

DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA GEORREFERENCIADO DE INFORMAÇÕES HIDROLÓGICAS PARA GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS NAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DA ZONA DA MATA MINEIRA

*Verônica Silveira de Andrade*¹; *Celso Bandeira de Melo Ribeiro*²; *Gustavo Rezende Reis*³

RESUMO –A disponibilidade de água de boa qualidade a cada dia se torna mais escassa e preciosa, sendo ela vital para a atual e as futuras gerações. Logo é extrema importância à existência de informações confiáveis sobre sua qualidade e quantidade, em cada bacia hidrográfica, para a realização de gerenciamento e planejamento adequado de sua utilização, visando proteger os mananciais e preservar o papel ecológico e social da água. Nesse sentido os Sistemas de Suporte a Decisão são uma importante ferramenta no gerenciamento de recursos hídricos, uma vez que apresentem uma base de dados consistente e de fácil acesso. Com o objetivo de auxiliar a gestão dos recursos hídricos nas bacias da Zona da Mata Mineira o presente trabalho visa o desenvolvimento de um sistema georreferenciado de informações hidrológicas para esta região. Para alcançar esse objetivo foi utilizada a base de dados otocodificada produzida pela Agência Nacional das Águas e modelos de regionalização de vazões para estimativa da disponibilidade hídrica.

ABSTRACT –The availability of good quality water each day becomes more scarce and precious. So it is extremely important to the existence of reliable information about its quality and quantity in each watershed, to perform management and proper planning of its use, to protect the watershed and preserve the social and ecological role of water. In this sense the Decision Support Systems are an important tool in managing water resources, since that present a consistent database and easily accessible. In order to assist the management of water resources in the basins of the Zona da Mata Mineira the present research aims to develop a georeferenced system of hydrological information for that region. To achieve this was used the database otocodificada produced by the National Water Agency of Brazilian regionalization model of flow to estimate of water availability.

Palavras-Chave – Sistema de suporte à decisão, bacia hidrográfica, otocodificação.

1) Aluna de graduação Engenharia Sanitária e Ambiental, Fac. de Engenharia, UFJF, (32)91056662, E-mail: veronica.andrade@engenharia.ufjf.br
2) Professor adjunto da UFJF, Faculdade de Engenharia. - ESA, (32) 2102 3419 r. 30, E-mail: celso.bandeira@ufjf.edu.br
3) Aluno de graduação Engenharia Elétrica, Faculdade de Engenharia, UFJF, E-mail: gustavo.reis@ufjf.engenharia.br

1. INTRODUÇÃO

Conforme apresenta a Agência Nacional de Águas ANA (2006), a disponibilidade de água de boa qualidade, que a cada dia se torna mais escassa e preciosa, é vital para as futuras gerações. Sendo assim, é de extrema importância a existência de informações confiáveis sobre sua qualidade e quantidade, em cada bacia hidrográfica, para a realização de gerenciamento e planejamento adequado de sua utilização, visando proteger os mananciais e preservar o papel ecológico e social da água.

A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), instituída pela Lei nº 9.433/97, conhecida como a Lei das Águas, define alguns instrumentos para auxiliar o gerenciamento dos recursos hídricos, a saber: os planos de recursos hídricos, o enquadramento dos corpos d'água em classes, a cobrança pelo uso, a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos e o sistema de informações sobre recursos hídricos (BRASIL, 1997).

O sistema de informações sobre recursos hídricos é um sistema de coleta, tratamento, armazenamento e recuperação de informações sobre recursos hídricos e fatores intervenientes em sua gestão. Objetivando reunir, dar consistência e divulgar os dados e informações sobre a situação qualitativa e quantitativa dos recursos hídricos brasileiros, atualizar permanentemente informações sobre disponibilidade e demanda e fornecer subsídios para elaboração dos planos de recursos hídricos. A outorga visa assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água (BRASIL, 1997).

Em âmbito estadual, a Lei 13.199 de 1999 prevê o Plano Estadual de Recursos Hídricos – PERH, que é um instrumento de gestão da política Estadual de Recursos Hídricos com o objetivo de estabelecer princípios básicos e diretrizes para o planejamento e o controle adequado do uso da água no Estado de Minas Gerais (IGAM, 2012).

No entanto ainda existem dificuldades na implementação dos instrumentos de gestão previstos em lei para o adequado gerenciamento dos recursos hídricos. Visto que há uma carência de ferramentas adequadas de apoio à gestão e de informações hidrológicas.

Nesse sentido, o desenvolvimento de sistemas de suporte a decisão (SSD) para controle dos recursos hídricos, com base em Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e técnicas de programação computacional, permite a criação de uma base de dados georreferenciados. Sendo possível também o acoplamento de modelos matemáticos em sistemas georreferenciados, possibilitando a simulação de condições e cenários em uma bacia hidrográfica.

Portanto os SSD são uma ferramenta indispensável ao gerenciamento dos recursos hídricos, pois uma vez que possuem uma base de dados geográficos consistentes e de fácil acesso dinamizam o processo de gestão.

Sendo assim, buscou-se desenvolver um sistema georreferenciado de suporte a decisão com informações hidrológicas para auxiliar a gestão dos recursos hídricos nas bacias hidrográficas da Zona da Mata Mineira, abrangendo as bacias dos rios Paraibuna, Muriaé, Pomba, Angu e Pirapetinga, afluentes do rio Paraíba do Sul.

Para alcançar esse objetivo utilizou-se da base de dados Otocodificada produzida pela Agência Nacional das Águas – ANA, bem como estudos de regionalização de vazões. Esta codificação, desenvolvida por Otto Pfafstetter, permite a hierarquização das bacias hidrográficas, definindo a posição relativa e o ordenamento entre as bacias e interbacias objetivando uma base de dados mais consistente.

2. METODOLOGIA

2.1. Área de estudo

A região de estudo, localizada na Zona da Mata Mineira, compreende as bacias hidrográficas dos rios Paraibuna, Pomba, Muriaé, Angu e Pirapetinga, todos afluentes da margem esquerda do rio Paraíba do Sul.

A nascente do rio Paraibuna se localiza na Serra da Mantiqueira, no Município de Antônio Carlos (MG), numa altitude de 1.180m. Ocupa uma área de aproximadamente 8.593 km², na região sudeste, abarcando áreas dos estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro, sendo uma sub-bacia rio Paraíba do Sul. Tem grande importância por ser o principal receptor dos efluentes da região de Juiz de Fora (CEIVAP, 2006).

O rio Pomba nasce na Serra Conceição, pertencente à cadeia da Mantiqueira, em Barbacena, a 1.100m de altitude. Apresenta uma área de drenagem de 8.616 km² atingindo a foz no Paraíba do Sul depois de percorrer 265 km (CEIVAP, 2006).

O rio Muriaé é formado pela confluência dos rios Bom Sucesso e Samambaia, cujas nascentes localizam-se no município de Mirai a 900 m de altitude. Na Serra das Pedras, derivação da Mantiqueira, passa a ser denominado de Muriaé quando se encontra com o rio Santo Antônio, a 300 m de altitude. Desde as suas nascentes até a foz no Paraíba do Sul percorre cerca de 300 km, tendo uma área de drenagem de 8.200 km² (CEIVAP, 2006).

