

## Variabilidade hidrológica no arquipélago de Anavilhanas observada por sensoriamento remoto orbital

Rogério Ribeiro Marinho<sup>1,2</sup>  
Naziano Pantoja Filizola Junior<sup>1</sup>  
Elisa Natalia Armijos Cardenas<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Amazonas - UFAM  
Departamento de Geografia  
Laboratório de Potamologia Amazônica – LAPA  
Av. General Rodrigo Octávio, 6200, Coroado I - 69077-000 Manaus-AM, Brasil  
rogeo@ufam.edu.br; naziano.filizola@gmail.com; armijos.elisa@gmail.com

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA  
Programa de Pós-Graduação em Clima e Ambiente (INPA/UEA)  
Av. André Araújo, 2936, Campus II, Aleixo, 69060-001 Manaus-AM, Brasil

**Abstract.** This paper aims to analyze the spatial and temporal water body variability in Anavilhanas archipelago, an anabranching reaches in the Negro River. Altimetry data from mission Envisat and multispectral images of Landsat 5 was used to evaluate the flood-pulse and extreme climatic events between 2002 and 2010. Twelve Landsat 5 images were acquired during the high and low water phases. The water body classification was made using a threshold on short-wave Infrared band. Altimetry data allowed identify the hydrologic cycle upstream and downstream of the archipelago. The images acquired between the flood of 2009 and the drought of 2010 showed a huge reduction in the water bodies in Anavilhanas archipelago. The results shown in this paper can be strategic for the management actions in areas affected by extreme climatic events.

**Palavras-chave:** wetlands, remote sensing, Anavilhanas, áreas úmidas, sensoriamento remoto, Anavilhanas.

### 1. Introdução

A região Amazônica possui uma densa rede de drenagem, onde é possível encontrar grande quantidade de áreas alagadas. Áreas naturalmente alagadas da bacia Amazônica possuem um importante papel na regulação do ciclo hidrológico, servindo muitas vezes como reservatórios durante períodos de secas extremas (SILVA et al., 2007). Estes ecossistemas alagáveis tem sua dinâmica de inundação controlada principalmente pela variabilidade natural do nível da água, conhecido como pulso de inundação, que pode variar de 2 a 18 metros nos rios da bacia Amazônica (JUNK et al., 1989; FILIZOLA et al., 2002).

No monitoramento da variação do ciclo hidrológico pode ser utilizados dados coletados de estações fluviométricas diariamente ou dados coletados por plataformas de sensoriamento remoto, que possibilita maior precisão nas estimativas de extensão da área inundada. Apesar da quantidade de dados disponíveis sobre as áreas alagadas na Amazônia, o número de estudos e pesquisas realizadas a respeito desse tema ainda é insuficiente para entender o funcionamento deste ecossistema. Uma das áreas alagadas na Amazônia com mais destaque é o Rio Negro, o maior e mais importante ecossistema aquático de água preta da bacia Amazônica, responsável por drenar uma área que representa aproximadamente 14% da bacia, e cuja descarga líquida é aproximadamente 15% da vazão total do rio Amazonas medida na foz (FILIZOLA et al., 2002).

No baixo curso do rio Negro o canal fluvial apresenta-se num imbricado e complexo padrão composto por mais de 400 ilhas e 70 lagos, com canais, pântanos e bancos de areias parcialmente submersos, formando o arquipélago de Anavilhanas, o segundo maior agrupamento de ilhas fluviais do mundo. O padrão anastomosado predomina na área, marcado por formas longitudinais de grandes dimensões separadas por furos, paranás e igarapés, caracterizando a tipologia de canais múltiplos. O conhecimento da dinâmica fluvial neste

local é importante do ponto de vista dos recursos hídricos, sedimentológico, geomorfológico, do planejamento regional e da conservação ambiental (ALVES, 2013).

Este trabalho tem como objetivo identificar a variabilidade de corpos d'água no arquipélago de Anavilhanas por meio de uma série histórica de imagens do satélite Landsat TM5 e dados de altimetria radar do satélite Envisat.

