

# Levantamento dos espelhos d'água acima de 20ha em todo o território brasileiro através de sensoriamento remoto

Margareth Sílvia Benício de Souza Carvalho<sup>1</sup>  
Eduardo Sávio Passos Rodrigues Martins<sup>1</sup>  
Ana Maria Lebre Soares<sup>1</sup>  
Luiz Carlos Guerreiro Chaves<sup>1</sup>  
Francisco de Assis Jorge de Oliveira<sup>1</sup>  
Daniel Sosti Perini<sup>2</sup>  
Rogério de Abreu Menescal<sup>3</sup>  
Morris Scherer-Warren<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos - FUNCEME  
Av Rui Barbosa 1246, Aldeota, CEP 60115-221, Fortaleza - CE, Brasil  
esm9@secrel.com.br, {margareth, anamaria, luizcarlos, jorge}@funceme.br

<sup>2</sup> Ministério da Integração Nacional  
Esplanada dos Ministérios, Bloco E, 9º. Andar, Sala 965, CEP 70062-900, Brasília-DF, Brasil  
dsperini@gmail.com

<sup>3</sup> Agência Nacional de Águas  
Setor Policial, Área 5, Quadra 3, CEP 70610-200, Brasília-DF, Brasil  
rmenescal@ana.gov.br , morris@ana.gov.br

**Abstract.** This article describes the application of brazilian satellite CBERS-2 images in order to carry out a reservoir inventory and develop GIS-based maps of reservoirs for Brazil. This study is quite important in order to determine the hydrological impacts of small dams on larger ones in term of water yield. Reservoirs were mapped to a 20 ha minimum for the Brazil and 5 ha minimum for the Nordeste Region. The results are a comprehensive and reliable reservoir inventory database. It was mapped 32.036 reservoirs to a 20 ha minimum for the Brazil and 5.976 reservoirs to a 5 ha minimum for the Nordeste Region.

**Palavras-chave:** reservoirs, remote sensing, CBERS-2, GIS, espelhos d'água, sensoriamento remoto, CBERS-2, SIG,

## 1. Introdução

O Ministério da Integração Nacional (MI) iniciou em 2004 uma série de ações na tentativa de minimizar riscos associados às barragens e assim reduzir a ocorrência de acidentes envolvendo essas estruturas em todo o Brasil. Esse conjunto de ações constituiu-se no Projeto de Segurança de Barragens. Um dos maiores entraves encontrados foi o total desconhecimento do poder público sobre o número, a localização, a condição física e os responsáveis pelas barragens brasileiras.

Uma das ações para reverter esse quadro foi a criação, em parceria com a Agência Nacional de águas (ANA), do Cadastro Nacional de Barragens (CNB). Inicialmente o cadastramento de barragens foi tentado por meio de autocadastramento, ou seja, pelo preenchimento estimulado da ficha de cadastro a partir dos próprios responsáveis ou instituições fiscalizadoras nos estados e municípios. Em função do pouco retorno obtido, concluiu-se pela necessidade de uma pré-identificação das barragens de forma extensiva em todo o território brasileiro, para que numa segunda etapa as indicações de preenchimento fossem mais direcionadas. Evitando assim a desculpa do desconhecimento por parte das instituições. Assim, o uso de imagens de satélite foi a solução adotada para efetuar o levantamento de espelhos d'água, reservatórios e barragens em todo o território brasileiro.

Pela larga experiência anterior na área, o MI firmou convênio com a Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) para executar o trabalho. A metodologia proposta foi fruto de intensa discussão entre o MI, ANA e FUNCEME conforme o Guia Operacional para Elaboração das Cartas dos Espelhos D'água do Brasil (2006), resultando na escolha do Satélite Sino-brasileiro de Recursos Terrestres (CBERS) como fonte primária de informação.

Desde o lançamento do primeiro satélite de recursos terrestres, o LANDSAT, em 1972, muito se progrediu no que se refere às pesquisas na área de meio ambiente e recursos naturais através das imagens de satélite. Atualmente as imagens de sensoriamento remoto vêm se tornando cada vez mais parte do nosso cotidiano. A previsão meteorológica é ilustrada nos jornais e na televisão por imagens de satélites meteorológicos, regiões de conflitos internacionais são mostradas na mídia através de imagens obtidas do espaço, da mesma forma que imagens de satélite passam cada vez mais a ilustrar livros, catálogos, calendários, pôsteres e muitas outras formas de comunicação visual.

