

# ATLAS HIDROLÓGICO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO GRANDE

Michel Castro Moreira (Universidade Federal do Oeste da Bahia) michelcm@gmail.com  
Demetrius David da Silva (Universidade Federal de Viçosa) demetrius@ufv.br  
Michael Pereira da Silva (Universidade Federal do Oeste da Bahia) msndomichael@hotmail.com

**Resumo:** A bacia do rio Grande, mesmo sendo a segunda em contribuição para a formação das vazões do rio São Francisco e assumindo expressiva importância devido ao seu desenvolvimento agrícola e potencial hidroenergético, caracteriza-se pela falta de dados hidrológicos que subsidiem o processo de gestão e planejamento de recursos hídricos e a condução de estudos nas áreas das ciências agrárias, engenharias e ciências biológicas. Neste contexto, o presente trabalho teve por objetivo desenvolver um atlas hidrológico, a ser disponibilizado em formato digital, visando a organização, registro e consulta de dados hidrológicos da bacia do rio Grande. O atlas foi desenvolvido em duas etapas: levantamento e geração de dados hidrológicos e fisiográficos; e compilação dos dados em formato de um sistema computacional. O atlas hidrológico da bacia hidrográfica do rio Grande, além de permitir visualizar dados geográficos da bacia hidrográfica, possibilita a obtenção, para qualquer seção de interesse, de informações hidrológicas, como precipitação média anual e vazões mínimas ( $Q_{7,10}$ ,  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$ ) e média dos cursos d'água, constituindo-se importante ferramenta para subsidiar o processo de planejamento e gestão de recursos hídricos na região, além de fornecer informações para estudos em diversas áreas do conhecimento.

**Palavras-chave:** programa computacional, disponibilidade hídrica, gestão de recursos hídricos.

## HYDROLOGICAL ATLAS OF THE RIO GRANDE HYDROGRAPHIC BASIN

**Abstract:** Despite the fact that Rio Grande watershed is the second major contributor to the formation of flows of the Sao Francisco River, being of utmost importance for the agricultural development and hydro-energetic potential of the region, no hydrological data is available to support the process of water resources management and planning, and investigations in the areas of agrarian sciences, engineering and biological sciences. Within this context, this work aimed to develop a hydrological atlas, to be available in a digital format, aiming at the organization, record, and consultation of the Rio Grande basin hydrological data. The Atlas was developed in two stages: hydrological and physiographic data assessment and computation; and data compilation in a computational system format. The Rio Grande basin hydrological Atlas not only will allow to visualize geographic data of the Rio Grande watershed but will also provide hydrological information, such as annual mean rainfall and minimum and medium water flows, being thus an important tool to support the process of water resources planning and management in the region, supplying information in the areas of agrarian sciences, engineering, and biological sciences, as well.

**Keywords:** software, water availability, water resources management.

### 1. INTRODUÇÃO

O conhecimento de dados hidrológicos constitui informação básica para a tomada de decisão em diversos estudos, como processos de outorga, dimensionamentos de obras hidráulicas e planejamentos agrícolas. No entanto, as limitadas séries de dados disponíveis e a necessidade de se conhecê-los, ao longo de toda a bacia, dificultam ou, muitas vezes, impedem a realização de um adequado planejamento e gestão de recursos hídricos.

Na bacia do rio Grande, mesmo sendo a segunda em contribuição para a formação das vazões do rio São Francisco e assumindo maior importância devido ao seu desenvolvimento agrícola e potencial hidroenergético, verifica-se a falta de dados hidrológicos que subsidiem o processo de gestão e planejamento de recursos hídricos e a condução de estudos nas mais diversas áreas.

Dessa forma, faz-se necessária a criação de uma base de dados hidrológicos que contemple as características físicas e climáticas da bacia, a qual possa ser facilmente consultada pelos órgãos responsáveis pela gestão de recursos hídricos, bem como pesquisadores e a própria população.

Neste contexto, o presente trabalho teve por objetivo desenvolver um atlas hidrológico, disponibilizado em formato digital, visando a organização, registro e consulta de dados hidrológicos da bacia hidrográfica do rio Grande.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Situada no médio São Francisco (Figura 1), a bacia hidrográfica do rio Grande representa 12,6% da área de drenagem do rio São Francisco, sendo a sua maior sub-bacia. Com área de aproximadamente 75.000 km<sup>2</sup>, a bacia localiza-se no Estado da Bahia, correspondendo a 13,2% da área deste Estado (MOREIRA e SILVA, 2010).

