

## **XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS**

### **FERRAMENTA COMPUTACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA BASE HIDROGRÁFICA OTTOCODIFICADA**

*Saulo Aires de Souza<sup>1</sup> & Dirceu Silveira Reis Junior<sup>2</sup>*

**RESUMO** – A gestão participativa de recursos hídricos exige transparência na informação de recursos hídricos. O conhecimento das características vinculadas à rede hidrográfica e ao território da área de contribuição é fundamental para a solução de qualquer problema envolvendo a gestão dos recursos hídricos. A Agência Nacional De Águas (ANA) desenvolveu uma base hidrográfica ottocodificada (BHO) no qual tem como característica essencial ser topologicamente consistente, representando corretamente o fluxo hidrológico dos rios, por meio de trechos conectados e com sentido de fluxo. O artigo apresenta uma ferramenta computacional implementada no sentido de operacionalizar a BHO da ANA possibilitando de modo simples, rápido e usando solução livres de baixo custo no sentido extrair as principais características vinculadas à rede hidrográfica brasileira. Foi apresentado inúmeras funcionalidades no sentido de obter, manipula e operacionalizar a BHO da ANA. A ferramenta BHO mostrou-se um SAD fundamental, apresentando inúmeros recursos e funcionalidades que a tornam essencial no apoio ao desenvolvimento de projetos, estudos e pesquisas hidrometeorológicas.

**ABSTRACT**– The participatory water resources management requires a transparent mechanism to share information. The knowledge about many aspects of the territory within a given river basin is key to address many water resources problems. The National Water Agency of Brazil (ANA) developed a hydrographic basis based on Otto Pfafsteter coding system (BHO), which is topologically consistent, representing properly the water flows in rivers through connected reaches and associated flow directions. This paper presents a computational tool designed to extract and manipulate different types of information from the BHO in a simple and intuitive way. The developed tool is based on free software.

**Palavras-Chave** – Sistemas de Apoio à Decisão (SAD), Base Hidrográfica Ottocodificada (BHO).

---

1) Aluno de doutorado do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos da Universidade de Brasília (PTRAH/UnB) e Especialista em Recursos Hídricos da Agência Nacional de Águas. E-mail: saulo.souza@ana.gov.br.

2) Professor Adjunto do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos da Universidade de Brasília (PTRAH/UnB). Email: dirceu.reis@gmail.com

## 1 – INTRODUÇÃO

A gestão participativa de recursos hídricos exige transparência no compartilhamento das informações sobre os recursos hídricos. As plataformas de Sistemas de Apoio à Decisão devem proporcionar canais para uma comunicação eficiente com o público, onde os dados sejam apresentados da maneira mais conveniente, junto com as decisões de gestão, relatórios e outros tipos de informação (Verdin, 1997; Verdin, 1999)

Um arcabouço para sistemas de apoio à decisão (SAD) em Recursos Hídricos deve ter como meta facilitar a compreensão do ciclo hidrológico natural e das consequências da interferência humana sobre o recurso, de tal forma que se torne um instrumento para a gestão integrada e participativa da água (Collischonn, 2014).

Dois tipos principais de estruturas de dados devem ser representados no arcabouço do setor de recursos hídricos: a espacial, que descreve a estrutura da terra em geral e, em particular, a estrutura de rede hídrica e dos aquíferos, responsáveis pela distribuição da água, e a temporal, refletindo a variação das diversas grandezas, naturais ou referentes à atividade humana, que afetam sua disponibilidade (Lyra, 2001; Verdin, 1997; Verdin, 1999).

A Lei 9.433, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, definiu que a “Bacia Hidrográfica” é a “unidade territorial” para a operacionalização dessa política e para a atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Logo, os Planos Básicos de Recursos Hídricos deverão ser elaborados por bacia hidrográfica, para cada Estado e para o país, o que torna imprescindível a definição de um sistema único de classificação e codificação das bacias hidrográficas brasileiras.