Os rios Angu e Pirapetinga compreendem bacias de menor tamanho localizadas entre as bacias dos rios Pomba e Paraíba.

Na Figura 1 é possível visualizar as bacias hidrográficas utilizadas no trabalho para desenvolvimento do sistema de informações.

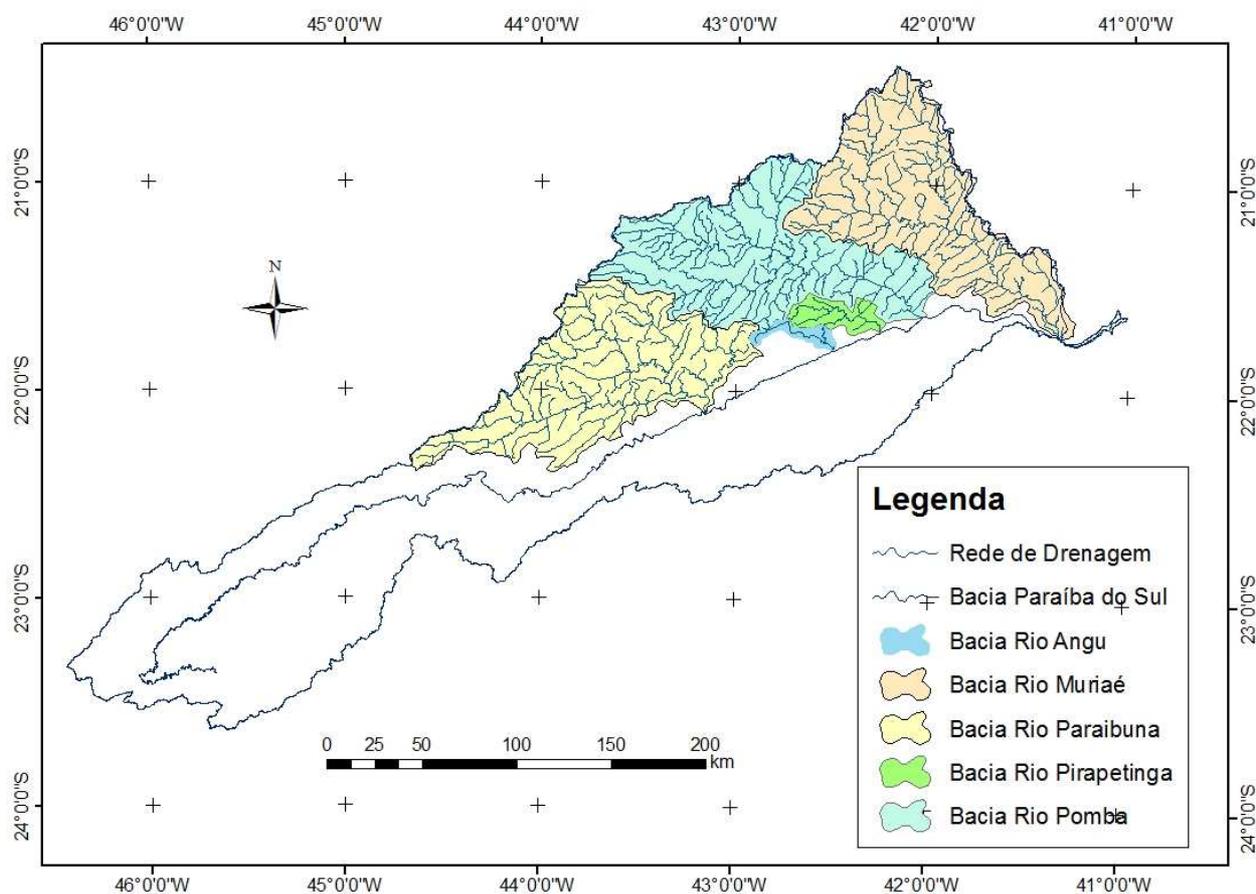


Figura 1 - Bacias Hidrográficas do Estado

2.2. Base de dados otocodificada

Com o objetivo de obter uma base de dados consistente utilizou-se a codificação desenvolvida por Otto Pfafstetter, que permite a hierarquização das bacias hidrográficas, definindo a posição relativa e o ordenamento entre as bacias e interbacias.

A partir do código de Otto Pfafstetter pode-se determinar a posição relativa de uma bacia ou interbacia em relação às demais.

A codificação de Otto Pfafstetter, para codificação de Otobacias, se baseia nos seguintes princípios (PFASFSTETTER, 1987; ANA, 2006):

- O curso d'água principal de uma bacia é sempre o que tem a maior área de contribuição a montante;

- A partir da identificação do curso d'água principal, codificam-se suas bacias afluentes por área de contribuição;

- As quatro bacias maiores recebem códigos pares que são atribuídos de jusante a montante: a bacia mais a jusante é a de código 2, a bacia imediatamente a montante desta recebe o código 4, a próxima recebe o código 6 e a mais a montante de todas, 8; e

- As interbacias recebem códigos ímpares, sendo a da foz a número 1, a interbacia entre as bacias 2 e 4 recebe o valor 3, e assim por diante, até a última bacia de montante, que recebe o número 9.

Para melhor compreensão dos princípios da codificação de Otto Pfafstetter a Figura 2 apresenta um exemplo genérico de codificação de uma bacia hidrográfica.

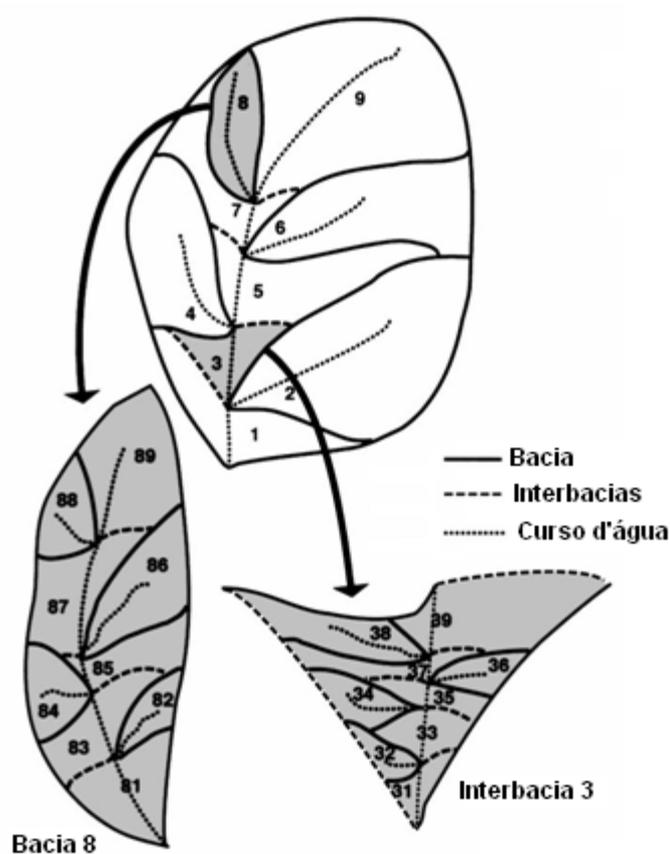


Figura 2 - Exemplo de subdivisão de uma bacia hidrográfica aplicando as regras de codificação de Otto Pfafstetter,(Verdin e Verdin, 1999), modificada.