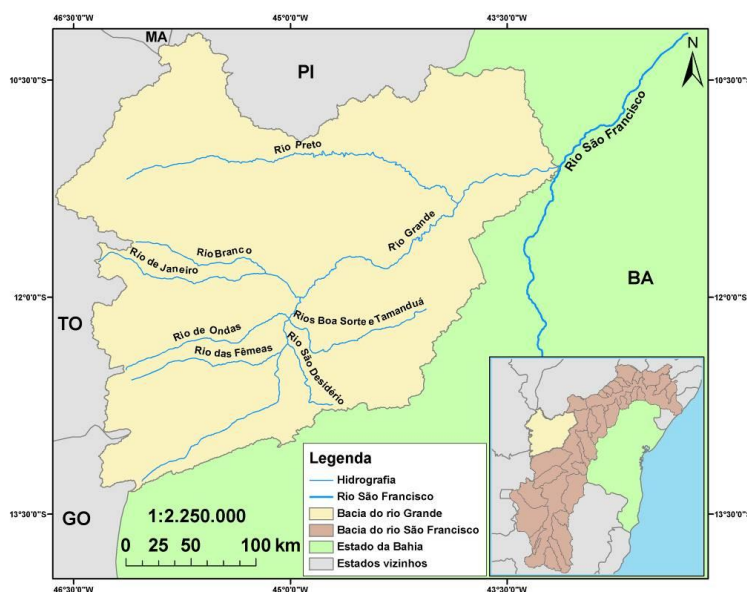


Figura 1 – Localização da bacia do rio Grande.

O Atlas hidrológico da bacia hidrográfica do rio Grande (Atlas) foi desenvolvido em duas etapas: levantamento e geração de dados hidrológicos e fisiográficos; e compilação dos dados em formato de um sistema computacional funcionando como um atlas digital da bacia do rio Grande.

### 2.1. Levantamento e geração de dados

#### *Modelo digital de elevação*

A metodologia utilizada para a geração e validação do modelo digital de elevação (MDE) foi realizada conforme as etapas descritas por ALVES SOBRINHO et al. (2010), BAENA et al. (2004) e PIRES et al. (2005), sendo estas: amostragem (Figura 2), pré-processamento dos dados de drenagem (Figura 3) e elevação, geração do MDE, pós-processamento do MDE e validação do MDE.

Nas etapas de geração e validação do MDE foram realizadas operações manuais e automáticas, com a utilização do software ESRI ArcGis.

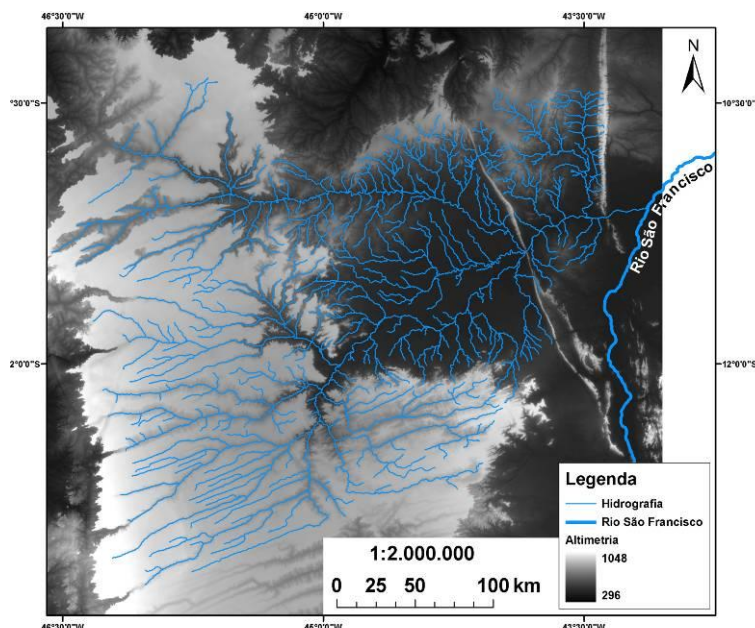


Figura 2 – Dados altimétricos e hidrografia da bacia do rio Grande utilizados na geração do MDE.

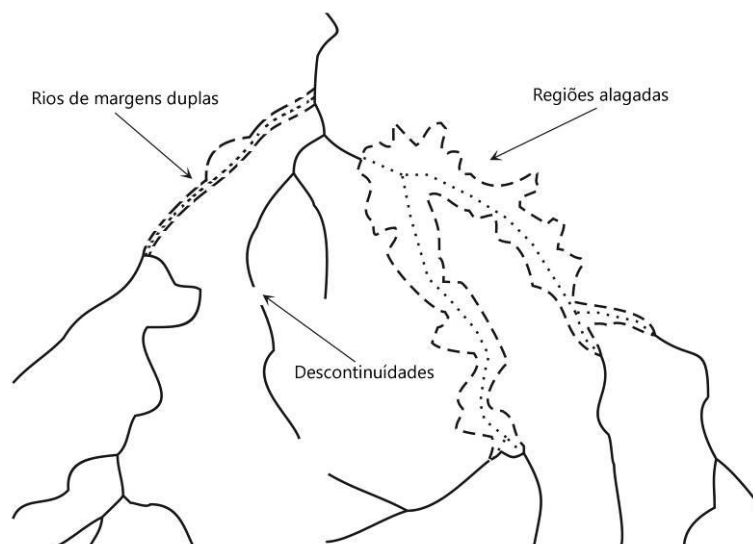


Figura 3 – Problemas na representação da hidrografia editados para a geração do MDE.