O conhecimento das características vinculadas à rede hidrográfica e ao território da área de contribuição é fundamental para a solução de qualquer problema envolvendo a gestão dos recursos hídricos (Gomes e Barros, 2011; Lyra, 2001). Este questionamento pode assumir diferentes formas, como por exemplo: qual a área da bacia em questão? que cidades estão a montante de um ponto na bacia? que usinas estão a jusante do ponto? qual a forma de cobertura do solo na bacia a montante de um ponto?

A resposta a essas perguntas iniciais permite a solução de problemas do tipo: qual a vazão em um ponto onde não se tem estação de medição de vazão? Qual a vazão consumida a montante de um determinado ponto? Que qualidade de água pode-se esperar em função do desenvolvimento de uma região? Como se comportam as vazões máximas em função de uma determinada ocupação do solo?

Na verdade, muito poucas questões colocadas no dia-a-dia da gestão de recursos hídricos poderiam ser resolvidas sem o conhecimento da hidrografia e sua topologia e das áreas de contribuição a ela associadas.

Questões como essas, cujas respostas no passado dependiam de trabalho manual sobre cartografia em papel, são hoje respondidas por computador, através de Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Essa resposta, no entanto, depende da disponibilidade de produtos intermediários, com um certo custo de obtenção. A informação da conformação de bacias, por exemplo, é normalmente derivada dos modelos digitais de terreno, cuja obtenção a partir do mapeamento convencional envolve as etapas de digitalização das curvas de nível, interpolação e edição do modelo resultante, com um razoável dispêndio de tempo e mão de obra (Lyra, 2001).

O próprio uso da informação geográfica digital, mesmo onde ela está disponível, envolve também custos razoáveis. Os algoritmos de delimitação de bacia a partir de um MDT, ou de análise de uma rede hidrográfica já pronta, para a determinação de características como o que está a montante ou a jusante, são em alguns casos disponibilizados em sistemas de informações geográficas de alto custo. O processamento em si, no caso da delimitação de bacias, envolve outros produtos intermediários, como um modelo de elevação hidrologicamente consistido, para fazer face a erros e outros problemas do próprio modelo, sendo, portanto, um processo dispendioso e demorado, exigindo máquinas de maior capacidade e mais caras muitas vezes não disponíveis (Almeida, 2006; Verdin, 1997; Verdin, 1999).

Por outro lado, em relação a outros tipos de informações empregadas na gestão de recursos hídricos, as informações geográficas de interesse têm a característica de serem praticamente invariantes ao longo do tempo. Características geográficas como a conformação da rede hídrica ou do próprio terreno ou o tipo de solos, por outro lado, podem ser consideradas imutáveis. O cálculo de uma bacia de contribuição, imutável, demandando um sistema sofisticado e um grande tempo de computação, não deve ser feito a cada vez que se deseja a informação e sim armazenado e apresentado rapidamente quando solicitado.

Em 19 de março de 2003, foi publicado no Diário Oficial da União a Resolução nº 30 do CNRH, aprovada em 11 de dezembro de 2002, adotando, para efeito de codificação das bacias hidrográficas no âmbito nacional, a metodologia desenvolvida pelo Pfafstetter (1989). Nesse sentido a Agência Nacional de Águas (ANA) desenvolveu uma base hidrográfica otocodificada (BHO) no qual tem como característica essencial ser topologicamente consistente, representando corretamente o fluxo hidrológico dos rios, por meio de trechos conectados e com sentido de fluxo. Com essa base é possível, por exemplo, obter a área de contribuição de qualquer ponto do território nacional, ou efetuar a navegação topológica em qualquer parte da rede hidrográfica, indentificando o que está a montante e jusante.

De acordo com o exposto acima, o artigo apresenta uma ferramenta computacional implementada para operacionalizar a BHO da ANA, possibilitando de modo simples, rápido e usando solução livres de baixo custo, extrair as principais características vinculadas à rede hidrográfica brasileira.