Segundo Azevedo (2007) a utilização de técnicas de sensoriamento remoto para o gerenciamento de recursos naturais é um fato consolidado no mundo das geotecnologias. As imagens orbitais têm se mostrado especialmente úteis no mapeamento de grandes áreas e em sua análise temporal, permitindo o acompanhamento da evolução de cenários ambientais ao longo de um determinado período.

Num país de dimensão continental como o Brasil, com uma grande carência de informações adequadas para a tomada de decisões sobre os problemas urbanos, rurais e ambientais, o geoprocessamento apresenta um enorme potencial, principalmente se baseado em tecnologias de custo relativamente baixo, em que o conhecimento seja adquirido localmente (Câmara & Davis, 2004).

Dentro desta ótica o trabalho apresentado teve como objetivo realizar o mapeamento cartográfico dos espelhos d'água, acima de 20 hectares, que cobrem o território brasileiro, através das imagens CBERS-2, visando gerar subsídios para o planejamento dos recursos hídricos pelos órgãos gestores.

## **2. Metodologia de Trabalho**

Como trabalho precursor que serviu de embasamento para o mapeamento dos espelhos de 20 hectares do Brasil, destaca-se o realizado pela Agência Nacional das Águas (ANA) no ano de 2004, em que foi realizado o levantamento dos reservatórios maiores que 10 Hm<sup>3</sup> para a Região Nordeste através de imagens CBERS-2 (Bielenki Júnior et al., 2007).

Este trabalho utilizou as imagens CCD/CBERS-2, disponibilizadas gratuitamente pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. Estas imagens possuem resolução espacial nominal de 20 metros e foram utilizadas em virtude de apresentar compatibilidade com a escala de trabalho desejada para a geração da base cartográfica digital dos reservatórios. Foram utilizadas 922 imagens CCD/CBERS-2 com datas variando de 2004 a 2007, dando-se preferência àquelas com datação mais recente. Na impossibilidade de utilização de imagens recentes, seja por presença de nuvens ou por indisponibilidade no acervo do INPE, foram utilizadas imagens de outras datas disponíveis. Todas as cenas CBERS-2 passaram por um processo de restauração utilizando-se o algoritmo Restau.exe desenvolvido pelo INPE. Em seguida, utilizando-se o Erdas Imagine 9.0, as CBERS foram georeferenciadas tendo como base as imagens do produto LANDSAT 7 GeoCover. A Figura 1a e 1b mostra a cena CBERS 150/102 restaurada na combinação colorida (342) e monocromática (banda 4).

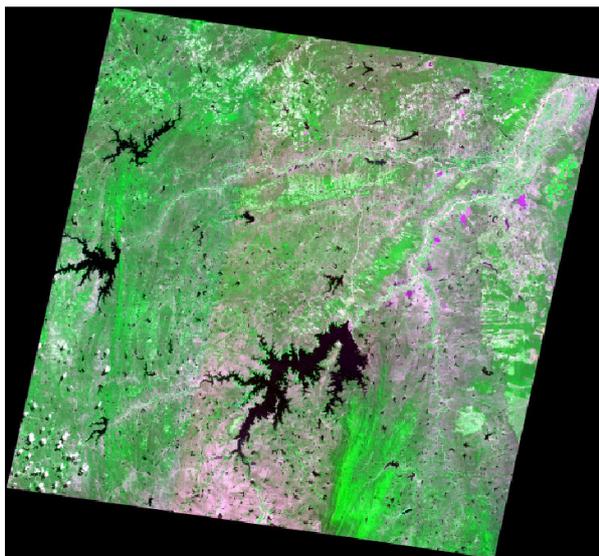


Figura 1a. Imagem CBERS-2, 150/102, em RGB 342.