Cada bacia e interbacia devidamente codificada e discretizada, conforme o nível de detalhe para o trecho passa a ser uma ottobacia.

Cada uma das bacias determinadas pode ser novamente codificada, conforme o nível de detalhe a atingir, sendo então atribuído um algarismo adicional. Isto também pode ser visto na Figura 2. O processo pode ser repetido enquanto houver afluentes na rede hidrográfica representada na escala de trabalho adotada.

A codificação de Otto Pfafstetter tem como foco as bacias, mas pode ser adaptada para a codificação de cursos d'água. No método de construção da base hidrográfica ottocodificada da ANA adaptou-se a codificação de bacias aos respectivos trechos de curso d'água.

A base de dados ottocodificada utilizada está disponível para download no site da ANA.

Para ser utilizada no programa foi necessário preparar a base de dados, uma vez que a base ottocodificada disponível abrange todo o Brasil, enquanto o foco do presente trabalho são as bacias da Zona da Mata Mineira, já mencionadas.

As ottobacias referentes às bacias da Zona da Mata Mineira utilizadas no programa são exibidas na Figura 3.

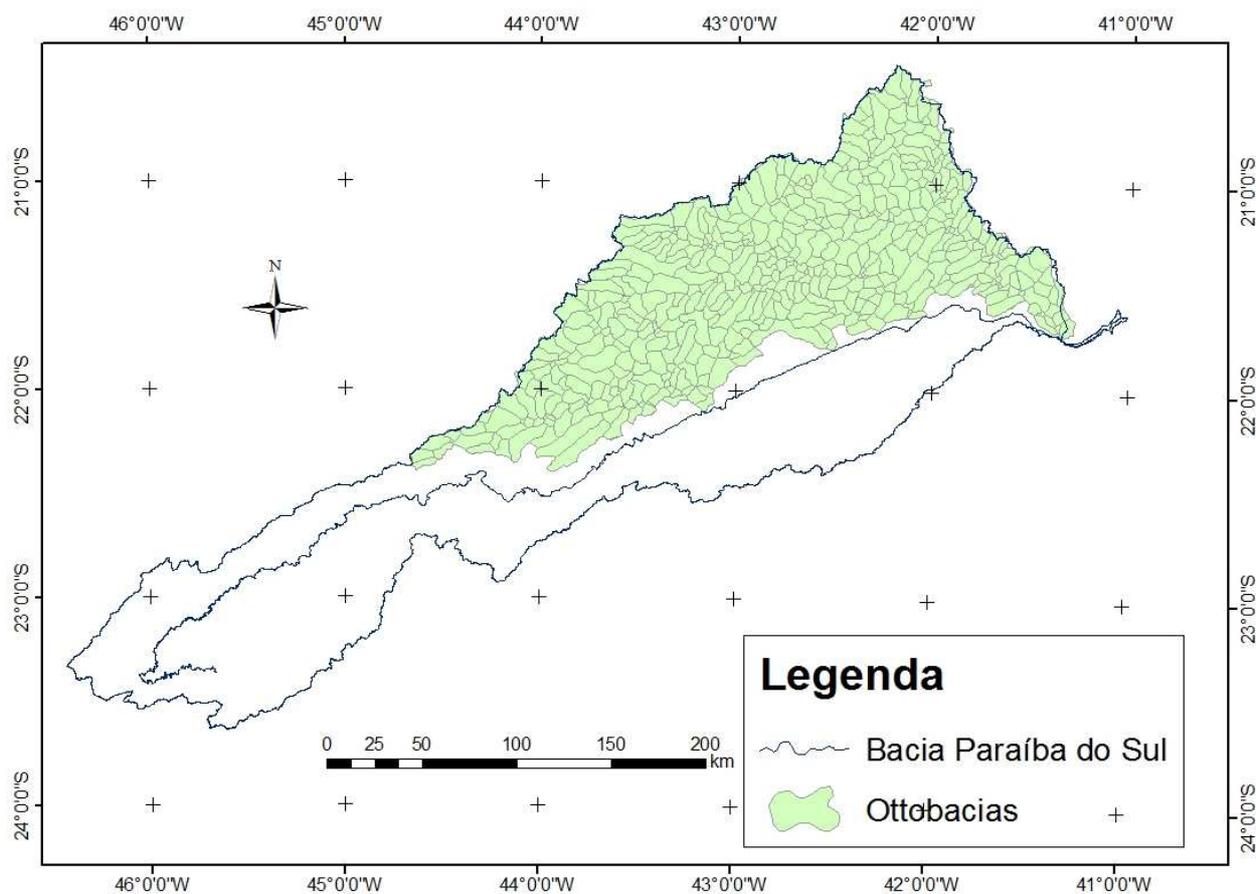


Figura 3 – Ottobacias do estudo

2.3. Disponibilidade Hídrica

A disponibilidade de água em cada bacia foi calculada através da equação de regionalização de vazões da região de estudo (Tabela 1). Foram utilizados os modelos dos estudos de regionalização de vazões desenvolvidos no trabalho “Atlas Digital das Águas de Minas”, realizado no convênio firmado entre a Rural Minas, Universidade Federal de Viçosa - UFV e Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM e pelo estudo de regionalização para o rio Paraibuna realizado por Peixoto e Ribeiro (2010).

Tabela 1 – Equações de Regionalização

Local	Modelo de Regionalização	Equação
Bacia do Rio Paraibuna	$Q_{7,10} = 0,0126.A^{0,9046}$	(1)
	$Q_{7,10} = 0.000196.A^{0,988}.P^{0,5187}$	(2)
	$Q_{7,10} = 0.000000785.A^{1,269}.P^{1,285}$	(3)
Bacia dos Rios Pomba, Pirapetinga e Angu	$Q_{7,10} = 0,0341.A^{0,7183}$	(4)
Bacia do Rio Muriaé	$Q_{7,10} = 0,0172.A^{0,7538}$	(5)

Onde: $Q_{7,10}$ é a vazão mínima de 7 dias com 10 anos de retorno (m^3/s) e A = Área de contribuição (km^2).

As equações (1), (4) e (5) foram escolhidas para utilização devido ao fato de só dependerem da área de drenagem para estimar os valores de vazão de referência para outorga em Minas Gerais ($Q_{7,10}$), permitindo assim a avaliação da disponibilidade hídrica.

2.4. Balanço Hídrico

Para auxiliar o gerenciamento dos recursos hídricos nesta região foi desenvolvida uma metodologia para realizar automaticamente o balanço hídrico em cada ottobacia.

Para tanto foi utilizado banco de dados georreferenciado de usuários outorgados na área de estudo disponibilizado pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM, o qual possui as informações de demanda de água superficial e subterrânea.