## **2 – METODOLOGIA**

### **2.1 – BHO**

A Base Hidrográfica Ottocodificada (BHO) utilizada pela ANA na gestão de recursos hídricos é obtida a partir do mapeamento sistemático brasileiro. A BHO é gerada a partir da cartografia digital da hidrografia do país e organizada de modo a gerar informações hidrologicamente consistentes. Para tanto, a BHO representa a rede hidrográfica em trechos entre os pontos de confluência dos cursos d'água de forma unifilar (ANA,2019).

Cada trecho é associado a uma superfície de drenagem denominada ottobacia, à qual é atribuída a codificação de bacias de Otto Pfafstetter (Pfafstetter,1989). Uma característica essencial dessa representação é ser topologicamente consistente, isto é, representar corretamente o fluxo hidrológico dos rios, por meio de trechos conectados e com sentido de fluxo. Essa base é derivada da BHO multiescalas 2017 e contém apenas os cursos de águas com área maior ou igual a 5km<sup>2</sup> e todos as drenagens de domínio federal. O elemento lógico curso de água compreende todas as linhas de drenagem, que desde a foz até a sua nascente, possui no seu traçado de acordo com a maior área a montante. Os vértices das áreas de drenagem foram simplificados para 100m a partir da base original.

A BHO é o núcleo dos dados de hidrografia do módulo de inteligência geográfica do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH). Possibilita integrar os diversos planos de informação a respeito dos usos e da disponibilidade hídrica dos cursos d'água, associando dados tabulares aos elementos espaciais, preservando a consistência hidrológica das informações. Dessa forma, a localização espacial do dado é considerada, o que é essencial a um sistema de fluxos unidirecionais como a rede hidrográfica. Possibilita consultar trechos a montante e a jusante de um determinado ponto de interesse, por meio de consulta tabular, funciona como uma base de interoperabilidade entre as instituições responsáveis pela gestão dos recursos hídricos, possibilitando a integração a partir de um mesmo critério e referência geográfica (ANA, 2019).

Outra possibilidade é poder ser utilizada para subsidiar diversos modelos e sistemas, tais como modelos de chuva-vazão e os subsistemas do SNIRH, permitindo que informações físicas, socioeconômicas e hidrológicas, entre as quais disponibilidade e demanda pelos recursos hídricos, sejam associadas às áreas de contribuição hidrográfica.

A BHO foi desenvolvida a partir da cartografia digital vetorial da hidrografia do país, na qual foram feitas edições de modo a conferir consistência topológica para uma correta representação da

rede hidrográfica, por meio de trechos conectados e com sentido de fluxo, conforme o manual de construção da base hidrográfica otocodificada da ANA (ANA, 2007). Cada trecho da BHO foi codificado pelo sistema de Otto Pfafstetter (otocodificação), para o que foi produzida a identificação do curso d'água principal de cada subsistema hidrográfico, obtido pela maior área de contribuição a montante de cada confluência, tendo como unidades elementares de drenagem as *ottobacias* geradas a partir de modelo digital de elevação hidrologicamente consistente (SRTM).

A aquisição da BHO requer a construção de uma rede unifilar, topologicamente consistente quanto aos aspectos de conectividade, em formato de grafo (árvore) e sem confluências duplas. Esse requerimento também se aplica às tradicionais análises de rede em ambiente SIG (ANA, 2007).

As representações de cursos d'água por linhas duplas ou por polígonos são adequadas para a visualização e a produção cartográfica. Entretanto, para a análise de redes e para a construção da BHO, os cursos d'água devem ser representados por segmentos de linha ou arcos (que representam os trechos de curso d'água), conectados por nós (que representam a nascente, as confluências e a foz).

Uma característica importante da BHO é que podem ser incorporados níveis crescentes de detalhamento das bacias, preservando-se os códigos atribuídos às divisões anteriores, o que mantém a coerência da codificação qualquer que seja a escala de trabalho. Além disso, a lógica dessa codificação confere à BHO uma grande facilidade para implementação de consultas tabulares com a mesma consistência topológica das consultas espaciais, o que melhora muito o desempenho dos sistemas que a utilizam.