## 2. Área de Estudo

O arquipélago de Anavilhanas localiza-se no baixo curso do Rio Negro, envolvendo parte dos municípios de Manaus e Novo Airão (Figura 01). O Parque Nacional de Anavilhanas foi criado inicialmente como Estação Ecológica em 1981 com o objetivo preservar o arquipélago fluvial de Anavilhanas e suas diversas formações florestais, com uma área total de 212.787 hectares. Possui um clima do tipo tropical chuvoso, também denominado tropical úmido ou equatorial, que tem como principais características alta pluviosidade distribuída durante todo o ano e elevadas temperaturas, as quais não sofrem grande alteração durante a mudança de estações (ALVES, 2013).

Na bacia do Rio Negro o relevo é pouco dissecado e os processos erosivos são menos intensos, conseqüentemente a carga de sedimentos em suspensão é baixa. A presença das florestas inundáveis e imensos areais nas áreas drenadas pelos rios da bacia contribuem para a produção de substâncias húmicas, que aliadas a falta de cálcio e magnésio conferem um caráter ácido às águas, e conseqüentemente um pH baixo e cor escura. São consideradas águas quimicamente pobres e de baixa produtividade. Localmente, as áreas inundadas por águas pretas são chamados de igapós. (PAROLIN et al., 2005).

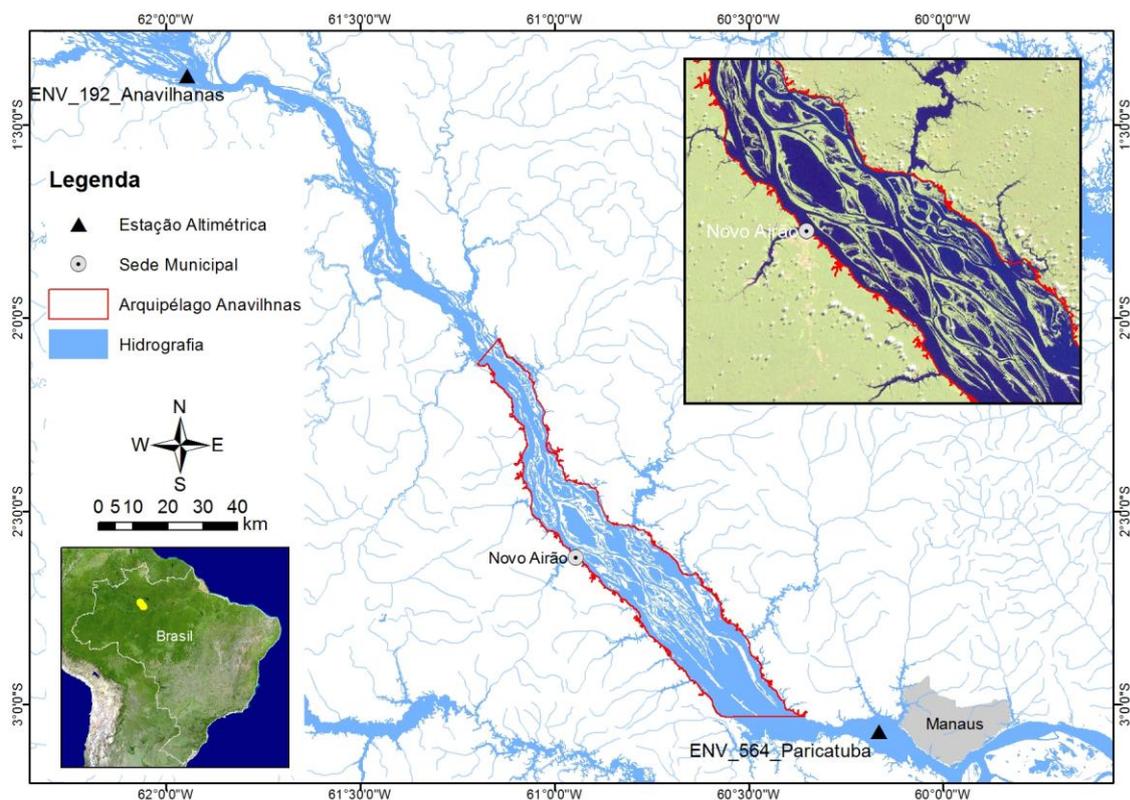


Figura 01: Mapa de localização da área de estudo e estações altimétricas.