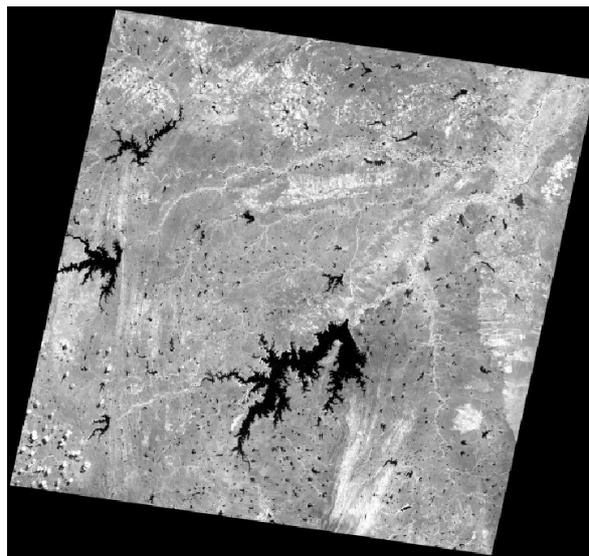


Figura 1b. Imagem CBERS-2, 150/102, na banda 4.

O georeferenciamento das imagens foi realizado escolhendo-se pontos de controle (*Ground Control Points*) na LANDSAT e marcando os correspondentes na CBERS-2. Esses pontos de controle foram identificados em locais fixos (cruzamentos de estradas, esquinas de ruas, construções, monumentos) e nunca sobre rios e corpos d'água.

Após a preparação das imagens CBERS passou-se ao processo de vetorização dos espelhos d'água. A vetorização das feições do reservatório foi realizada manualmente (*heads-up*), ou seja, foi feita por um operador que perseguiu cada feição raster com o cursor, escolhendo as primitivas geométricas que a modelem melhor na estrutura vetorial. Quanto ao parâmetro adotado pelo digitalizador para a definição dos espelhos d'água nas imagens CBERS-2, seguiu-se a resposta espectral da feição, bem como recorreu-se à banda 4 da imagem, que por ser monocromática os espelhos d'água apareciam em melhor definição.

A vetorização dos espelhos foi feita no software ArcGis 9.1. Os polígonos referentes aos espelhos foram desenhados com polilinhas fechadas na escala entre 1:250.000 e 1:50.000 e o contorno foi feito de modo a acompanhar, em detalhe, o mesmo contorno do espelho de água visível na CBERS-2. Previamente, foram criados os arquivos shapes específicos a cada tipo de vetorização que viesse a surgir, como: espelho d'água, ilhas, linha de costa e estuário, nuvem (para identificar os espelhos que apresentavam alguma nuvem sobre o mesmo) e espelho d'água continuidade (caso o reservatório abrangesse mais de uma cena). Se a imagem CBERS-2 não oferecesse condições de boa visualização do contorno do espelho d'água, seja pela presença de nuvens ou mesmo por uma má resposta espectral da água, a vetorização era feita pela imagem LANDSAT GeoCover, representando, assim, a condição do reservatório no ano de 2000. A cada vetorização o trabalho feito era avaliado por uma equipe técnica da FUNCEME que realizava os ajustes e correções dos polígonos vetorizados. Após digitalizados os polígonos, foi criado um banco de dados (*dbf*) com os seguintes campos: perímetro (m), área (m<sup>2</sup> e hectares), proprietário, tipo de reservatório (natural ou artificial), tipo de barramento, localização (UF, município e localidade), nome do reservatório, capacidade (hm<sup>3</sup>), id cena (CBERS na qual foi vetorizado o reservatório) e código. Dentre esses tópicos o perímetro, a área, o tipo de reservatório, a localização e a id cena foram preenchidos pelo próprio vetorizador, sendo que os demais campos foram criados para posterior utilização dos órgãos competentes. Em algumas áreas, como a região Nordeste, foram mapeados espelhos com limite a partir de 5,0 hectares utilizando-se a mesma metodologia, porém na escala de trabalho de 1:100.000.

Ainda como produto do georreferenciamento das imagens CBERS-2 foi confeccionado um mosaico recobrendo todo o Brasil. A constituição desse mosaico foi realizada também através do Erdas Imagine 9.0 com a função *MosaicPro*. Porém, antes procurou-se melhorar a qualidade visual das imagens fazendo-se modificações no seu contraste cena por cena, objetivando-se diminuir as inconstâncias radiométricas provenientes do sensor e conseqüentemente obter uma maior homogeneização entre as cenas. Em seguida, as imagens foram agrupadas por Estado e feito o mosaico de acordo com os limites estabelecidos pelo IBGE.

