

O ponto de partida da avaliação ambiental de potenciais hidrelétricos é a coleta de dados, utilizados para o embasamento das análises, devendo os dados estar sistematizados, organizados e georreferenciados. Nesse sentido, segundo o MME (2007), a utilização de sistemas geográficos de informações proporciona maior agilidade e flexibilidade para as análises requeridas, além de auxiliarem na formação de banco de dados digitais, fundamental para atualização e resgate de informações.



**Figura 1:** Esquematização das contribuições dos SIG nos processos de avaliação ambiental nas principais etapas dos estudos de implantação de empreendimentos.

As informações que integram um banco de dados podem possuir diversas origens, podendo ser adquiridas em campo (ex: pontos de observações de avifauna obtidos por GPS, localização de seções topobatimétricas obtidas por estação total, etc.), da digitalização de cartas topográficas, fotografias aéreas, imagens de satélites, entre outros. Todavia, a grande parte dos dados, sobretudo aqueles relacionados a fatores ambientais, são adquiridos junto a órgãos públicos, empresas estatais, agências governamentais especializadas, universidade e institutos de pesquisa (Tabela 1).

É importante salientar que os dados obtidos devem ser oriundos de fontes confiáveis, estarem com projeções e escala exigida pelo estudo, e claro, nos formatos específicos dos softwares de geoprocessamento (ex: .shp, .tiff, .kmz, .dbf, etc.).

Tabela 1: Alguns dados utilizados na avaliação ambiental e as fontes de referência.

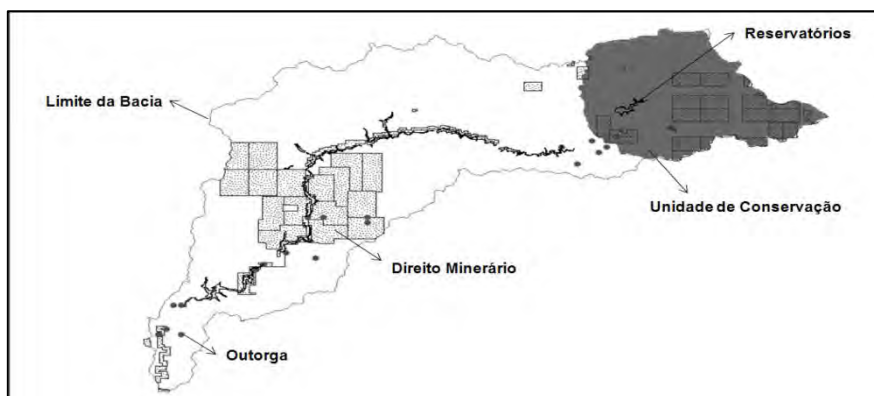
| Tipo de Informação  | Fontes de Referência  |
|---|---|
| Unidades de conservação e Áreas prioritárias para conservação da biodiversidade | Instituto de Meio Ambiente e Recursos Naturais (IBAMA), Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICBio), Ministério do Meio Ambiente (MMA). |
| Direito minerário   | Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM)  |
| Outorga de recursos hídricos  | Órgãos de recursos hídricos estaduais (ex: Instituto de Águas Mineiras - IGAM, Departamento de Águas e Energia Elétrica de São Paulo -DAEE)                 |
| Dados hidrometeorológicos, geológicos, hidrogeológicos e minerais               | Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM)   |
| Vias de circulação  | Departamento Nacional de Infra-estrutura e Transporte (DNIT)  |
| Aptidão e uso das terras  | Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA)   |
| Terras Indígenas  | Fundação Nacional do Índio (FUNAI)  |

|   |   |
|---|---|
| Sensoriamento remoto  | Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (INPE)                  |
| Informações socioambientais, geodésicas, topográficas e dados do projeto RADAMBRASIL. | Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) |