2.5. Demanda de Água

Esta metodologia consiste na identificação automática dos usuários de água pertencentes a uma determinada ottobacia, no sistema georreferenciado. Após a identificação dos usuários inseridos o sistema realiza a soma de todas as demandas hídricas existentes em cada bacia.

2.6. Desenvolvimento do Sistema

O sistema desenvolvido neste trabalho é fruto da adaptação do então sistema SISHIDRO- JF Zona Norte (Reis e Ribeiro, 2011) desenvolvido para auxiliar a gestão dos recursos hídricos da Zona Norte do Município de Juiz de Fora.

A interface com o usuário foi desenvolvida no ambiente de programação Visual Basic 6 utilizando como complemento o MapObjects 2.4, este fornece ferramentas para mapeamento.

As informações são armazenadas em um arquivo *Shapefile*, formato proprietário da ESRI. Cada mapa e imagem são desenhados em uma camada, ou *layer*, e empilhados sobre o “MapControl”, recurso do MapObjects, conforme ilustrado na Figura 4. O resultado exibido ao usuário é a sobreposição dessas camadas.

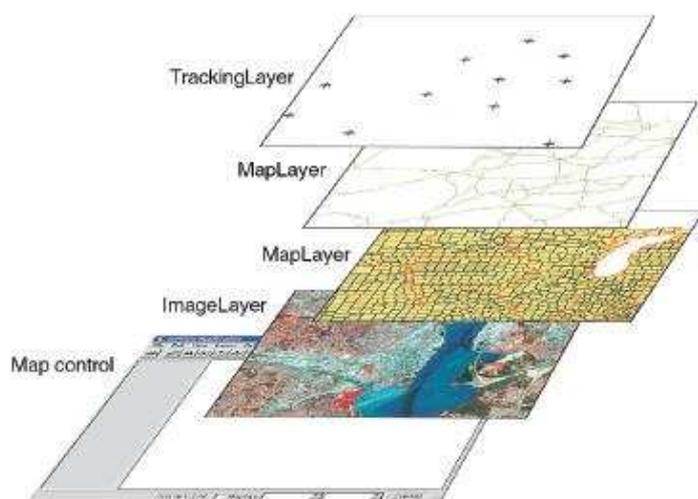


Figura 4 – Exemplo de camadas sobre o “MapControl”(ESRI, 1999).

2.7. Estudo de Caso

Para demonstração do funcionamento do balanço hídrico apresenta-se na Figura 5 a implementação desta metodologia para duas Ottobacias pertencentes à bacia do rio Pomba. Primeiramente são verificados quais usuários estão instalados em cada Ottobacia, realizando-se assim a soma de suas respectivas demandas de água. Esta soma é comparada com a vazão outorgável, ou seja, 30% da vazão $Q_{7,10}$. Se a demanda de água dos usuários for maior que a vazão permitida pela outorga, significa que há um conflito entre a demanda e a disponibilidade prevista na outorga e esta bacia será destacada, colorida de vermelho, pelo sistema. Vale ressaltar que as informações dos usuários foram obtidas na tabela de outorgas disponibilizada pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM.

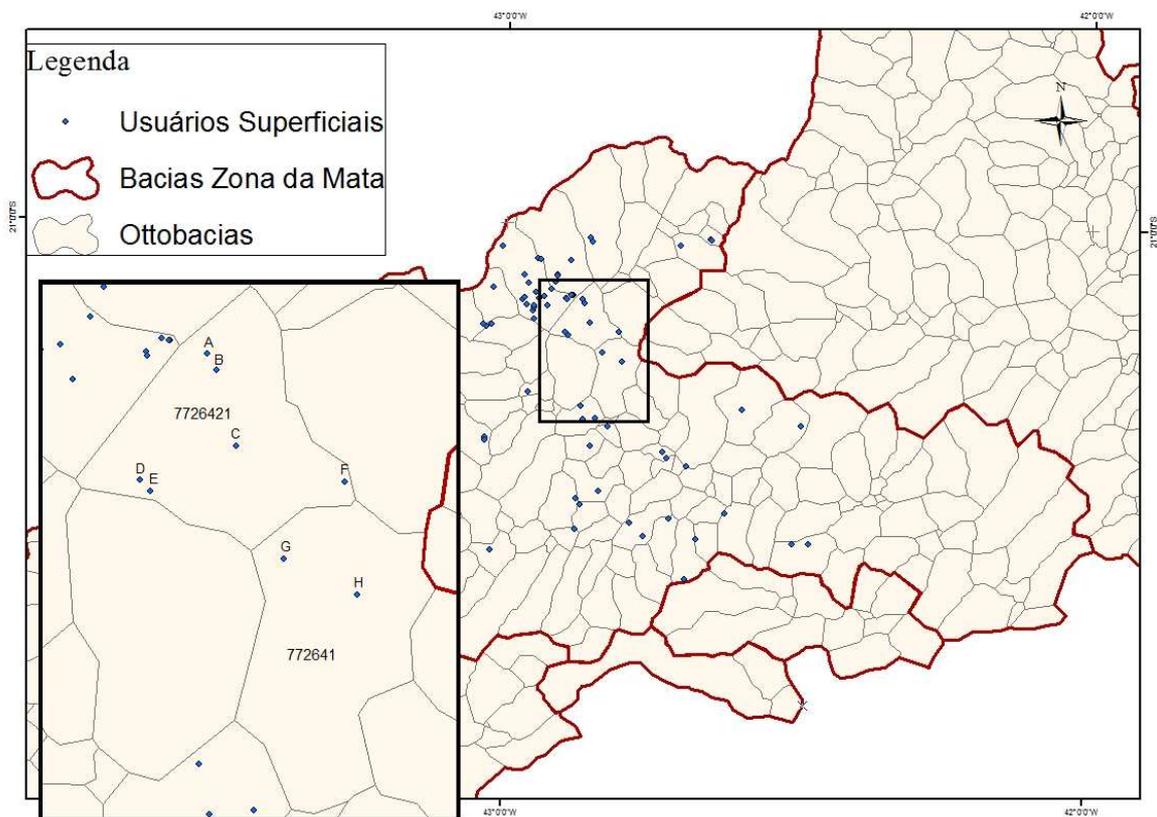


Figura 5 – Ottobacias e usuários da bacia do Rio Pomba

Para simplificação do exemplo, os usuários foram nomeados por letras e os valores de suas demandas de água estão expressos na Tabela 2. Nesta tabela são comparados os valores da vazão outorgada e o total da demanda de água dos usuários. Sendo possível identificar em quais Ottobacias a demanda é maior que a vazão permitida para uso, indicando assim se existe um déficit hídrico.

Tabela 2 – Exemplo de aplicação do balanço hídrico

Ottobacia	Usuário	Demanda de água (m ³ /s)	Total Demanda dos Usuários (m ³ /s)	Vazão outorgada (30% Q _{7,10})(m ³ /s)
7726421	A	6,7	6,7049	1,6575
	B	0		
	C	0,0017		
	D	0		
	E	0		
	F	0,0015		
77264	G	0	0,0009	1,8254
	H	0,0009		

3. RESULTADOS

As camadas podem ser organizadas ou sobrepostas da forma que o usuário desejar, através da legenda fornecida contendo as camadas.