## 2.1 - Arquitetura e implementação da ferramenta computacional

Tratar do tema gerenciamento e planejamento de recursos hídricos significa trabalhar com dados dispostos no espaço, seja esta a bacia hidrográfica ou unidade de planejamento. Assim, o uso de SIG compondo os SADs parece adequado. Um SAD composto por modelos integrados ao SIG possibilita, além das análises espaciais dos dados envolvidos numa simulação, a análise temporal desses dados. Cria-se um ambiente onde se podem realizar análises espaço-temporais, facilitando e agilizando as tomadas de decisões a respeito do gerenciamento e planejamento dos recursos hídricos.

A ferramenta de operacionalização da BHO desenvolvida e apresentada nesse trabalho, denominada de BHO, se enquadra como um SAD no apoio ao gerenciamento e planejamento de recursos hídricos, incluindo a sua integração em um ambiente SIG.

Diante da extensa quantidade de softwares SIG existentes no mercado, tanto soluções comerciais como, mais recentemente, as soluções livres, decidiu-se pela adoção dessa última. Nesse caso especial, utilizou-se um OpenGIS, ou seja, um SIG livre de código aberto. O OpenJUMP ([www.openjump.org](http://www.openjump.org)) foi escolhido como o programa base, ao qual foi acoplado a ferramenta BHO.

Esse OpenGIS vem sendo implementado pelo Departamento de Geografia da Universidade de Zurique na Suíça. Esse projeto utiliza o código do JUMP (Almeida, 2006), que foi desenvolvido pela empresa canadense VividSolutions©.

Entre as vantagens que este OpenGIS apresenta, três merecem destaque: a primeira é que o OpenJUMP pode acessar mapas remotamente através dos serviços padronizados do consórcio OGC – Open Geospatial Consortium ([www.opengeospatial.org](http://www.opengeospatial.org)), ou seja, através de WMS (Web Mapping Service), que poderá, por exemplo, ser utilizada para o acesso da base cartográfica do SNIRH; a segunda que o mesmo permite a integração de aplicativos (plug-ins) desenvolvidos por usuários do sistema, essa é a forma como a ferramenta foi integrada dentro do plug-in EXTREMOS\_UNB (esse plug-in compreende um conjunto mais amplo de ferramentas computacionais no apoio a análise de extremos hidrológicos) no âmbito do OpenJUMP; e a terceira é que ele foi desenvolvido em linguagem Java, baseado em conceitos da programação orientada a objetos (POO), o que facilita o acesso a seus códigos-fonte. A versão do OpenJUMP no qual estão incorporados a ferramenta BHO é a versão 1.10.0.

Através da POO, as informações primárias e secundárias contidas no ambiente implementado da ferramenta poderão, muito facilmente, ser tratadas para alimentar futuros plug-ins a serem incorporados. A utilização da POO permite, por exemplo, a integração desses plug-ins através da criação de apenas uma classe (uma Interface). Assim, reduz a dependência entre os dois sistemas e concentra toda conexão em apenas uma classe, reduzindo, conseqüentemente, trabalhos futuros em função de modificação em qualquer um dos sistemas, pois só a classe de interface precisará ser modificada. A figura 1 apresenta a estrutura geral do OpenJUMP e sua interligação com os plug-ins.

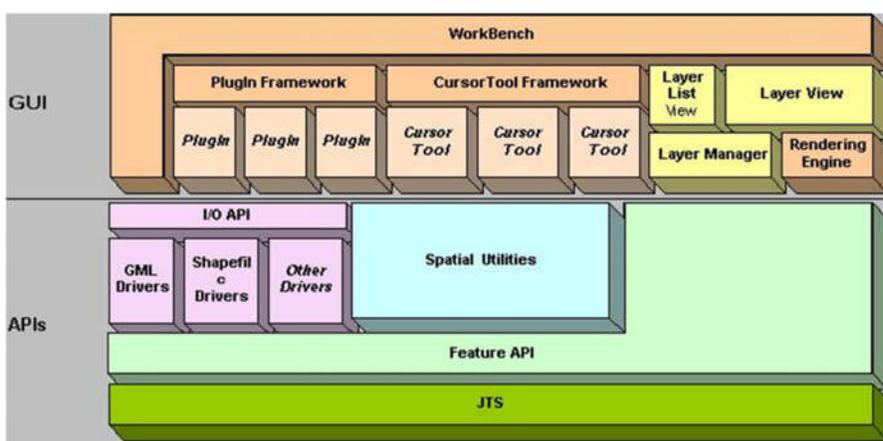


Figura 1 – Arquitetura do OpenGIS OpenJUMP (Fonte: Almeida, 2006).