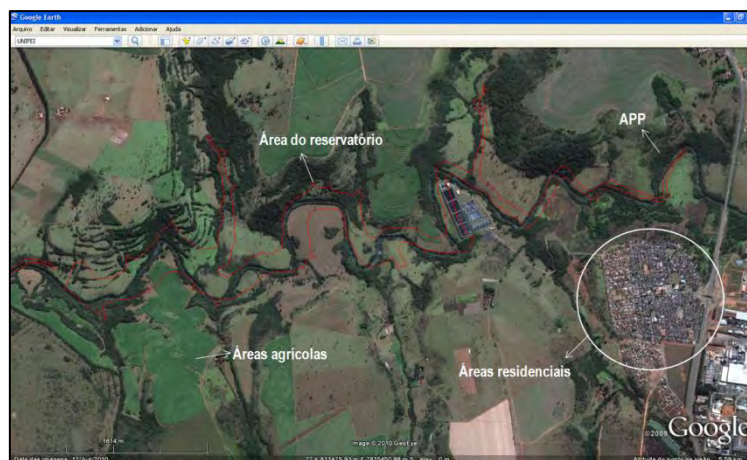
## 4.2. Análises ambientais nas principais etapas de estudo de implantação de aproveitamentos hidrelétricos

### 4.2.1. Estimativa de Potencial Hidrelétrico

De acordo com o Manual de Inventário Hidroelétrico de Bacias Hidrográficas (MME, 2007), os estudos para implantação de um aproveitamento hidrelétrico se iniciam com a *Estimativa do Potencial Hidroelétrico*, na qual se procede a análise preliminar das características da bacia, frente aos aspectos topográficos, hidrológicos, geológicos e ambientais, no sentido de verificar sua vocação para geração de energia elétrica. Trata-se de um estudo baseado em dados secundários e realizado, majoritariamente, em escritório. Nessa etapa a análise ambiental, se destina, principalmente, à averiguação de fatores ambientais que podem ser restritivos ou impeditivos à instalação de empreendimentos hidrelétricos, tais como unidades de conservação, terras indígenas, comunidades tradicionais, outorgas, entre outros. De maneira geral, essa análise é realizada em programas de geoprocessamento por meio da sobreposição dos locais onde foram verificados potenciais hidrelétricos e das informações de interesse (Figura 2 e Figura 3).



**Figura 2:** Verificação de interferências ambientais com utilização de software de geoprocessamento, uma das ferramentas dos SIG.



**Figura 3:** Verificação de fatores ambientais próximos que sofrerão interferência com a implantação do possível aproveitamento hidrelétrico.

#### 4.2.2. Inventário Hidrelétrico

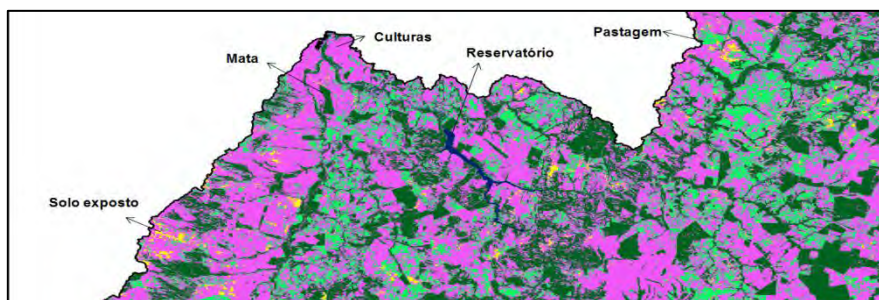
Nessa fase há a concepção e análise de várias alternativas de partição de queda para bacia hidrográfica, formadas por um conjunto de projetos, que são comparadas entre si, visando selecionar aquela que apresente melhor equilíbrio entre custos de implantação, benefícios energéticos e impactos ambiental e de conflitos, além da identificação das potencialidades dos aproveitamentos socioambientais (MME, 2007). É nessa etapa que figura a Avaliação Ambiental Integrada, que possui dentre os principais objetivos: o desenvolvimento de indicadores de sustentabilidade, a delimitação de áreas de fragilidade

Os conceitos, aplicações, ferramentas e técnicas dos SIG são utilizados em diversas fases da AAI, auxiliando, sobretudo, na obtenção de índices, por meio da elaboração de mapas temáticos, extração e visualização de dados, cálculos de áreas, cruzamento de informações dentre outros. A seguir serão descritas algumas das aplicações dos SIG, como, por exemplo, na elaboração de mapas de uso e ocupação do solo, determinação de APPs, delimitação de subáreas de fragilidade e espacialização de dados de outorga. Todavia, suas funções vão além das aqui apresentadas, devendo ser direcionadas segundo os objetivos e necessidades do estudo.