## 3. Material e Métodos

O mapeamento da área ocupada por água durante ciclos de cheias e secas foi realizado através de imagens do satélite Landsat 5 (sensor TM), cena 231/62 fornecida pelo Serviço

Geológico Americano (USGS, 2015). As imagens utilizadas possuem nível de processamento L1T, com correções radiométricas baseadas nos dados coletados pelo próprio sensor e correções geométricas realizada com pontos de controle coletados com o auxílio do MDE-SRTM. A seleção das imagens levou em consideração a menor cobertura de nuvens disponível e análise das cotas registradas na estação fluviométrica do Porto de Manaus durante o período de 2002 a 2010, disponíveis no portal Hidroweb (ANA, 2015). Para classificar áreas com água nas imagens do satélite Landsat 5, foi executada operação de fatiamento dos números digitais da banda do infravermelho médio.

Dados oriundos do sensor radar altimétrico da missão Envisat (Tabela 1) foram utilizados para estimar a altura da água na região a montante e a jusante do arquipélago. Estes dados foram processados automaticamente com o uso do programa Virtual Altimetry Station - VALS e estão disponíveis na base de dados do Observatório ORE-HYBAM (www.ore-hybam.org). A localização das estações altimétricas é apresentada na Figura 01 e detalhes dos dados altimétricos utilizados neste trabalho pode ser conferido na Tabela 2.

Tabela 1 - Características dos satélites utilizados neste trabalho.

Satélite/Sensor	Data Lançamento	Final da missão	Tempo de revisita	Altitude	Agência
Envisat/RA2	01/03/2002	08/06/2012	~ 35 dias	~ 799,8 km	ESA
Landsat/TM5	01/03/1984	05/06/2013	16 dias	705 km	NASA

Foi possível identificar dois traços altimétricos da missão Envisat próximos da área em estudo (traços 192 e 564), cuja disposição e localização dependem principalmente do plano de órbita do satélite. Neste sentido, os dados altimétricos analisados correspondem a 76 medições do nível do rio coletados no período 2002 a 2010 por este satélite.

Tabela 2 - Características dos dados fluviométricos das estações altimétricas.

Estação	Latitude	Longitude	Distância (km) do arquipélago	Período de dados disponível
ENV_192_Anavilhanas	-1.3712	-61.9459	129 (montante)	10/11/2002 – 11/07/2010
ENV_564_Paricatuba	-3.0716	-60.1642	31 (jusante)	23/11/2002 – 24/07/2010

A variabilidade hidrológica da região do baixo rio Negro foi analisada utilizando os dados da estação fluviométrica do Porto de Manaus, com o objetivo de comparar os resultados obtidos durante os processamentos dos dados de sensoriamento remoto. Por fim, foram elaborados gráficos de cotas média dos dados altimétricos e da área alagada no arquipélago de Anavilhanas para o período de 2003 a 2010.

## 4. Resultados e Discussão

### 4.1 Variabilidade do nível do rio Negro observado pela altimetria do satélite Envisat

A série histórica de observações fluviométricas possibilitou identificar o regime hidrológico do baixo Rio Negro com base no referencial local em Manaus, onde o período de enchente inicia em janeiro e se estende até abril. A cheia ocorre entre os meses de maio e julho. O período de vazante se inicia no mês agosto até outubro. Os registros dos valores mínimos de cota ocorrem nos meses de outubro e novembro, época da seca do rio. A Figura 02 apresenta as estimativas de cotas altimétricas nas estações virtuais a montante e a jusante de Anavilhanas. Estes resultados representam bem o comportamento hidrológico observado na estação fluviométrica convencional, sendo possível identificar os diferentes períodos hidrológicos (enchente, cheia, vazante e seca) em distintas localidades do rio Negro.