O JUMP e sua “família” (projetos: Kosmos, na Espanha; DeeJUMP, na Alemanha; SkyJUMP, nos Estados Unidos da América; PirolJUMP, também na Alemanha; OpenJUMP, na Suíça) vêm sendo utilizados e desenvolvidos por diversas universidades em todo o mundo. A

Universidade de Osnabrueck na Alemanha, por exemplo, vem desenvolvendo plugins para desenho de Modelo Digital de Elevações, para tratamento estatístico de dados, etc. Almeida (2006) desenvolveu um plug-in para simulação do ciclo hidrológico com o modelo AÇUMOD e para modelagem do fluxo de águas subterrâneas.

Foi escolhido o Eclipse como ambiente de desenvolvimento Java. Esse software apresenta uma série de ferramentas que possibilitam o desenvolvimento e a manutenção de aplicativos, a saber: ambiente de desenvolvimento, ambiente para depurar aplicativos, ferramenta para geração automática de documentação sobre o aplicativo em desenvolvimento, ambiente para modelagem de objetos. Essas ferramentas fazem com que o Eclipse seja um ambiente eficiente para o desenvolvimento de aplicações. Uma das grandes vantagens deste software é que o mesmo pode ser adquirido na Internet (<https://www.eclipse.org/>), sem qualquer custo de aquisição ou de licenciamento.

O plug-in acessa a BHO a partir de um sistema gerenciador de banco de dados (SGBD) desenvolvido especificamente para a aplicação. O SGBD escolhido foi o software de código aberto PostgreSQL e sua extensão espacial Postgis. As principais vantagens de usar o PostgreSQL estão relacionadas à economia e ao alto desempenho oferecido pelo SGBD. O banco de dados suporta um intenso fluxo de dados com garantia de estabilidade e segurança, com baixo custo.

### 3 – RESULTADOS

Para ter acesso a ferramenta deve-se importar uma versão do OpenJUMP para o Eclipse com o plug-in BHO integrado. Após a importação do OpenJUMP basta executar a classe *JUMPWorkbench* para abrir o programa. A Figura 2 apresenta a tela inicial do OpenJUMP versão 1.10.0. com destaque para o plugin da EXTREMOS UNB na barra de menu do OpenJUMP. O acesso à ferramenta BHO está destacado em vermelho na Figura 2. Após esse acesso, surge a interface gráfica (GUI) BHO conforme ilustrado na Figura 3.



Figura 2 - Acesso a ferramenta BHO dentro do OpenJump.

Na Figura 3, para fins didáticos, a GUI foi subdividida em 2 partes. A parte destacada em vermelho compreende as opções para seleção do domínio espacial onde serão efetuadas a manipulação e operacionalização da BHO. Nessa tela é possível fazer a consulta a partir de um conjunto de COBACIAS que corresponde ao código Pfafstetter único de cada trecho da base. É

possível definir o domínio a partir de um conjunto de coordenadas geográficas (latitude e longitude), assim basta por meio do SIG obter essas coordenadas (utilizando algum mapa como referência por exemplo) e colocar no campo de consulta dessa opção. Outras duas possibilidades é caso o usuário disponha de um arquivo shapefile (por exemplo, de estações fluviométricas) ou um polígono de uma região (por exemplo, uma bacia hidrográfica) é possível obter as informações da BHO utilizando esses arquivos. Por fim, a opção mais recomendada é utilizar a consulta utilizando a própria informação da toponímia (ou nome do rio) da BHO, nesse caso basta o usuário selecionar as toponímias de interesse na tabela existente. Na Figura 3, essa tabela está destacada em preto e como exemplo está marcado o rio São Bartolomeu, cuja a bacia intercepta boa parte da região do Distrito Federal.