**Vazões mínimas de referência e média de longa duração**

Tendo em vista a espacialização das vazões mínimas e média em toda bacia, através do procedimento de regionalização de vazões, foram analisados os dados consistidos das estações fluviométricas (Tabela 1) da bacia pertencentes à rede hidrometeorológica da Agência Nacional de Águas (ANA) (ANA, 2009).

Foram elaborados diagramas de barras das estações, objetivando a caracterização do período de dados disponível em cada estação, de forma a permitir a identificação do período base e das estações a serem utilizadas no estudo.

Tabela 1 – Estações fluviométricas da bacia do rio Grande utilizadas no estudo.

Código	Nome	Curso d'água	Latitude (Sul)	Longitude (Oeste)	Área de drenagem (km <sup>2</sup> )
46415000	Sítio Grande	Rio Grande	12° 25' 50''	45° 05' 08''	4.983
46455000	Derocal	Rio das Fêmeas	12° 24' 37''	45° 07' 29''	5.750
46490000	Fazenda Coqueiro	Rio São Desidério	12° 24' 04''	44° 57' 14''	4.300
46543000	Fazenda Redenção	Rio de Ondas	12° 08' 11''	45° 06' 16''	5.400
46550000	Barreiras	Rio Grande	11° 09' 16''	45° 00' 33''	18.560
46570000	Ponte Serafim - Montante	Rio de Janeiro	11° 53' 45''	45° 36' 34''	2.545
46590000	Nova Vida - Montante	Rio Branco	11° 51' 09''	45° 07' 20''	7.155
46610000	São Sebastião	Rio Grande	11° 58' 46''	44° 52' 38''	32.586
46650000	Tagua	Rio Grande	11° 43' 20''	44° 30' 11''	35.564
46675000	Fazenda Macambira	Rio Grande	11° 36' 50''	44° 09' 27''	39.256
46770000	Fazenda Bom Jardim	Rio Sapão	10° 59' 33''	45° 31' 36''	5.925
46790000	Formosa do Rio Preto	Rio Preto	11° 02' 51''	45° 11' 26''	14.210
46830000	Ibipetuba	Rio Preto	11° 00' 22''	44° 31' 32''	18.200
46870000	Fazenda Porto Limpo	Rio Preto	11° 14' 08''	43° 56' 58''	21.946
46902000	Boqueirão	Rio Grande	11° 20' 38''	43° 49' 42''	68.540

As vazões mínimas utilizadas no estudo foram aquelas associadas às permanências de 90% ( $Q_{90}$ ) e 95% ( $Q_{95}$ ) e a mínima com sete dias de duração e período de retorno de 10 anos ( $Q_{7,10}$ ). A fim de caracterizar o potencial hídrico da região também foi utilizada a vazão média anual de longa duração ( $Q_{mld}$ ).

### **Precipitação média**

Com vistas à espacialização da precipitação média foram analisados os dados consistidos das 57 estações pluviométricas da bacia, assim como os dados de 27 estações localizadas no entorno da bacia (Figura 4). Os dados de precipitação foram obtidos na ANA, em seu sistema HidroWeb.

A precipitação média foi obtida para cada estação pluviométrica, pela média das precipitações anuais. Este procedimento foi realizado utilizando-se o software Hidro e planilhas eletrônicas do software Microsoft Excel.

A espacialização da precipitação média da bacia foi realizada através do procedimento de interpolação, com base no método Inverso de uma Potência da Distância (IDW), disponível no módulo *Spatial Analyst* do software ArcGis.

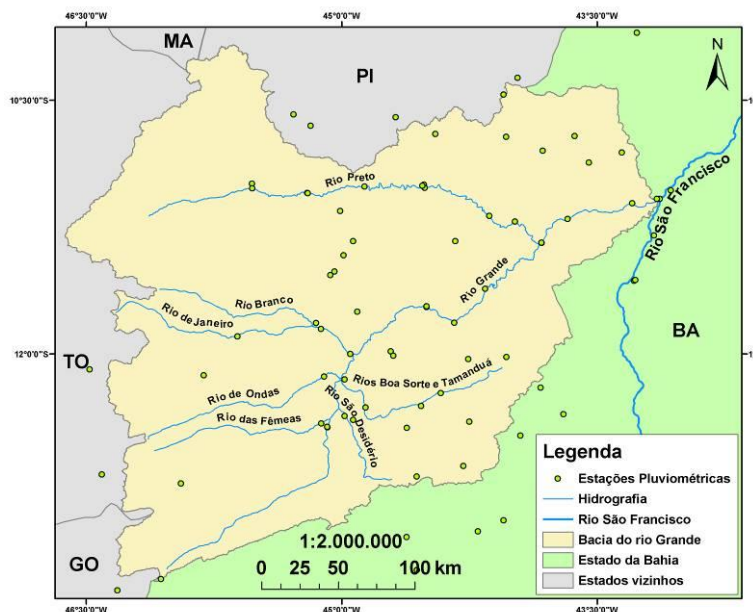


Figura 4 – Estações pluviométricas utilizadas no estudo.