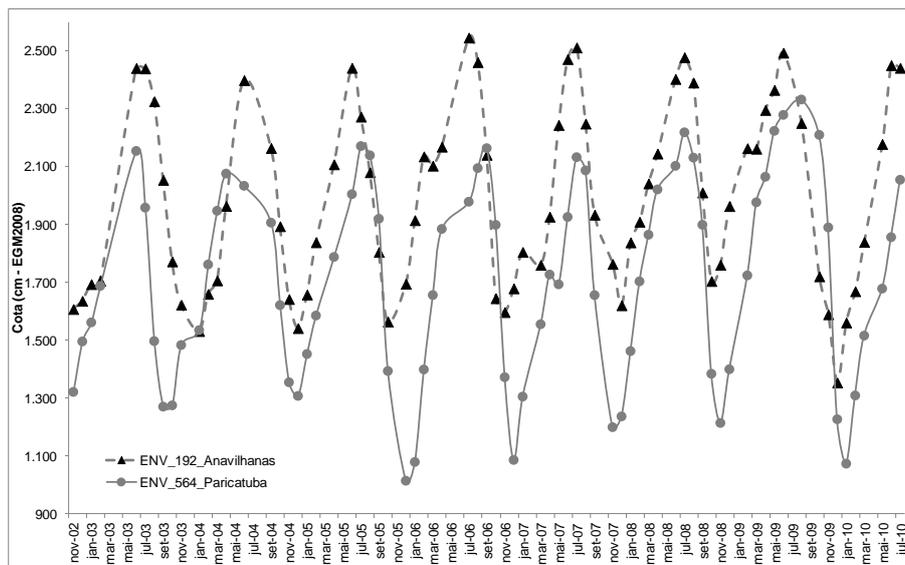


Figura 2: Nível do rio Negro derivado de dados altimétricos do satélite Envisat

Na região de montante a cota média observada no período foi de 1.988 cm e na região a jusante do arquipélago a cota média foi de 1.722 cm, evidenciando um gradiente de declividade com 266 cm em uma distância de 296 km. Em período de eventos climáticos extremos, como observado entre a seca de 2005 e a cheia de 2006, a diferença entre a cota máxima e mínima, a montante e a jusante do arquipélago, pode chegar a 1.530 cm.

#### 4.2 Variabilidade hidrológica de Anavilhanas observada pelo satélite Landsat 5

Para este trabalho foram selecionadas 12 imagens do satélite Landsat 5 disponíveis no acervo da USGS, sendo sete imagens do período de cheia/vazante do rio Negro e cinco imagens do período de seca. A Figura 03 apresenta a variabilidade das cotas do rio Negro observado em Manaus e a área alagada no arquipélago, mapeada a partir das imagens Landsat 5 selecionadas.

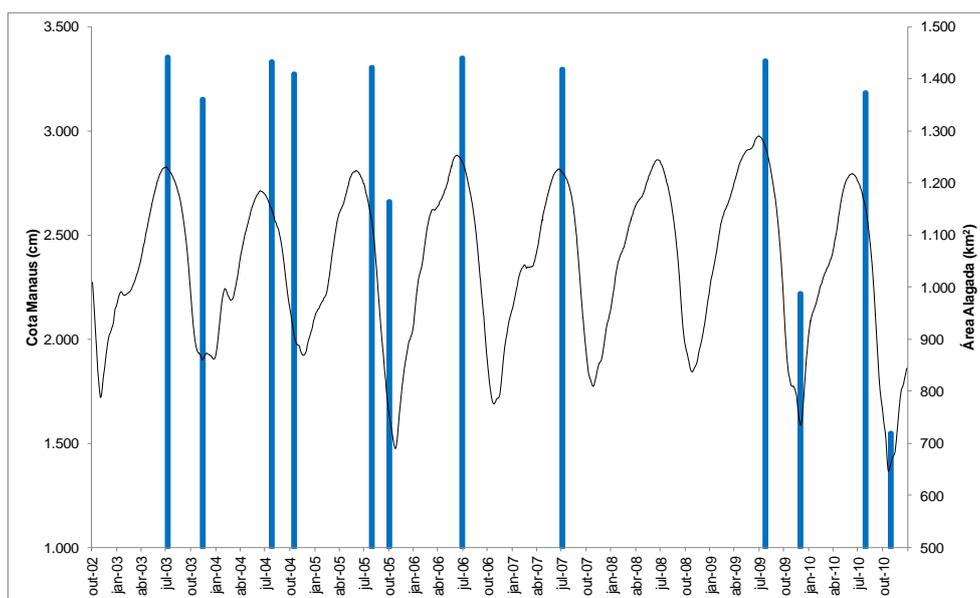


Figura 03. Variabilidade anual do Rio Negro em Manaus (linhas) e área de água mapeada (barras) no período de 2003 a 2010.

No período analisado eventos extremos de cheias e secas ocorreram na bacia Amazônica, e neste trabalho foi possível observar a variação espacial dos corpos d'água presentes no arquipélago de Anavilhanas na cheia de 2009 e nas secas de 2005 e 2010 (Figura 04).