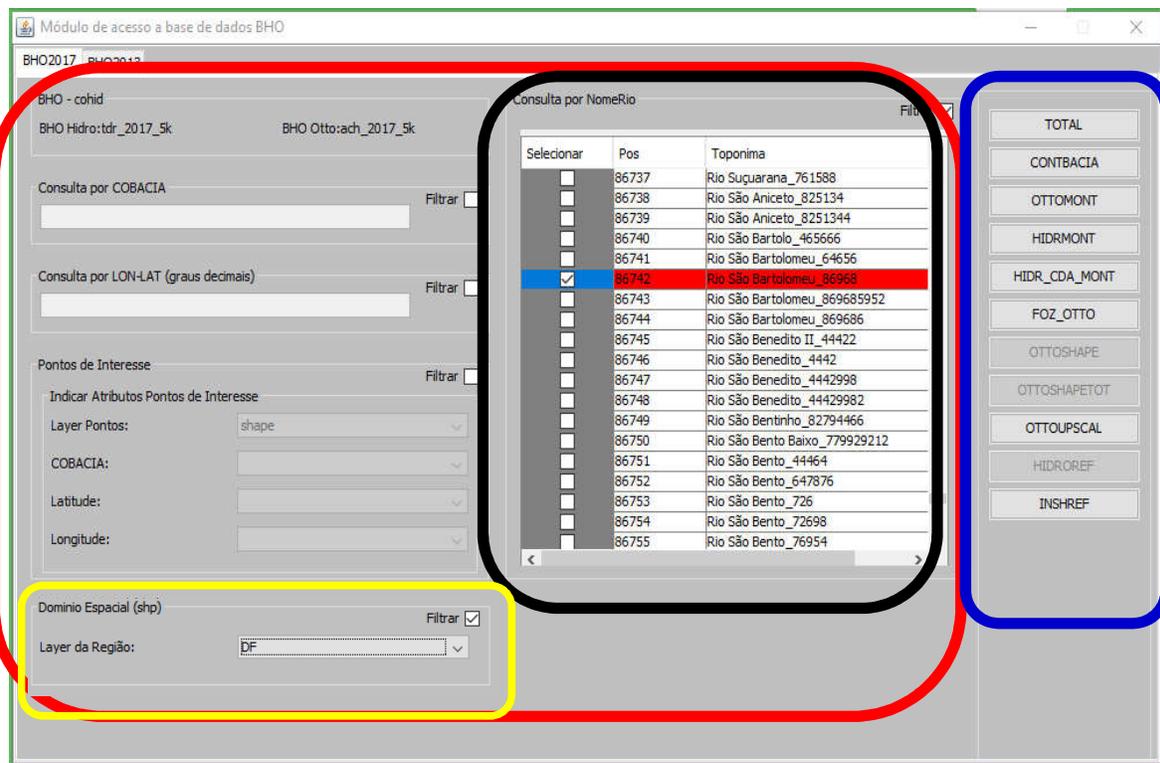


Figura 3 — GUI da Ferramenta computacional BHO

A Figura 4 ilustra o resultado da execução de 4 funcionalidades (destacadas em azul na figura 3) existentes de obtenção das informações da BHO. A primeira, Figura 4a, é a possibilidade de obter o contorno da bacia a partir do domínio pré-selecionado (no exemplo, seria a bacia do rio São Bartolomeu). A Figura 4b ilustra a possibilidade de obter a hidrografia da bacia. A Figura 4c ilustra a possibilidade de obter as subbacias ou ottobacias. Por fim, a Figura 4d ilustra a possibilidade de obter a hidrografia subdividida de acordo com a ordem do curso d'água na BHO. Embora não apresentado, a ferramenta apresenta alguns outros recursos como identificação da foz, das

nascentes, subsídio ao referenciamento especial de estações fluviométricas, possibilidade de fazer um *upscaling* na própria base etc.