### 3. Resultados e Discussão

No total, foram mapeados 23.036 espelhos d'água distribuídos por todo o território brasileiro. Quanto à área dos espelhos é importante ressaltar que por margem de segurança considerou-se espelhos a partir de 19 hectares. Sendo assim, as áreas dos espelhos digitalizados variaram de 19 ha a 1.033.660,65 ha, sendo que o primeiro localiza-se no Ceará, no município de Crateús e o outro é a Lagoa de Patos no município de mesmo nome no Rio Grande do Sul. A Figura 2, a seguir, mostra a distribuição espacial dos reservatórios pelo Brasil.

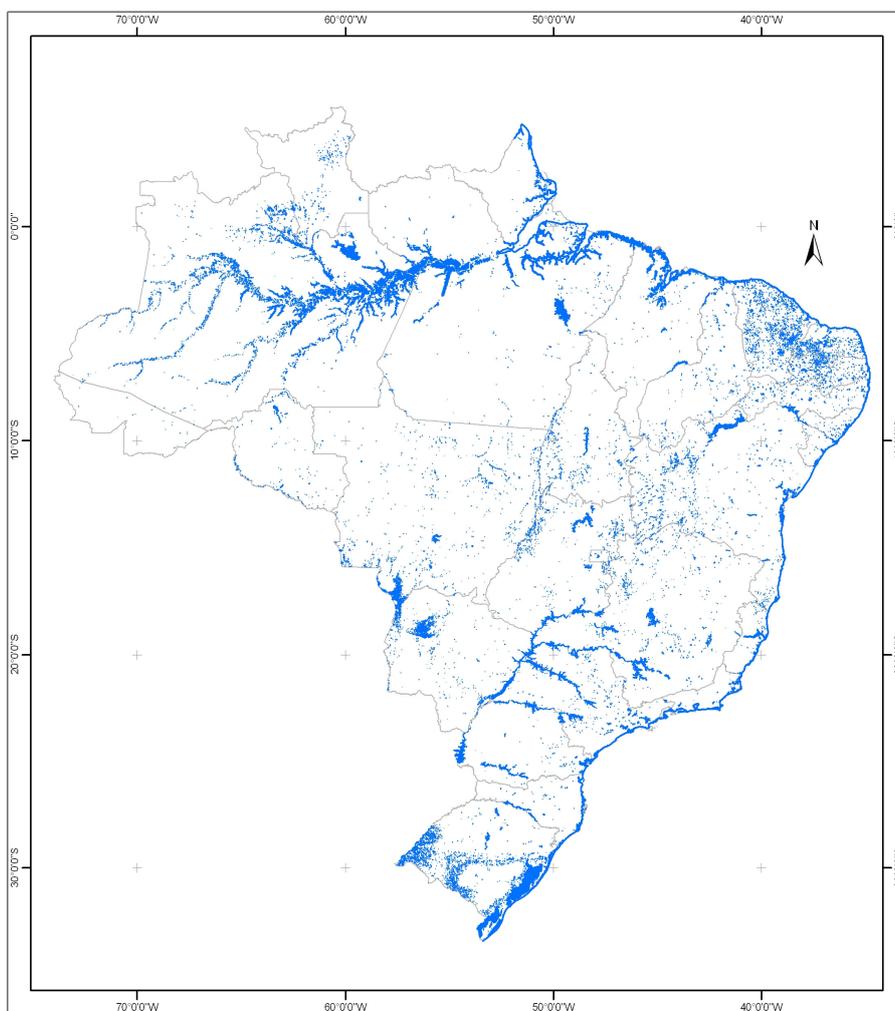


Figura 2. Distribuição espacial dos espelhos d'água de 20 hectares pelo Brasil.

Com relação à distribuição territorial dos espelhos d'água pelo Brasil, destaca-se o Estado do Amazonas com a maior concentração (5.976) equivalente a 25,94%, em contraste com o Distrito Federal com apenas 10 espelhos, correspondendo a 0,04% do total (Tabela 1).

Tabela 1. Distribuição dos Espelhos d'água (naturais e artificiais) acima de 20 hectares por Unidades Territoriais do Brasil.