##### *Mapa de Uso e Ocupação do Solo*

Segundo Silva, Santos e Abdon (2006) o mapeamento do uso e ocupação do solo é uma maneira de identificar e espacializar as formas de uso da terra, tornado possível o dimensionamento, a descrição e avaliação das porções territoriais efetivamente utilizadas e ocupadas por atividades humanas. Na AAI esse recurso permite a análise e identificação dos fatores de pressão e impactos sobre o ambiente, a compreensão dos elos entre as características do meio biofísico e socioeconômico, e, principalmente, estimar a supressão de biomassa das alternativas de partição de queda, oferecendo subsídios para avaliação dos possíveis impactos da implantação da alternativa selecionada.

Para elaboração do mapa de uso e ocupação do solo são utilizadas, de forma geral, imagens de satélite disponibilizadas no site do INPE (LANDSAT, CBERS e RESOURCESAT), devendo estar atualizadas, com ausência ou pouca cobertura de nuvens. Essas imagens são georreferenciadas e tratadas na combinação 432-RGB, a fim de destacar as áreas de vegetação nativa. Com amostras obtidas em campo, e, também por interpretação visual, é possível a realização da classificação supervisionada, cujo resultado é o mapeamento das principais formas de uso e ocupação da área de interesse (Figura 4).

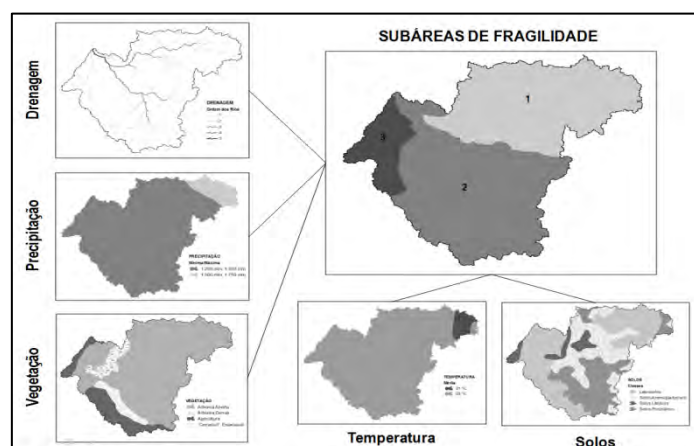


**Figura 4:** Mapeamento de uso e ocupação do solo em bacia hidrográfica na qual será inserido o empreendimento.

### *Determinação de Áreas de Fragilidade*

A análise de fragilidade é parte integrante da AAI e tem por objetivo diagnosticar a sensibilidade de uma dada bacia hidrográfica frente aos possíveis impactos de implantação de um empreendimento hidrelétrico. Resulta em Índices Ambientais, que variam entre zero (mínimo impacto) e um (máximo impacto), expressando a intensidade dos impactos nos diferentes componentes-sínteses (ex: ecossistemas aquáticos, ecossistemas terrestres, modos de vida, organização territorial, etc.).

Para se proceder a análise de fragilidade é necessária a divisão da bacia em subáreas, que, segundo o MME (2007) caracterizam-se por recortes territoriais contínuos que apresentam relações e processos particulares, distinguindo-as das demais. De maneira geral, são áreas da bacia hidrográfica que possuem características homólogas em relação aos parâmetros do meio físico e biótico. A delimitação das subáreas de fragilidade é realizada em softwares de geoprocessamento, por meio do cruzamento de informações espaciais referentes à ordem hidrográfica, temperatura, precipitação, tipo de solo, vegetação, relevo, e, quando necessário, uso e ocupação do solo (Figura 5).