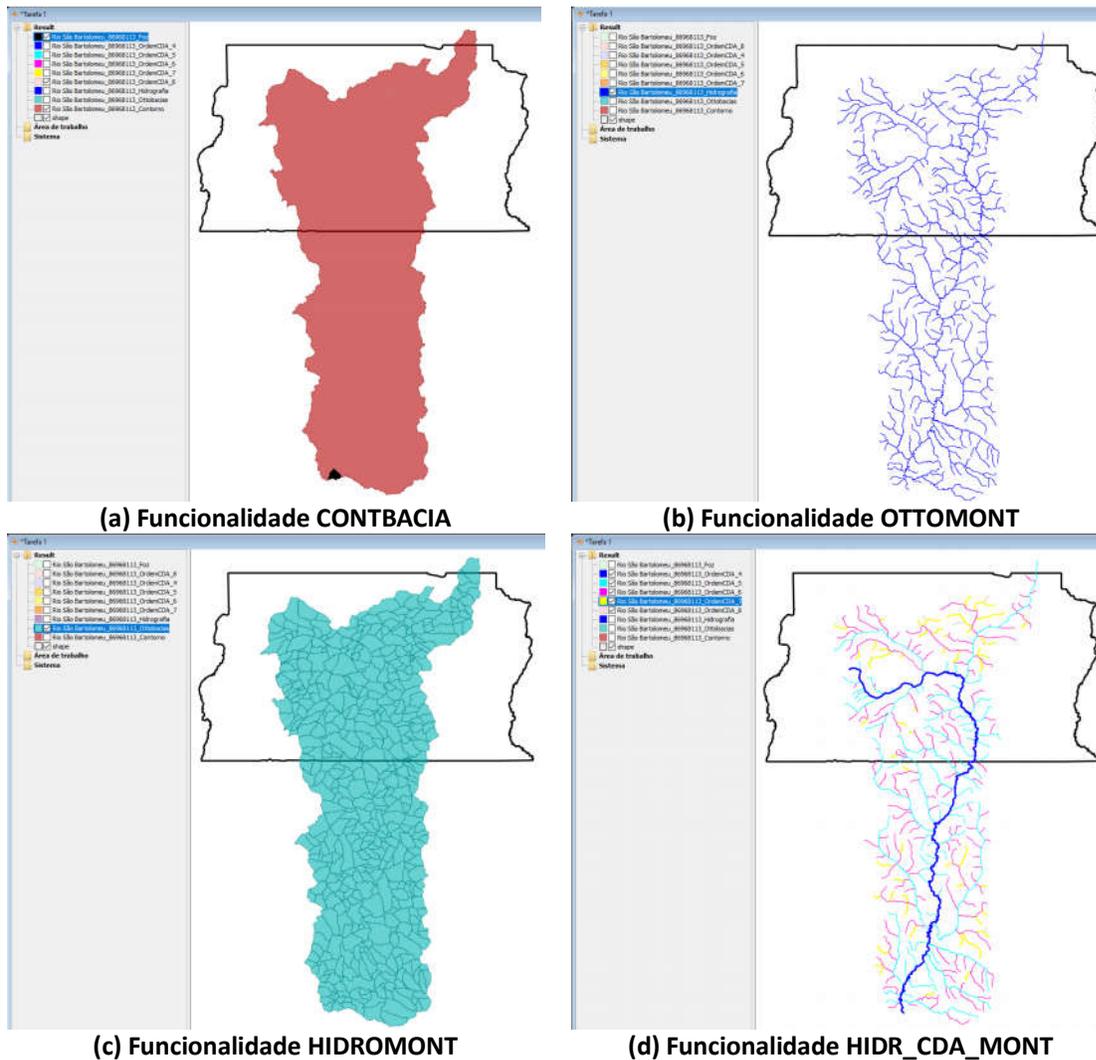


Figura 4 – Funcionalidades para obtenção e manipulação da BHO.