Unidades Territoriais	Número de Espelhos	Unidades Territoriais	Número de Espelhos
Acre	27	Paraíba	443
Alagoas	83	Pernambuco	238
Amazonas	5.976	Piauí	318
Amapá	208	Paraná	106
Bahia	1.356	Rio de Janeiro	125
Ceará	1.353	Rio Grande do Norte	669
Distrito Federal	10	Rondônia	230
Espírito Santo	129	Roraima	366
Goiás	719	Rio Grande do Sul	3.009
Maranhão	483	Santa Catarina	81
Minas Gerais	800	Sergipe	46
Mato Grosso do Sul	2.297	São Paulo	370
Mato Grosso	1.827	Tocantins	477
Pará	1.290		
<b>Total</b>		<b>23.036</b>	

Quanto à distribuição dos tipos de espelhos por região (Figura 3) o maior número de reservatórios naturais ocorreu no Norte (8.303) em decorrência, provavelmente, das zonas alagadiças que formam consideráveis lagoas próximas aos grandes rios. Já nas regiões Nordeste e Sul predominaram os reservatórios do tipo artificial, evidenciando, assim a política de construção de barragens.

Segundo Martins et al. (2007) a política das pequenas barragens pressupõe a importância do estoque distribuído na bacia, em detrimento de uma opção mais eficiente no armazenamento das disponibilidades hídricas da bacia. De acordo com o autor supracitado, sendo a preocupação a eficiência, deve-se priorizar os médios e grandes reservatórios, uma vez que os resultados já alcançados mostram que o impacto dos pequenos açudes na média e na grande açudagem pode ser significativo.

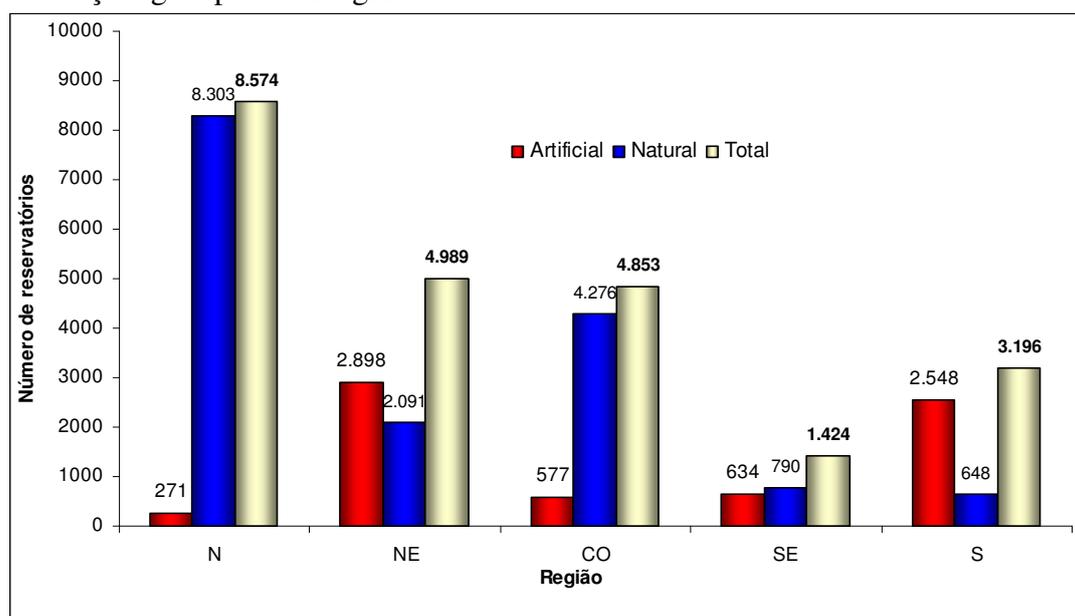


Figura 3. Distribuição dos tipos (artificial/natural) dos reservatórios de 20 hectares por Região do Brasil.

A seguir observam-se exemplos de um reservatório artificial (Figura 4a) e um natural (Figura 4b) vetorizados sobre as imagens CBERS-2.

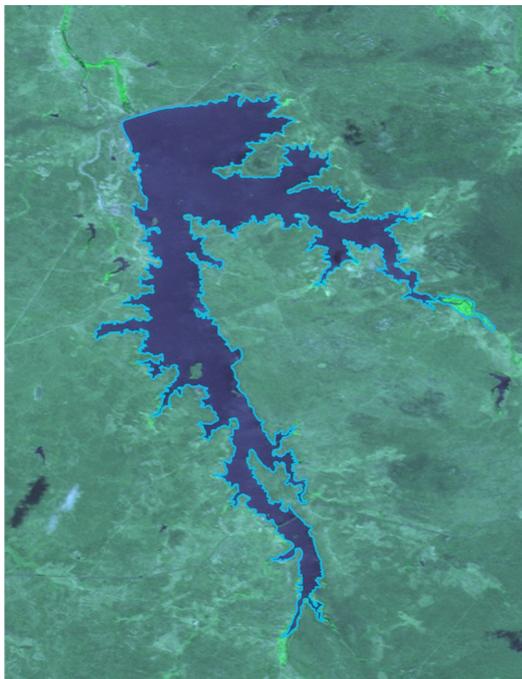


Figura 4a. Açude Público Edson Queiroz, localizado no município de Santa Quitéria, Ceará.