**Figura 5:** Dados utilizados para delimitação das subáreas de fragilidade, por meio do cruzamento de informações em interface SIG.

### *Análise de Áreas de Preservação Permanente (APP)*

A determinação das áreas que devem ser destinadas à preservação permanente, segundo Resolução CONAMA n° 303/02, assim como o atual uso dado a esses locais é muito importante na avaliação ambiental das alternativas de partição de queda. Tal informação indica como essas áreas estão sendo usadas e possibilita a quantificação da supressão de biomassa nas APP, baseando a análise e discussão dos possíveis impactos oriundos da implantação dos empreendimentos hidrelétricos propostos. Pode-se, ainda, traçar as APPs do futuro reservatório, de acordo com Resolução CONAMA n°302/02, possibilitando análise prévia dos impactos relacionados à recuperação, em certos casos, da área de entorno do lago.

As APPs são delimitadas com auxílio da ferramenta *buffer*, todavia existem instrumentos com função semelhantes nos demais programas de geoprocessamento. A drenagem é a base do traçado das áreas de preservação, sendo necessário inserir a largura dessas áreas que está em função do tamanho do rio.

### *Espacialização de Dados de Outorgas*

Para análise ambiental dos recursos hídricos é essencial o conhecimento da existência ou não de outorgas nos locais dos aproveitamentos propostos, assim como informações referentes ao uso (se consultivo ou não), vazão outorgada, número do processo, data de vencimento da concessão, entre outros. Atualmente, ainda há carência na disponibilização desse tipo de dados, e quando existem, estão na forma de tabelas. Nesses casos, pode-se utilizar de algumas ferramentas de softwares de geoprocessamento para importação e visualizar espacialmente os dados disponíveis na tabela. Salienta-se que as informações de outorgas devem estar georreferenciadas e na projeção específica do projeto.

#### **4.2.3 Projeto Básico**

Na fase de Projeto Básico, o aproveitamento concebido nas etapas anteriores é detalhado, definindo, com maior precisão, as características técnicas do projeto, as especificações das obras civis e equipamentos, assim como a identificação dos impactos ambientais oriundos da implantação do aproveitamento proposto e os programas socioambientais, visando o processo de licenciamento ambiental (MME, 2007).

A avaliação ambiental nessa etapa difere-se da realizada na fase de Inventário Hidrelétrico, por ter enfoque sob um único aproveitamento, procurando identificar com maior precisão as interferências do processo de instalação sobre os aspectos ambientais da bacia e ou da área diretamente afetada. Assim, a utilização dos instrumentos e funções dos SIG será semelhante à da etapa anterior, porém estarão direcionadas somente ao aproveitamento selecionado (ex: quantificação de biomassa suprimida, outorgas existentes na área do reservatório, interferência em APPs, delimitação da APP do reservatório, etc.).

#### **4.2.4 Licenciamento Ambiental**

Na etapa de Licenciamento Ambiental, o aproveitamento concebido e detalhado tecnicamente nas fases anteriores, será objeto de estudos ambientais específicos, com vistas à obtenção das licenças necessárias para implantação e operação do empreendimento. As técnicas, instrumentos e aplicações dos SIG são de grande importância nessa etapa, uma vez que permite a análise espacial e visualização dos dados obtidos, sobretudo, em campo, oferecendo, assim, subsídios para melhor descrição e discussão dos impactos ambientais da instalação do projeto sobre os meios físico, biótico e socioeconômico.

As imagens de alta resolução são utilizadas para planejamento das campanhas *in loco*, delimitação preliminar dos fragmentos florestais e focos erosivos existentes na área do reservatório, conhecimento prévio do uso e ocupação do solo na região, estabelecimento das seções topobatimétricas que serão utilizadas nos estudos de vazão ecológica, entre outros.