**Regionalização das vazões mínimas e média**

O Atlas permite estimar as vazões mínimas e média ao longo da rede hidrográfica da bacia pelo método Tradicional (ELETROBRÁS, 1985) de regionalização de vazões. As equações de regionalização de vazões foram obtidas do trabalho de RODRIGUEZ (2008) (Tabela 2).

RODRIGUEZ (2008) obteve para a bacia do rio Grande duas regiões homogêneas. A região 12, com 10 estações fluviométricas, compreende a área da cabeceira do rio Grande até a confluência com o rio Preto, e a 13 abrange este afluente e o restante da bacia.

Tabela 2 – Equações selecionadas para representação das vazões mínimas e média da bacia do rio Grande.

Variável hidrológica	Região homogênea	Equação	Valores limites*
Q <sub>7,10</sub>	12	$Q_{7,10} = 0,063134P_{eq750}^{1,257171}$	q = 5,3 (L s <sup>-1</sup> km <sup>-2</sup> )
	13	$Q_{7,10} = 0,63859P_{eq750}^{0,859366}$	q = 5,5 (L s <sup>-1</sup> km <sup>-2</sup> )
Q <sub>95</sub>	12	$Q_{95} = 0,088584P_{eq750}^{1,212411}$	q = 6,3 (L s <sup>-1</sup> km <sup>-2</sup> )
	13	$Q_{95} = 0,665729P_{eq750}^{0,865652}$	q = 5,6 (L s <sup>-1</sup> km <sup>-2</sup> )
Q <sub>90</sub>	12	$Q_{90} = 0,103441P_{eq750}^{1,196738}$	q = 6,6 (L s <sup>-1</sup> km <sup>-2</sup> )
	13	$Q_{90} = 0,662305P_{eq750}^{0,873933}$	q = 5,8 (L s <sup>-1</sup> km <sup>-2</sup> )
Q <sub>mld</sub>	12	$Q_{mld} = 0,249026P_{eq750}^{1,10474}$	CE = 0,238
	13	$Q_{mld} = 0,715489P_{eq750}^{0,914852}$	CE = 0,199

\* valores limites correspondem à restrição de uso da equação.

CE - coeficiente de escoamento superficial.

q - vazão específica.

P<sub>eq750</sub> - vazão equivalente ao volume precipitado considerando uma inércia hídrica de 750 mm, em m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>.

## 2.2. Desenvolvimento do Atlas

De posse do modelo digital de elevação, das vazões mínimas e média das estações fluviométricas e da precipitação média das estações pluviométricas, do mapa da precipitação média, das equações de regionalização de vazões pelo método Tradicional e de mapas temáticos da bacia, foi construído o banco de dados do Atlas, o qual permite a organização, o registro e a consulta dos dados hidrológicos da bacia do rio Grande.

O Atlas foi desenvolvido utilizando-se a ferramenta de programação Borland Delphi 7.0, enquanto as rotinas afetas a Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) foram implementadas com o uso do componente ESRI MapObjects 2.3 (MapObjects), o qual é composto por um conjunto de funções para mapeamento.

Na sequência, apresenta-se o procedimento metodológico utilizado para o desenvolvimento do Atlas, conforme as sub-rotinas mostradas na Figura 5.

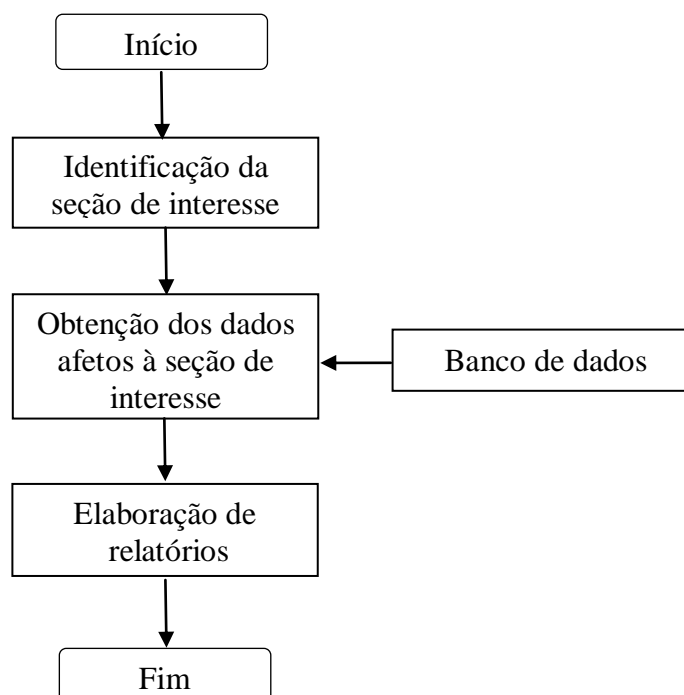


Figura 5 – Fluxograma representando as sub-rotinas executadas pelo Atlas.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Atlas hidrológico da bacia hidrográfica do rio Grande foi desenvolvido no Instituto de Ciências Ambientais e Desenvolvimento Sustentável (ICADS) da Universidade Federal da Bahia (UFBA), em parceria com o Centro de Referência em Recursos Hídricos (CRRH) da Universidade Federal de Viçosa (UFV).