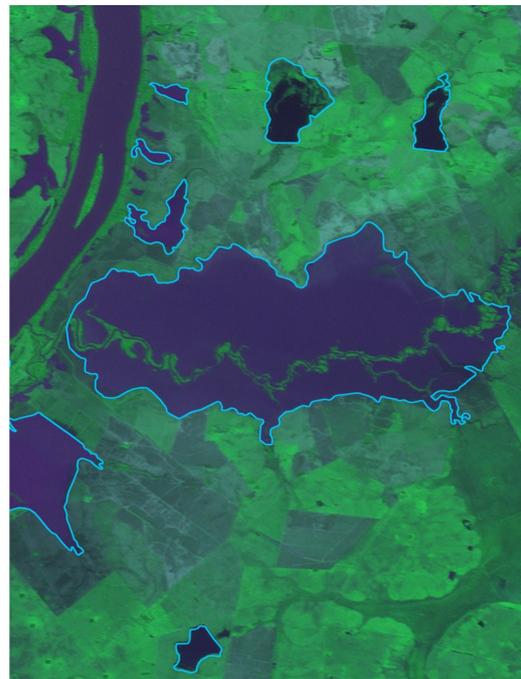


Figura 4b. Lagoas digitalizadas no município de São Borja, Rio Grande do Sul.

A análise da síntese dos relatórios de erro permite constatar que todas as novecentas e vinte e duas imagens estão em conformidade com os padrões pré-estabelecidos de qualidade, ou seja, erro médio quadrático nunca maior que 1 pixel e em média de oito à dez pontos de controle. O resumo estatístico de todo o processo de georeferenciamento está relacionado na Tabela 2.

Tabela 2. Resumo estatístico das imagens CBERS-2 georeferenciadas.

Parâmetro	Valor
<b>Desvio Médio do Erro (RMS)</b>	
Média Aritmética RMS	0,46
Desvio Padrão RMS	0,19
Variância RMS	0,04
<b>Pontos de Controle</b>	
Total Pontos	8.966,00
Média Aritmética Total Pontos	9,92
Desvio Padrão Total Pontos	2,49
Variância Total Pontos	6,21
Max Pontos	24
Mín Pontos	4

No referente aos espelhos d'água com limiar de 5,0 hectares, a região Nordeste apresentou um total de 17.083 espelhos, representado um incremento de 242,41%, evidenciando o impacto dos pequenos reservatórios na Região.

Diante do exposto realizado torna-se mister destacar a importância das imagens de satélite, principalmente as CBERS-2 no trabalho de mapeamento de unidades terrestres seja de recursos hídricos ou até mesmo de uso do solo, conforme Andrade et al. (2007) observou nas imagens CCD CBERS-2 ao apresentarem uma boa resposta visual e espectral para a identificação de áreas de uso da terra, assim como, de outras classes (vegetação, drenagem, etc.). Devendo-se levar em conta também a forma de aquisição das imagens, que por ser de forma gratuita contribuiu para que fosse realizado um trabalho de tamanha magnitude.

A seguir, a Figura 5, onde se pode observar o mosaico de imagens CBERS-2 que recobre todo o território brasileiro.



Figura 5. Mosaico das imagens CBERS-2 do território brasileiro.

#### 4. Conclusões

O presente trabalho resultou no primeiro mosaico do Brasil feito a partir das imagens do sensor CCD do CBERS-2. O georeferenciamento das 922 imagens evidencia a excelente qualidade geométrica das imagens do sensor CCD/CBERS 2, bem como do criterioso trabalho de seleção de pontos de controle, resultando em um mosaico com excelente qualidade geométrica recobrindo todo território nacional.