O sistema foi projetado para criar um cadastro de usuários dos recursos hídricos das bacias hidrográficas. Além de um cadastro de pontos de interesse, podendo este acoplar uma imagem.

O sistema foi chamado “Sistema Hidrológico de Apoio a Gestão de Bacias Hidrográficas na Zona da Mata Mineira – SISHIDRO-Zona da Mata Mineira”. Sua tela de apresentação é mostrada na Figura 6.

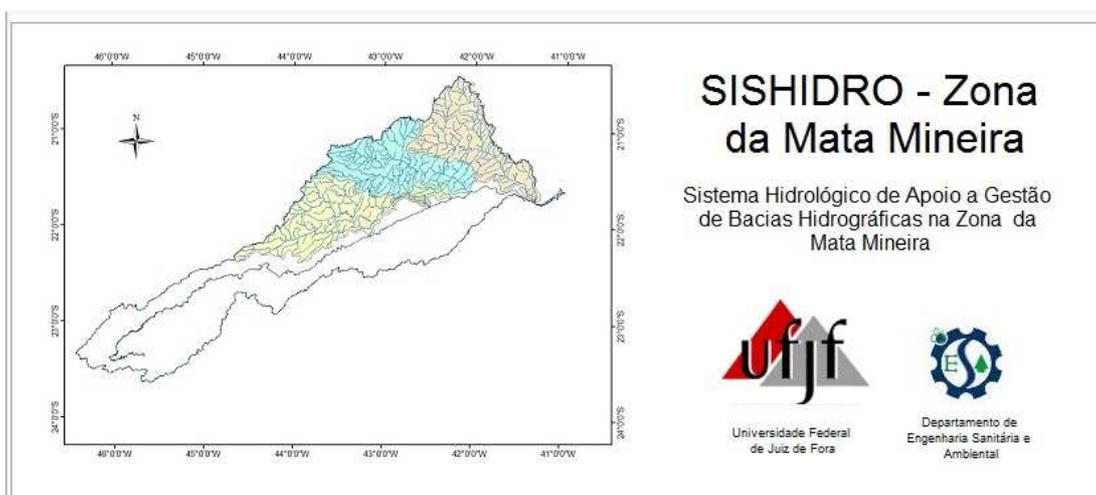


Figura 6 - Tela de apresentação SISHIDRO-Zona da Mata Mineira

Ao abrir o programa, exibida a tela da Figura 7, onde estão numeradas as funções do programa.

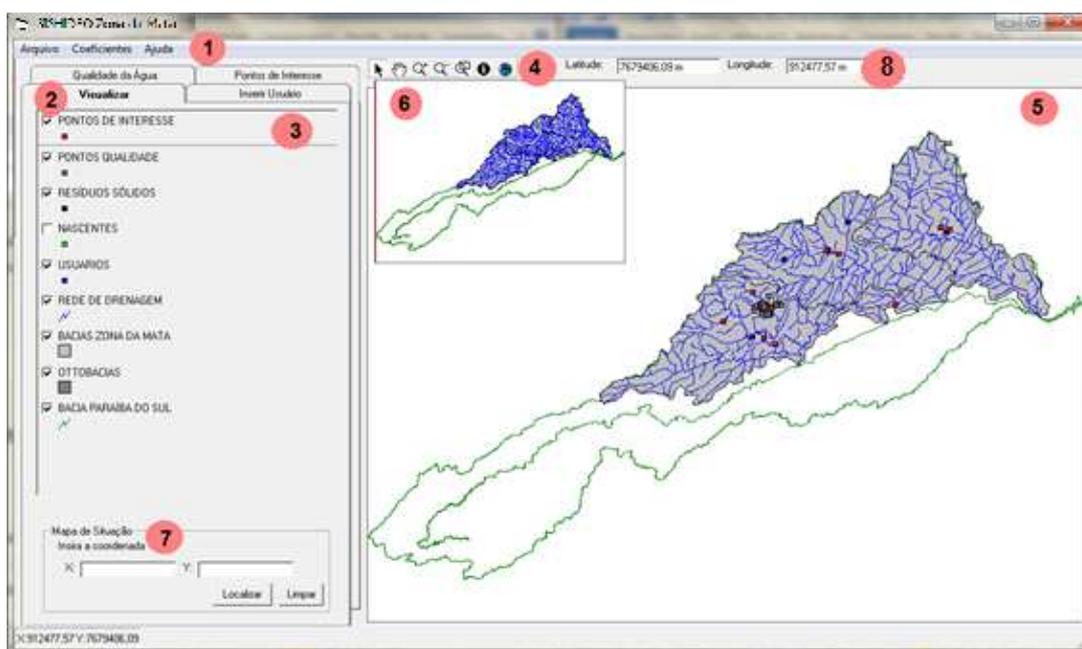


Figura 7 - SISHIDRO-Zona da Mata Mineira, tela principal.

1) *Barra de menus.*

2) *Barra de abas:* permite ao usuário alternar entre as abas do programa.

3) *Legenda:* lista as camadas (layers) sendo exibidas no mapa principal. Permite ao usuário ocultar ou tornar ativo um layer clicando na caixa de seleção à esquerda do seu nome. Para mover um layer para cima ou para baixo, clique no seu nome e arraste até a posição desejada entre os outros layers.

4) *Barra de ferramentas:* Contém as principais ferramentas de visualização do mapa, que estão descritas abaixo.

 Selecionar: Corresponde ao cursor padrão do mouse e, dependendo da função ativada, permite selecionar um ponto no mapa.

 Arrastar: Arrasta o mapa na direção do cursor do mouse. Para utilizar deve-se manter o botão esquerdo do mouse pressionado enquanto arrasta o mapa na direção desejada.

 Mais Zoom: Amplia o mapa. Deve-se clicar no ponto desejado para ampliar nesse local.

 Menos Zoom: Reduz o mapa. Deve-se clicar no ponto desejado para reduzir a escala do mapa centrada no local.

 Zoom em Janela: Amplia uma parte específica do mapa. Deve-se manter pressionado o botão esquerdo do mouse enquanto arrasta uma caixa retangular para ampliar a região compreendida dentro da caixa.

 Identificar: Identifica um ponto no mapa. Ao ativar o cursor do mouse assume o símbolo da ferramenta. Clicando em um ponto do mapa será aberta uma caixa de diálogo com as informações correspondentes ao ponto.

 Zoom Entendido: Exibe toda a extensão do mapa.

5) *Mapa principal.*

6) *Mapa de situação:* Permite a marcação de qualquer coordenada inserida no mapa. Ao clicar em localizar um ponto será criado na coordenada inserida nos campos. As coordenadas devem estar no sistema UTM.

7) *Minimapa:* Exibe uma miniatura da extensão completa do mapa principal, permitindo que o usuário se localize através de um retângulo vermelho que é exibido.

8) Coordenadas geográficas UTM exibidas em metros.

Para trabalhar com uma determinada bacia o usuário precisa clicar nesta bacia, que será destacada e ampliada no mapa. Como mostrado na Figura 8.