No recorte temporal analisado, a área média ocupada por água no período de cheia correspondeu a 1.423 km<sup>2</sup>, já a área média ocupada por água no período de seca correspondeu a 1.128 km<sup>2</sup>. Pela análise das imagens da cheia de 2009, adquirida no dia 24 de junho, e da seca de 2010 adquirida no dia 31 de outubro, quando a cota do Rio Negro em Manaus atingiu os valores de 2.929 cm e 1.392 cm, respectivamente, foi observada uma variação de 716 km<sup>2</sup> de massa d'água entre estes dois eventos hidrológicos. Ou seja, estes eventos extremos de cheia e seca ocasionou uma variação de aproximadamente 249% na área ocupada por água no arquipélago de Anavilhanas.

A grande variação na área ocupada por corpos d'água nos lagos e canais do arquipélago observada na Figura 04 mostra que muito lagos perderam conexão com a drenagem principal durante as secas de 2005 e 2010, assim como muitos bancos de areia ficam expostos a montante e a jusante do arquipélago.

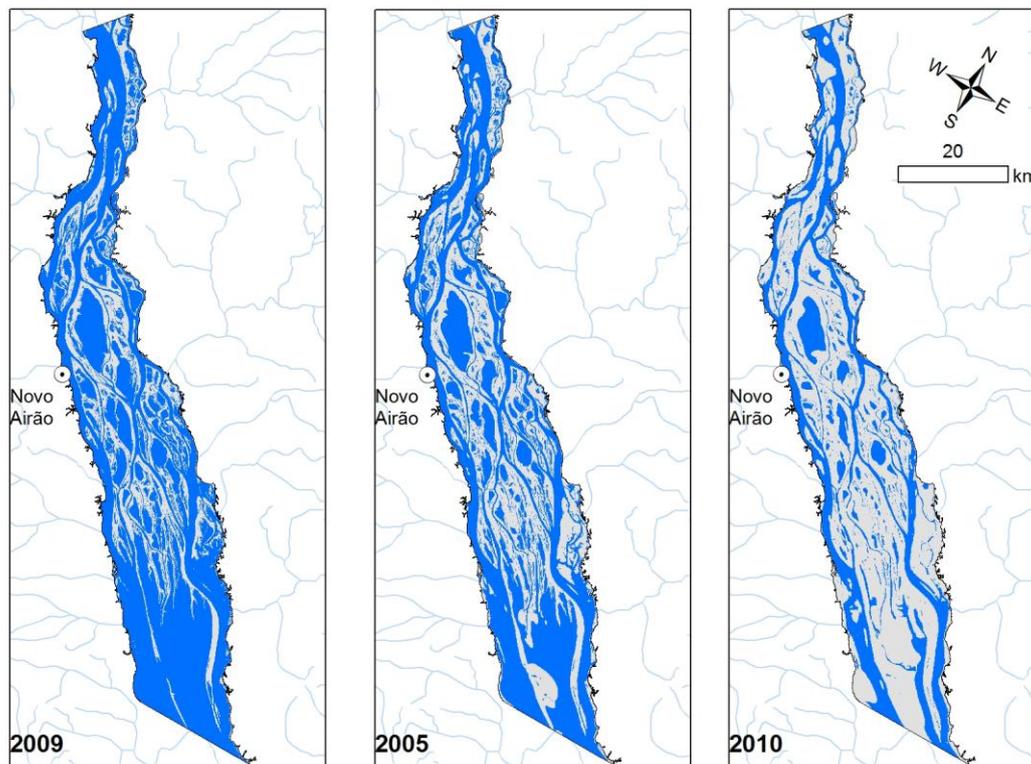


Figura 04. Variabilidade espacial dos corpos d'água na cheia de 2009, e nas secas de 2005 e 2010 no arquipélago de Anavilhanas.

Os mapas produzidos possibilita identificar modificações na paisagem fluvial ocasionada pelos ciclos de cheias e secas em eventos extremos, principalmente de secas, que pode comprometer a qualidade da água nessas áreas, prejudicar a fauna aquática e afetar a população humana local. Conforme já observado por Finck et al. (2007) e Xenopoulos et al. (2005), mudanças climáticas em ecossistemas alagados podem alterar o regime hidrológico, afetar a biodiversidade e impactar populações humanas que dependem de atividades como a pesca artesanal, comercial e esportiva.