Elaborado em uma interface amigável, o Atlas hidrológico da bacia hidrográfica do rio Grande (Atlas), além de permitir visualizar dados geográficos da bacia hidrográfica do rio Grande, possibilita a obtenção, para qualquer seção de interesse, de informações hidrológicas, como precipitação média anual e vazões mínimas e média dos cursos d'água.

O Atlas pode ser obtido, gratuitamente, a partir de *download* no seguinte endereço eletrônico: <http://www.dea.ufv.br/crrh>. A Figura 6 é ilustrativa de sua tela de apresentação, constando nessa o seu nome e as instituições envolvidas em seu desenvolvimento.

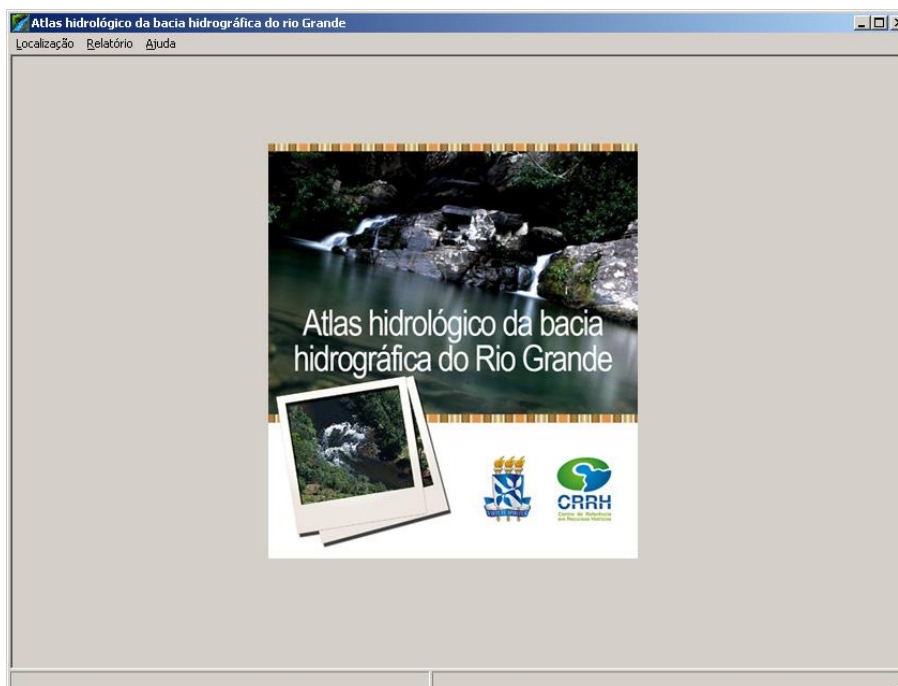


Figura 6 – Tela de apresentação do Atlas hidrológico da bacia hidrográfica do rio Grande.

Na Figura 7 é apresentada a tela principal do Atlas, denominada “Localização”, sendo esta utilizada para a identificação, por parte do usuário, da seção de interesse na qual se deseja obter informações hidrológicas da bacia do rio Grande.

Nesta tela, o usuário escolhe a seção de interesse, podendo tal procedimento ser realizado de duas formas (campo 1): a primeira a partir do clique do mouse sobre a seção (opção “Mapa”), e a segunda (opção “Coordenadas geográficas”) a partir da entrada dos valores de latitude e longitude da seção que se quer buscar.

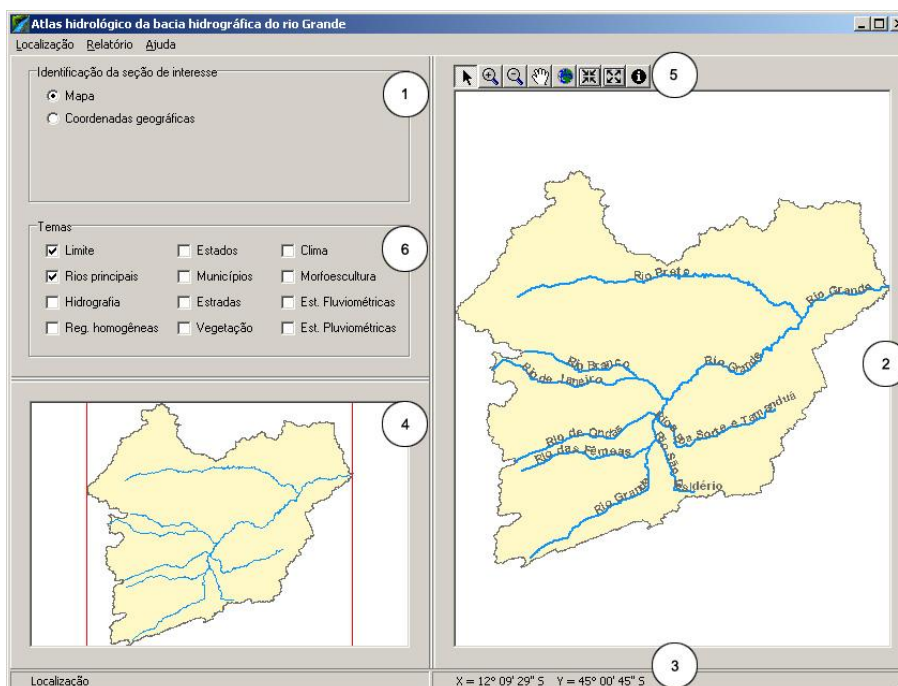


Figura 7 – Tela Localização do Atlas.