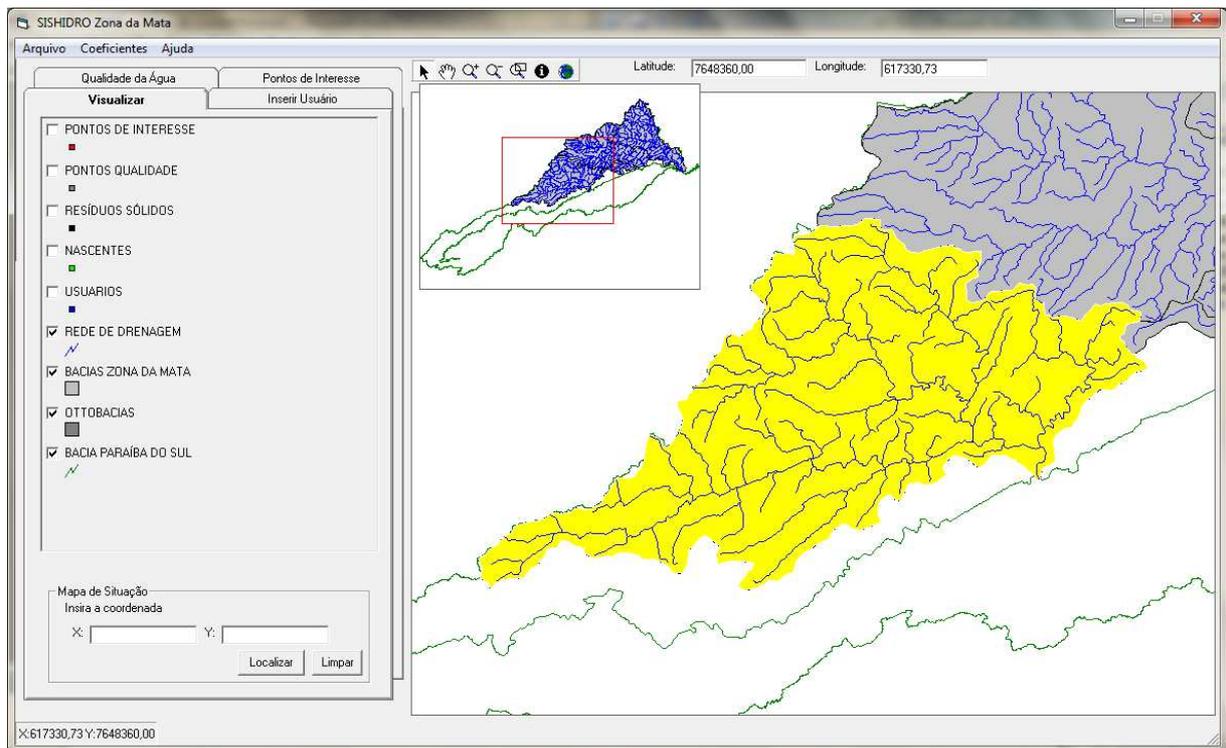


Figura 8 – Destaque da Bacia Do Rio Paraibuna

Os usuários das bacias hidrográficas podem ser de águas subterrâneas ou superficiais, os mesmos se encontram em camadas distintas, podendo ser visualizados separadamente. Na Figura 9 é exibida a aba “Inserir Usuário”, para inserir algum usuário deve-se selecionar esta aba. Nela também serão exibidas informações de algum usuário para alteração nos dados, caso necessário.

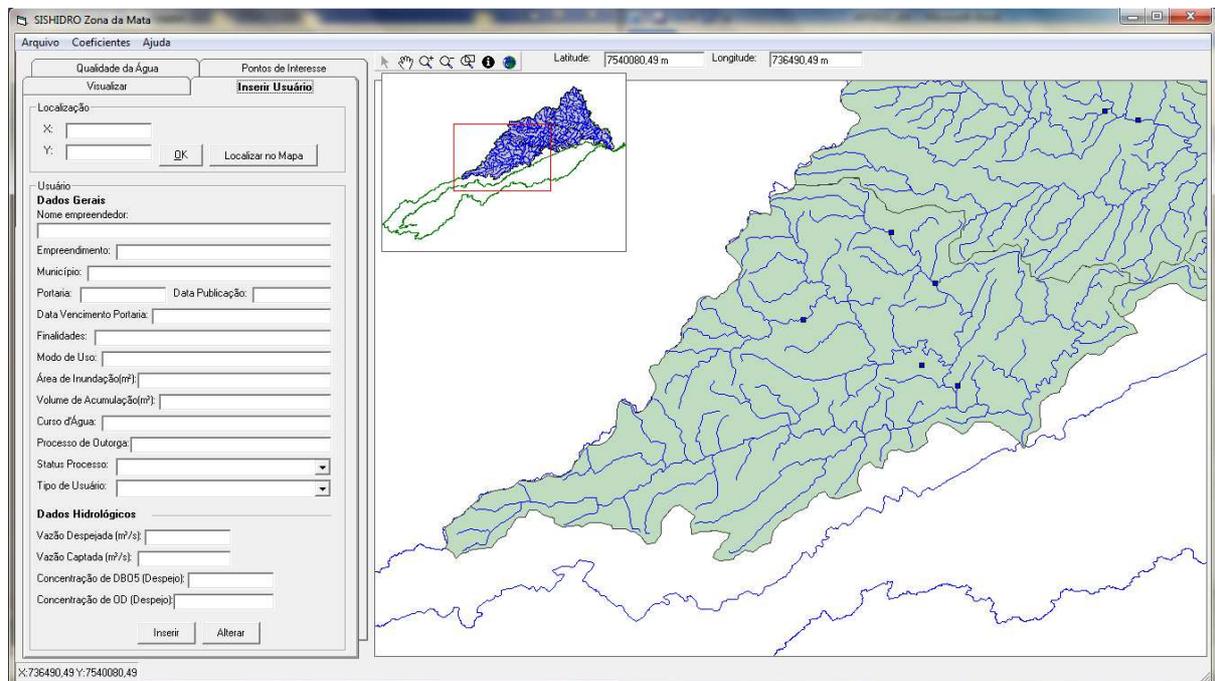


Figura 9 – SISHIDRO-Zona da Mata Mineira, aba “Inserir Usuário”.

A posição do usuário pode ser inserida clicando em “Localizar no Mapa” e em seguida clicando em sua respectiva localização no mapa. Outra maneira é digitando as coordenadas do usuário nos campos X e Y. Em seguida deve-se clicar em “Ok” para que o ponto referente ao usuário seja marcado no mapa, preencher os dados e clicar em “Inserir”, para concluir.

Pontos de Interesse indicam qualquer ponto de uma bacia que não seja poluidor. Sua inclusão pode ser realizada na aba “Pontos de Interesse”, Figura 10.