As interfaces SIG auxiliam, ainda, na espacialização e visualização dos pontos de observação e ou captura dos grupos faunísticos (obtidos em campo), permitindo conhecer com exatidão os locais em que se encontram espécies de relevante interesse ecológico, e, assim, identificar suas relações com o meio (Figura 6). Pode-se ainda, com ferramentas de geoestatística e dados de campo, elaborar mapa de qualidade da água e até mesmo mapas pedológicos.



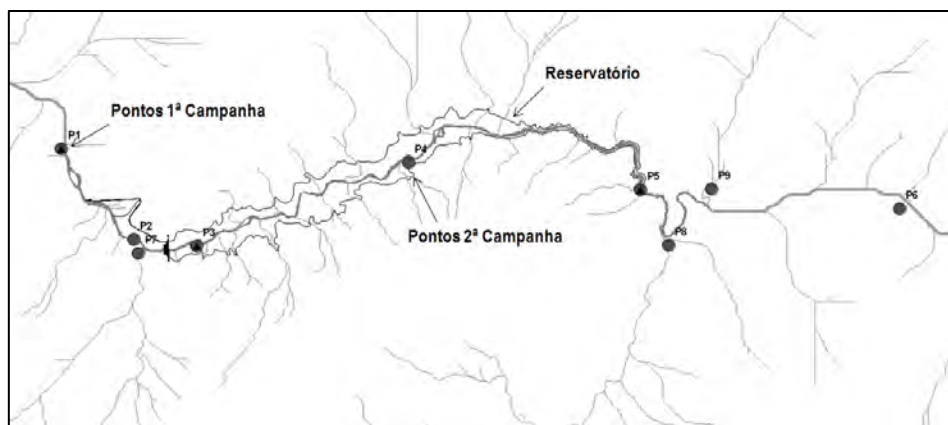


Figura 6: Espacialização dos pontos de amostragem de campanha de levantamento ictiofaunístico.

#### 4. CONCLUSÃO

Independente da etapa de estudo de implantação de projetos hidrelétricos, os SIG, seus conceitos, aplicações e ferramentas são essenciais para a elaboração de análises ambientais, uma vez que permitem a integração, processamento, armazenamento e espacialização de dados relacionados aos recursos naturais, suas formas de uso e proteção, oferecendo subsídios para a avaliação mais eficiente e segura dos impactos socioambientais oriundos da implantação de empreendimentos hidrelétricos. Além disso, auxiliam na formação de um banco de dados georreferenciados, proporcionando análises complexas e integração de dados de várias fontes, que podem ser utilizados em projetos de diversas áreas. Entretanto, salienta-se que essa ferramenta apesar de facilitar e agilizar o processo de avaliação ambiental, não deve ser vista como forma de substituição dos trabalhos de campo e sim como complementação, contribuindo para o aprimoramento da avaliação ambiental como instrumento na tomada de decisão no cenário de planejamento energético.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Brasil. Ministério de Minas e Energia. **Manual de Inventário de Bacias Hidrográficas**. Rio de Janeiro, 2007.
- Brasil. **Ministério de Minas e Energia. Resenha Energética Brasileira – Exercício de 2009 (Preliminar)**. Brasília, 2010.
- Carvalho, P. C.; Júnior, J. S. A.; Jucá, S. C. S.; Neto, M. R. B.; Santos, M. A. **Sistemas de Informações Geográficas para Energias Renováveis**. I Congresso Brasileiro de Energia Solar. Fortaleza, 2007.
- Miranda, J. I. **Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas**. Embrapa Informação Tecnológica. Brasília, 2005.
- Silva, J. S. V.; Santos, R. F.; Abdon, M. M. **Avaliação do Uso da Terra na Bacia do Alto Taquari em 2000. Impactos Ambientais e Socioeconômico na Bacia do Rio Taquari – Pantanal**. Embrapa Pantanal. Corumbá, 2006.
- Sousa, W.L. **Impacto Ambiental de Hidrelétricas: Uma Análise Comparativa de Duas Abordagens**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2000.