Na Figura 8a apresenta-se a condição na qual o usuário fornece os valores de latitude e longitude, no sistema de coordenadas geográficas e *datum* Sirgas 2000. No caso de as coordenadas geográficas não estarem contidas na bacia em estudo, é emitida uma mensagem alertando para tal fato.

Na Figura 8b é mostrada a condição na qual o usuário fica habilitado a identificar a seção de interesse pelo clique em um mapa (campo 2 da Figura 7). Dependendo da forma como o usuário movimentava o cursor sobre o mapa, são apresentadas na barra de status do software (campo 3 da Figura 7) a latitude e a longitude da posição corrente.

Ao identificar a seção de interesse, a partir das opções “Mapa” ou “Coordenadas geográficas”, o Atlas apresenta uma caixa de diálogo pedindo a confirmação da escolha da seção de interesse. Nela são mostrados os dados básicos da seção, na qual constam: o nome do município, a posição (em coordenadas geográficas) e a área de drenagem da seção (em km<sup>2</sup>).

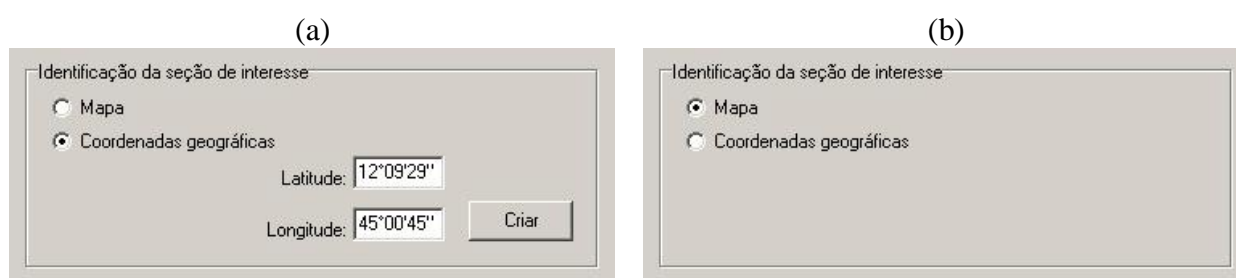










Figura 8 – Identificação da seção de interesse: (a) coordenadas geográficas; e (b) mapa.

Visando facilitar a identificação da seção de interesse, a tela “Localização” possui dois mapas: no primeiro (campo 4 da Figura 7), são mostrados o limite e os rios principais da bacia em estudo, bem como a delimitação, por um retângulo vermelho, da área para a qual é feito o detalhamento da hidrografia apresentada no mapa do campo 2. Para a manipulação deste mapa são disponibilizadas ferramentas (campo 5) comumente encontradas em softwares de sistemas de informações geográficas (SIG), sendo estas:

-  Cursor: utilizada para definir a seção de interesse (opção “Mapa”).
-  Zoom +: permite aumentar o detalhamento da região selecionada.
-  Zoom -: permite diminuir o detalhamento da região selecionada.
-  Pan: permite movimentar o mapa.
-  Full Extend: permite visualizar toda a extensão dos temas visíveis.
-  Fixed zoom +: permite aumentar o detalhamento do mapa em uma mesma proporção.
-  Fixed zoom -: permite diminuir o detalhamento do mapa em uma mesma proporção.
-  Identificação: permite obter informações a respeito do ponto escolhido.



Na Figura 9 apresenta-se a tela “Identificação”, que resulta da escolha de um ponto a partir da utilização da ferramenta “Identificação”. Nesta são apresentadas as informações acerca da posição (coordenadas geográficas), altitude (metros), área de drenagem (km<sup>2</sup>), precipitação média anual (mm) e dos temas que estão habilitados no campo 6 da Figura 7.