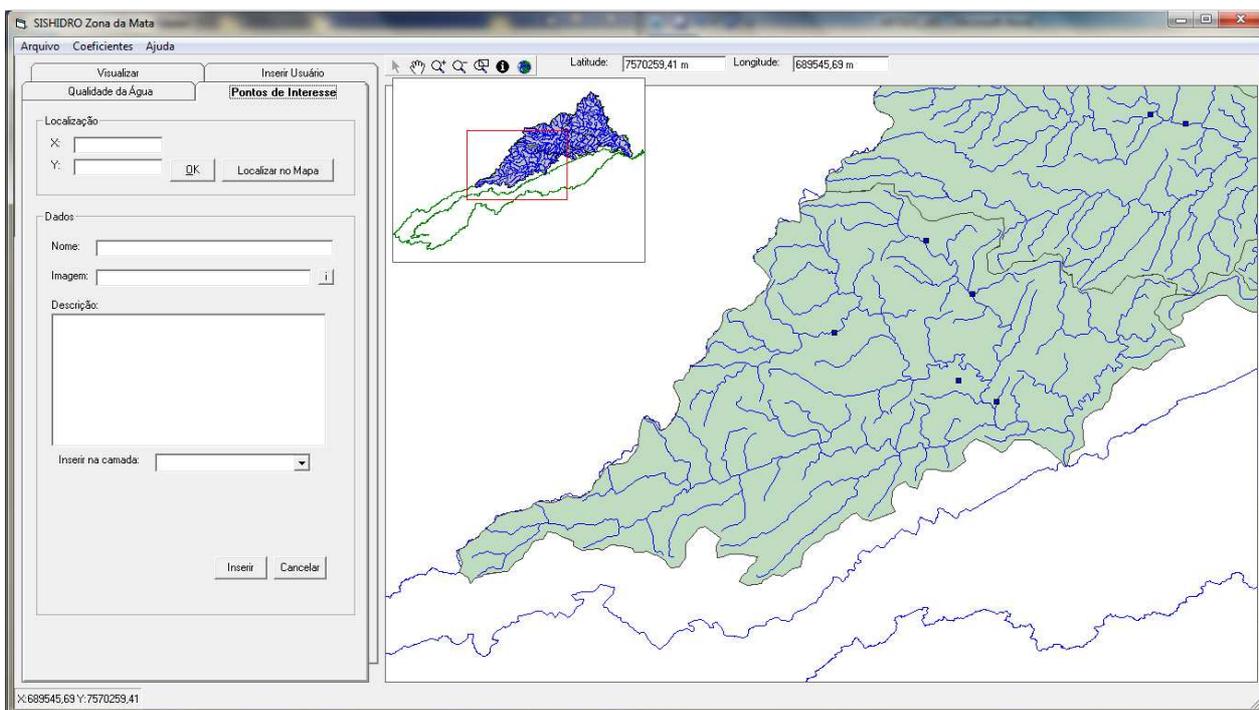


Figura 10 – SISHIDRO-Zona da Mata Mineira, aba “Pontos de Interesse”.

A posição de um ponto de interesse é realizada como a de um usuário. Um recurso interessante é a possibilidade de associar uma imagem ao ponto. Recomenda-se não utilizar imagens de tamanho maior que a resolução do monitor, ou, idealmente, maiores que 75% da resolução.

A principal forma de exibição de informações do programa é a ferramenta identificar, através dela é exibido uma janela com informações relativas a um determinado ponto do mapa. Conforme a Figura 11.

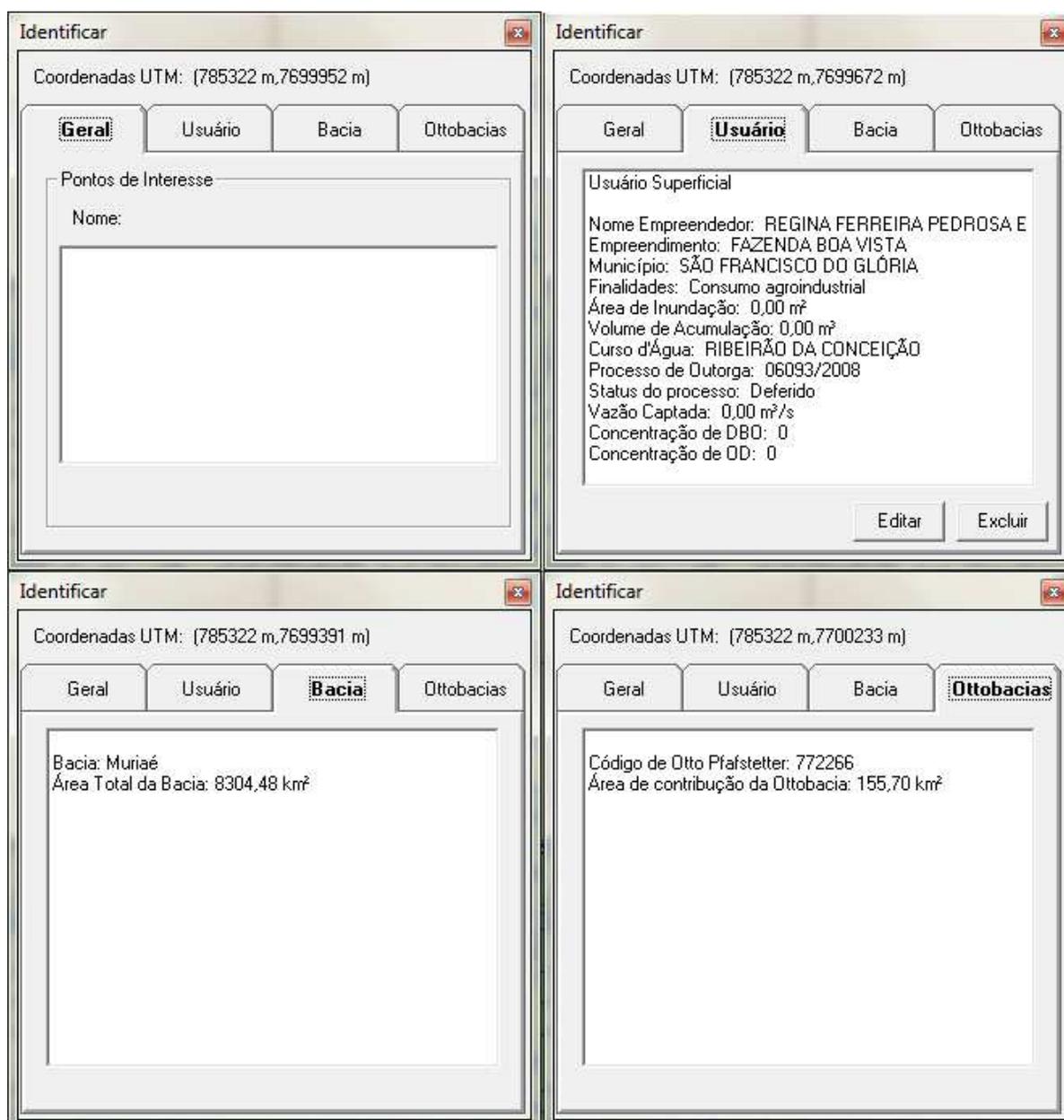


Figura 11 - Janela Identificar, abas: Geral, Usuário, Bacia e Ottobacias.