O Mapeamento dos Espelhos D'água do Brasil proporcionou a identificação de todos os reservatórios, açudes, lagoas e lagos do Brasil com área superficial acima de 20 hectares. Em algumas áreas, como a região Nordeste, a Bacia do Paraíba do Sul e o Estado de Minas Gerais este limiar já foi diminuído para 5 hectares. Ressalta-se que nem todos os estados possuem

cadastro dos reservatórios existentes em seu território. A esse despeito, este produto estará disponível para toda a sociedade, constituindo valioso recurso não apenas para a União, mas para os Estados e municípios.

Diante dos resultados obtidos, em consonância com a metodologia empregada, pôde-se concluir que a técnica de sensoriamento remoto usando imagens CCD/CBERS-2 é adequada para mapeamento de reservatórios, permitindo, inclusive, a distinção entre espelhos d'água naturais e espelhos artificiais. Neste trabalho foram mapeados 23.036 espelhos d'água no Brasil com área a partir de 20 hectares, sendo 6.928 artificiais e 16.108 naturais.

Os resultados mostraram que o maior número de reservatórios naturais ocorre na região Norte, enquanto que os artificiais concentram-se na região Nordeste, evidenciando, a política de construção de açudes que visa o armazenamento da água para suprir os meses de estiagem.

A experiência e a prática acumuladas neste trabalho, principalmente quanto a aplicabilidade da imagem CBERS-2, comprova sua eficiência em mapeamentos ainda mais detalhados, podendo identificar facilmente reservatórios com área a partir de 5 hectares.

O trabalho de mapeamento, além de identificar os reservatórios que não foram cadastrados pelo MI, aperfeiçoou um banco de informações sobre a situação das barragens e estudos de riscos potenciais, gerando subsídios para as decisões político-administrativas relacionadas ao gerenciamento de recursos hídricos no Brasil. Com o banco de dados, o MI e a ANA passam a dispor de informações sobre a distribuição espacial dos espelhos d'água em uma base unificada de dados, permitindo o acompanhamento e avaliação de programas integrados de desenvolvimento nacional.

## Referências Bibliográficas

Azevedo, T. C. **Utilização de imagens CBERS-2 para atualização da base cartográfica de recursos hídricos do estado do Rio Grande do Norte.** In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, (SBSR) 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** Santa Catarina: INPE, 2007. Artigos, p.749-753. CD-ROM, On-line. ISBN 978-85-17-000311Disponível em:< <http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2007/01.31.19.10/doc/@sumario.htm>> .Acesso em: 20 jan. 2008.

Bielenki Júnior, C.; Hauschild, R. M. P. R.; Godinho, J. M.; Scherer-Warren, M.; Quirino, W. S. Mapeamento de reservatórios no nordeste usando imagens CBERS II. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** Santa Catarina: INPE, 2007. Artigos, p.758-790. CD-ROM, On-line. ISBN 978-85-17-00031. Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2007/01.31.19.10/doc/@sumario.htm>. Acesso em: 14 fev. 2008.

Câmara, G.; Davis, C. Apresentação. In: Câmara, G.; Davis, C.; Monteiro, A. M. V. **Introdução à ciência da geoinformação.** São José dos Campos: INPE, 2001. cap. 01. p.1. Disponível em: <<http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/04.22.07.43/doc/publicacao.pdf>> Acesso em: 20 jun. 2007.

Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, Ministério da Integração Nacional, Agência Nacional das Águas,. **Guia operacional para elaboração das cartas dos espelhos d'água do Brasil.** Fortaleza, 2006, 81p.

Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Mapeamento dos espelhos d'água do Brasil.** Fortaleza: Funceme, 2008, 108p.

Liu, W. T. H. **Aplicações de sensoriamento remoto.** Campina Grande: UNIDERP, 2006. 908p.

Martins, E. S. P. R.; Menescal, R. A.; Warren, M. S.; Souza Carvalho, S. B.; Melo, M. S.; Perini, D. S.; Oliveira, F. de A. J. **Utilização de imagens CBERS para mapeamento dos espelhos d'água do Brasil,** 2007, Florianópolis-SC. Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2007.

NASA – National Aeronautics and Space Administration. **Orthorectified Landsat Enhanced Thematic Mapper (ETM+) Compressed Mosaics.** Disponível em: < [https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/docs/GeoCover\\_circa\\_2000\\_Product\\_Description.pdf](https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/docs/GeoCover_circa_2000_Product_Description.pdf)> Acesso em: 29 dez. 2006.

Rocha, C. H. B. **Geoprocessamento tecnologia transdisciplinar.** Ed. autor. Juiz de Fora MG: 2000. 220p.