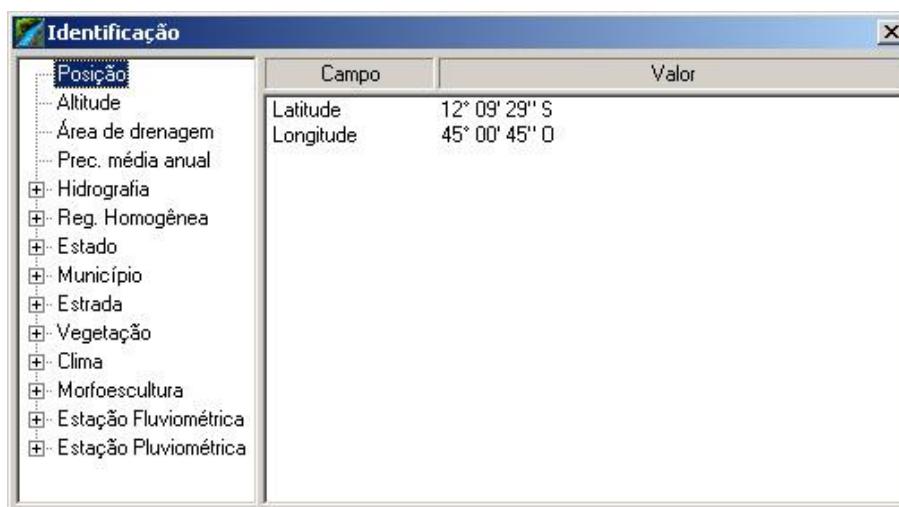


Figura 9 – Tela Identificação do Atlas.

Visando fornecer maior facilidade na localização das seções de interesse e apresentar ao usuário outras informações afetas à bacia, o Atlas permite a adição e, ou, exclusão de novos temas (campo 6 da Figura 7), sendo disponibilizados, além do limite e os rios principais da bacia, outros temas como:

- Hidrografia na escala do milionésimo da bacia.
- Regiões hidrologicamente homogêneas obtidas para a área em estudo.
- Estados circunvizinhos à bacia.
- Divisão municipal da bacia.
- Malha viária da bacia.
- Vegetação da bacia.
- Clima da bacia.
- Morfoescultura da bacia.
- Distribuição das estações fluviométricas da bacia.
- Distribuição das estações pluviométricas da bacia e circunvizinhas.

Uma vez identificada a seção de interesse, o Atlas procede, automaticamente, à obtenção dos dados necessários para a aplicação do método de regionalização Tradicional e realiza a estimativa das vazões mínimas e média, bem como da precipitação média anual, as quais são apresentadas na tela “Disponibilidade hídrica”.

Para fins de caracterização da vazão mínima, o Atlas disponibiliza tanto a vazão com sete dias de duração e período de retorno de 10 anos ( $Q_{7,10}$ ), como as vazões associadas às permanências de 90% ( $Q_{90}$ ) e 95% ( $Q_{95}$ ), as quais constituem as principais formas de quantificação da vazão mínima utilizadas pelos órgãos gestores de recursos hídricos para a concessão da outorga. Ainda referente ao estudo de vazões, o Atlas apresenta a vazão média

de longa duração ( $Q_{mld}$ ), a qual visa identificar a vazão máxima possível de ser regularizada. Na Figura 10 apresentam-se as vazões estimadas pelo Atlas para uma seção da hidrografia da bacia do rio Grande.

Considerando que os valores estimados pelo Atlas advêm de equações de regressões regionais e que estas foram obtidas a partir de informações providas de seções fluviométricas com maiores áreas de drenagem, essas equações apresentam, conseqüentemente, restrições de uso (Tabela 2) em seções com pequenas áreas de drenagem. Este fato está associado ao comportamento hidrológico diferenciado das seções fluviométricas com maiores áreas de drenagem em relação às áreas de cabeceira. Assim, a fim de alertar o usuário em relação a essas restrições, o Atlas apresenta na tela “Disponibilidade hídrica” um aviso indicando tal situação.

Localização	
Latitude: 12° 11' 34'' S	Município: Barreiras
Longitude: 45° 02' 32'' O	Área de drenagem: 15.849,2 km <sup>2</sup>

Precipitação média	
Anual	1.007,7 mm

Vazões			
$Q_{7,10}$	28,6	$m^3 s^{-1}$	
$Q_{90}$	34,9	$m^3 s^{-1}$	
$Q_{95}$	32,2	$m^3 s^{-1}$	
$Q_{mld}$	53,7	$m^3 s^{-1}$	

Figura 10 – Tela Disponibilidade hídrica do Atlas apresentando a precipitação média anual e as vazões mínimas e média estimadas para uma seção da hidrografia da bacia do rio Grande.

Ao clicar no botão “Relatório” da tela “Disponibilidade hídrica”, ou no item “Relatório” do menu principal, o Atlas gera um relatório (Figura 11) com as informações básicas da seção de interesse, sua localização em coordenadas geográficas (latitude e longitude), os nomes do rio, do município, sua vegetação, clima e morfoescultura, bem como sua área de drenagem ( $km^2$ ) e altitude (m).

O nome do rio apresentado é obtido a partir das informações constantes na hidrografia fornecida pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), não tendo, tais informações, sido processadas a fim de verificar sua correção. Assim, os nomes de rio apresentados devem ser utilizados com critério.