Nessa janela serão exibidas informações de ponto de interesse e/ou de um usuário da bacia, caso os mesmos estejam localizados no ponto clicado. Também serão exibidas informações sobre a bacia hidrográfica e a Ottobacia do ponto clicado. Se o mesmo se encontrar sobre um rio serão exibidas informações referentes a ele.

Para excluir ou alterar um usuário ou um ponto de interesse deve-se clicar nos seus respectivos botões, que estão na janela Identificar.

Resultado da aplicação do balanço hídrico na bacia do Rio Pomba

Ao ser executado o programa verifica as vazões dos usuários e efetua o balanço hídrico. Se a demanda de água de uma ottobacia for maior que a vazão prevista na outorga, esta ottobacia será colorida em vermelho, conforme mostra a Figura 12. Este recurso permite que as ottobacias com déficit hídrico sejam facilmente identificadas, auxiliando a tomada de decisão.

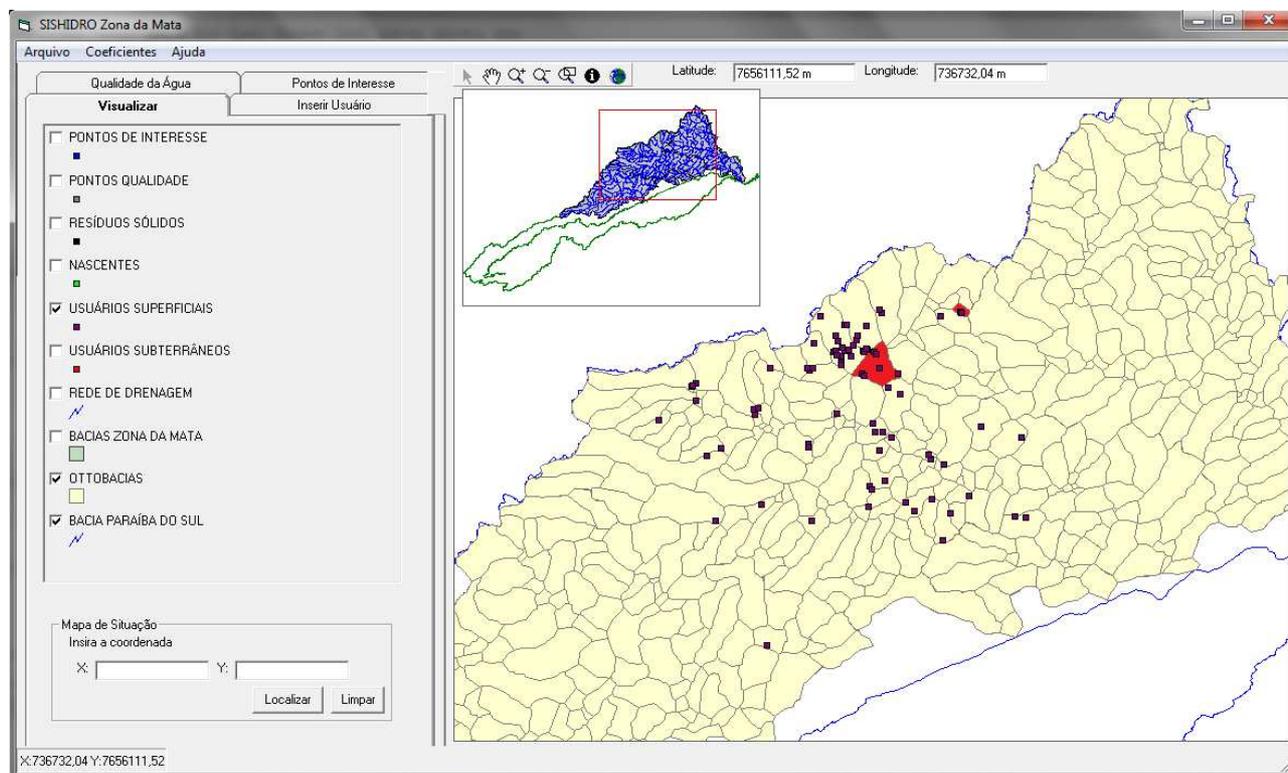


Figura 12 – SISHIDRO- Zona da Mata, Bacia rio Pomba.

4. CONCLUSÕES

O sistema desenvolvido mostrou-se bastante prático e funcional, contendo informações hidrológicas que possibilitam auxiliar a gestão dos recursos hídricos em bacias hidrográficas. O cadastro de usuários e pontos de interesse apresenta-se como uma boa ferramenta de controle de uso dos recursos hídricos das bacias.

Cabe destacar que ainda se busca aperfeiçoar o programa, ampliando suas funcionalidades. Melhorando assim o apoio que ele pode fornecer a gestão dos recursos hídricos.

AGRADECIMENTOS - Os autores gostariam de agradecer ao CNPq, pelo apoio à pesquisa através da concessão de bolsa de iniciação científica, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais - FAPEMIG e à PROPESQ-UFJF pelo apoio ao projeto de pesquisa.

BIBLIOGRAFIA

- ANA - Agência Nacional de Águas (Brasil) - Topologia hídrica: método de construção e modelagem da base hidrográfica para suporte à gestão de recursos hídricos: versão 1.11. / Agência Nacional de Águas, Superintendência de Gestão da Informação. Brasília: ANA, SGI, 2006. 29 p.
- BRASIL.(1997.) *Política Nacional de Recursos Hídricos. Lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997.* MMA/SRH.
- CEIVAP – Comitê para integração da Bacia Hidrográfica do rio Paraíba do Sul. (2006). *Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul – Resumo - Caderno de Ações Bacia do Rio Paraíba do Sul*. Fundação Coppetec – UFRJ.
- CEIVAP – Comitê para integração da Bacia Hidrográfica do rio Paraíba do Sul. (2006).*Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul – Resumo - Caderno de Ações Bacia do Rio Paraíba do Sul*. Fundação Coppetec – UFRJ.
- CEIVAP – Comitê para integração da Bacia Hidrográfica do rio Paraíba do Sul. (2006).*Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul – Resumo - Caderno de Ações Bacia do Rio Paraíba do Sul*. FundaçãoCoppetec – UFRJ.
- ESRI – Environmental Systems Research Institute.(1999).*Building Applications with MapObjects*.Redlands, CA.
- IGAM – INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (2012).*Plano estadual de recursos hídricos*.www.igam.mg.gov.br/planos-de-recursos-hidricos, acessado em 2012.
- PEIXOTO, F. P., RIBEIRO, C.B.M. (2010). *Regionalização da vazão mínima e espacialização de dados pluviométricos em sistema georreferenciado na bacia do rio Paraíba do Sul (MG)*. In. Anais do X Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Fortaleza-CE, Brasil.
- PFAFSTETTER, O. (1987). *Classificação das bacias*.
- REIS, G.R.; RIBEIRO, C.B.M. (2011) *Desenvolvimento de um Sistema de Informações para Gestão dos Recursos Hídricos*. In. Anais do XIV IWRA World WaterCongress, Porto de Galinhas, Brasil.
- VEDIN, K.L; VERDIN, J.P.(1999). “A topological system for delineation and codification of the Earth’s river basins”.*Journal of Hydrology* 218(1-12), pp 4.