## 5. Conclusões

Neste trabalho foi possível observar a variabilidade hidrológica do rio Negro sobre o arquipélago de Anavilhanas a partir de uma série temporal de dados orbitais. O uso de dados altimétricos permitiram verificar que a região a montante do arquipélago tem maior amplitude no nível d'água que a região a jusante. O uso de imagens Landsat permitiu identificar as principais alterações no hidrossistema de Anavilhanas, como lagos e canais mais afetados por eventos climáticos extremos. O uso conjunto de dados altimétricos com imagens multiespectrais permite o monitoramento do ciclo hidrológico em ambientes alagados complexos, como em Anavilhanas.

A técnica de fatiamento dos números digitais da banda do infravermelho médio mostra-se como uma metodologia rápida e de fácil aplicação para produção de mapas de área alagada. No entanto, o uso de dados ópticos de sensoriamento remoto permite delimitar apenas corpos de água expostos. Neste sentido, imagens de radar de abertura sintética (SAR) possuem maior sensibilidade para mapear área alagadas sob o dossel da vegetação.

Resultados como o aqui apresentados pode apoiar o plano de gestão do Parque Nacional de Anavilhanas, bem como na tomada de decisão dos gestores na ocorrência de futuros eventos extremos de cheias e secas com potenciais impactos sobre o ecossistema do arquipélago, uma vez que novas missões de sensoriamento orbital oferecem continuidade na aquisição de dados altimétricos (SAR/Altika, Jason-2 e Jason-3) e ópticos (Landsat 8, Sentinel-2).

## Agradecimentos

Agradecemos ao ICMBio pelo apoio no desenvolvimento do projeto de pesquisa sob número SISBIO 56110-1, a Agência Nacional de Águas (ANA) e ao ORE-HYBAM pela disponibilização dos dados hidrológicos. Ao Serviço Geológico dos Estados Unidos pela disponibilização das imagens Landsat 5.

## Referências Bibliográficas

- Agencia Nacional de Águas - ANA. **Sistema de Informações Hidrológicas**. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/default.asp>>. Acesso em 11 de agosto de 2015
- Alves, N. S. **Mapeamento Hidromorfodinâmico do Complexo Fluvial de Anavilhanas. Contribuição aos Estudos de Geomorfologia Fluvial dos Rios Amazônicos**. São Paulo: USP, 2013. 232 p. Tese (Doutorado em Geografia) - Programa de Pós-graduação em Geografia Física, Faculdade de Filosofia, Letras e Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013
- Ficke, A. D.; Myrick, C. A.; Hansen, L. J. Potential impacts of global climate change on freshwater fisheries. **Reviews in Fish Biology and Fisheries**, v. 17, n. 4, p. 581-613, 2007.
- Filizola, N.; Guyot, J. L.; Molinier, M.; Guimarães, V.; Oliveira, E.; Freitas, M. A. Caracterização hidrológica da bacia Amazônica. In: Rivas, A. & Freitas, C. E. D. E. C. **Amazônia uma perspectiva interdisciplinar**, Manaus, Brasil: EDUA, 2002, p.33-53.
- Junk, W. J., Bailey, P. B. e Sparks, R. E. The flood pulse concept in river-floodings systems. **Canadian Special Publication of Fisheries and aquatic Sciences**. v. 106, p. 110- 127,1989.
- Parolin, P.; Piedade, M. T. F. Junk, W. J. Os rios da Amazônia e suas interações com a floresta. **Ciência & Ambiente**. Universidade Federal de Santa Maria. UFSM. n. 31, p. 49 - 64, 2005.
- Silva, T. S. F.; Freitas, R. M.; Novo, E. M. L. M. Monitoramento de áreas alagáveis. In: Rudorff, B. F. T.; Shimabukuro, Y. E.; Ceballos, J. C.; (Org.) **Sensor Modis e suas aplicações ambientais no Brasil**. São José dos Campos, SP: Parentese, 2007.
- United States Geologic Survey (USGS). **The USGS global visualization viewer**. Disponível em: <<http://glovis.usgs.gov/>>. Acesso em 15 de março de 2015
- Xenopoulos, M. A.; Lodge, D. M.; Alcamo, J.; Märker, M.; Schulze, K.; Van Vuuren, D. P. Scenarios of freshwater fish extinctions from climate change and water withdrawal. **Global Change Biology**, vol. 11, n. 10 p. 1557–1564, 2005.