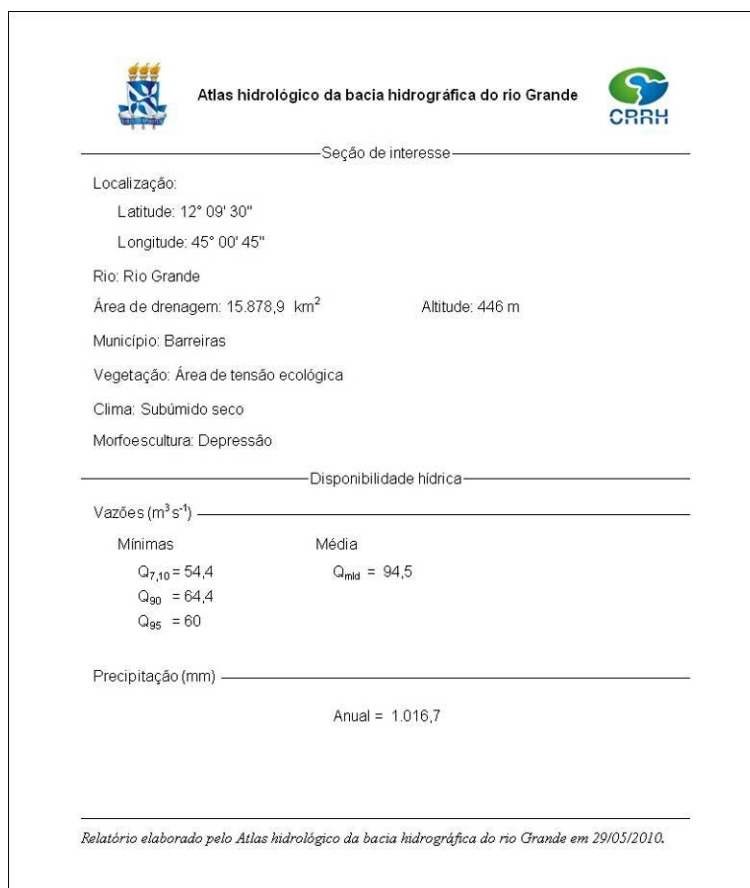


Figura 11 – Relatório gerado pelo Atlas.

Também são apresentados os valores estimados das vazões mínimas e média da seção de interesse, conforme mostrados na tela “Disponibilidade hídrica”. Da mesma forma da tela “Disponibilidade hídrica”, no relatório gerado pelo Atlas, quando é o caso, exibe-se uma mensagem de alerta indicando se os valores de vazões estimados foram obtidos para uma área de drenagem inferior ou superior ao intervalo de restrição das equações de regressões regionais.

#### 4. CONCLUSÕES

A análise dos resultados permitiu concluir que:

- o banco de dados do Atlas hidrológico da bacia hidrográfica do rio Grande armazena, de forma ordenada, informações hidrológicas de toda a bacia do rio Grande;
- o Atlas permite visualizar dados geográficos como hidrografia, estados, municípios, malha viária, vegetação, clima, morfoesculturas e a distribuição das estações fluviométricas e pluviométricas da bacia do rio Grande;
- o Atlas permite obter as vazões mínimas (Q<sub>7,10</sub>, Q<sub>90</sub> e Q<sub>95</sub>) e média e a precipitação média anual para qualquer seção de interesse da bacia do rio Grande, constituindo-se importante ferramenta para subsidiar o processo de planejamento e gestão de recursos hídricos na região, além de fornecer informações para estudos nas áreas das ciências agrárias, engenharias e ciências biológicas.

**AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia – FAPESB e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pelo apoio financeiro; e ao Instituto de Gestão das Águas e Clima (INGÁ), pelo apoio técnico e a cessão de dados.

**REFERÊNCIAS**

- ANA – Agência Nacional de Águas.** *Sistema de Informações Hidrológicas (HidroWeb)*. Disponível em: < <http://hidroweb.ana.gov.br>>. 2011.
- ALVES SOBRINHO, T.; OLIVEIRA, P. T. S.; RODRIGUES, D. B. B.; AYRES, F. M.** *Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM*. *Engenharia Agrícola, Jaboticabal*, v.30, n.1, p.46-57, 2010.
- BAENA, L. G. N.; SILVA, D. D. da; PRUSKI, F. F.; CALIJURI, M. L.; SILVA, E. O. da.** *Regionalização de vazões com base em modelo digital de elevação para a bacia do rio Paraíba do sul*. *Engenharia Agrícola, Jaboticabal*, v.24, n.3, p.612-624, 2004.
- ELETROBRÁS – Centrais Elétricas Brasileiras S.A.** *Metodologia para regionalização de vazões*. Rio de Janeiro, 1985.
- MOREIRA, M. C.; SILVA, D. D. da.** *Atlas hidrológico da bacia hidrográfica do rio Grande*. Editora Gazeta: Porto Alegre, RS. 80p. 2010.
- PIRES, J. M.; NASCIMENTO, M. C. do.; SANTANA, R. M.; RIBEIRO, C. A. A. S.** *Análise da exatidão de diferentes métodos de interpolação para geração de modelos digitais de elevação e obtenção de características morfológicas em bacias hidrográficas*. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre*, v. 10, n. 2, p. 39-47, 2005.
- RODRIGUEZ, R. del G.** *Proposta conceitual para a regionalização de vazões*. Viçosa, MG: UFV, 2008. 254 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.