Uma outra funcionalidade de grande utilidade é a possibilidade de indicar um polígono de qualquer região, como por exemplo do DF destacado em amarelo na Figura 3, e obter toda a hidrografia e ottobacias que interceptam e que contribui em termos Hidrológicos para a região. Tais funções estão destacadas em verde na Figura 3. A Figura 5 ilustra o resultado da execução dessas funcionalidades na região do DF.

#### 4 – CONCLUSÕES

O presente trabalho apresentou uma ferramenta computacional implementada no sentido de obter, manipula e operacionalizar a BHO da ANA, possibilitando de modo simples, rápido e usando solução livres de baixo custo, extrair as principais características vinculadas à rede hidrográfica brasileira. A ferramenta BHO mostrou-se um SAD fundamental, apresentando inúmeros recursos e funcionalidades que a tornam essencial no apoio ao desenvolvimento de projetos, estudos e

pesquisas hidrometeorológicas. Por fim, sugere-se o uso da BHO como base hidrográfica, devido a todas as suas possibilidades já descritas neste trabalho, que tanto facilitam o processo de gestão e implementação de ações na área de recursos hídricos.

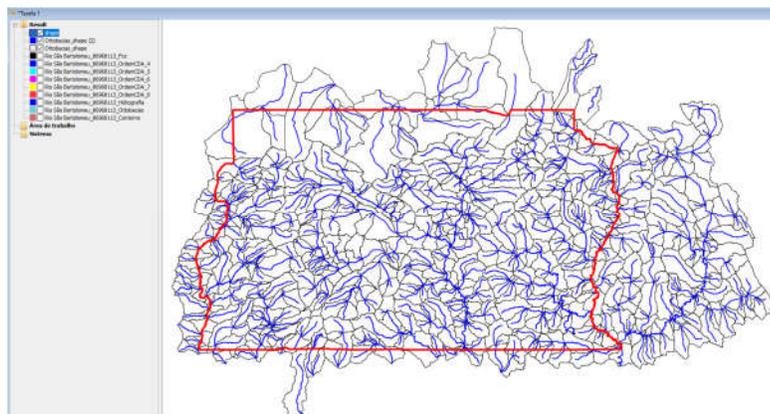


Figura 5 – Funcionalidade para obtenção da BHO em determinada região (informando o polígono).

**AGRADECIMENTOS** - O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq (CHAMADA UNIVERSAL MCTI/CNPq N° 01/2016).

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, C. N. “Modelagem integrada de recursos hídricos com apoio de um sistema de informações geográficas.” 147 p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

ANA (Agência Nacional de Águas). (2019) Portal de Metadados Geoespaciais da ANA. Disponível em: <<http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home>>. Acesso em: 30 jan. 2019

ANA (Agência Nacional de Águas). (2007) Manual de Construção da Base Hidrográfica Ottocodificada: fase 1 –construção da base topológica de hidrografia e ottobacias conforme a codificação de bacias hidrográficasde Otto Pfafstetter : versão 2.0 de 1/11/2007. Brasília : ANA, SGI, 2007. 144 p.

COLLISCHONN, B. (2014). Sistema de apoio à Decisão para outorga de direito de uso de recursos hídricos. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Porto Alegre, 196 p. 2014.

GOMES, J.V. P.; BARROS, R. S. (2011). A importância das Ottobacias para gestão de recursos hídricos. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.1287. 2011.

LYRA, F. J. (2001). Um novo método para representação da hidrografia e das características de bacias na gestão de recursos hídricos, XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Aracaju.

PFASFSTETTER, O. (1989) Classificação de Bacias Hidrográficas – Metodologia de Codificação. Rio de Janeiro, RJ:Departamento Nacional de Obras de Saneamento (DNOS), p. 19. Manuscrito não publicado.

VERDIN, K. L. A. (1997). System for Topological Coding Global Drainage Basin and Stream Networks. In: Annual ESRI User Conference, 17, San Diego, Califórnia. Proceedings... Califórnia, ESRI, 6p.

VERDIN, K. L.; VERDIN, J. P. A. (1999). Topological System for Delineation and Codification of the Earth’s River Basins. Journal of Hydrology, vol. 218, nº 1-2.