

Classificação de parques aquícolas na represa de Furnas em função da resposta espectral multitemporal

Alessandra de Oliveira Bacega^{1,2}

Marcos Corrêa Neves²

Alfredo José Barreto Luiz²

¹ Universidade Estadual de Campinas-Unicamp
Caixa postal 6011 – 13083-970 - Campinas-SP, Brasil
alessandra_bacega@hotmail.com

² Embrapa Meio Ambiente
Caixa postal 69- 13820-000 - Jaguariúna-SP, Brasil
marcos.neves@embrapa.br
alfredo.luiz@embrapa.br

Abstract. The Brazilian government is encouraging increased production in fish in large reservoirs nationally. In Furnas reservoir (MG) were proposed sixteen aquaculture parks for the installation of cages and we intend to implement a framework for monitoring water quality in these parks. Therefore it is important to know the parameters of water quality and its variation over time. This paper presents a method for classifying these aquaculture parks in function of its spectral response and multitemporal. To consider different situations in the analysis were used ten Landsat images, five in the rainy season and five in the dry season. The images were selected from the database of images from the TM sensor of Landsat 5 satellite. We used the bands 1, 2, 3 and 4, forming a database with 40 variables. In the final stage, we used the hierarchical cluster analysis by Ward method to group the parks into similar clusters.

Palavras-chave: sensoriamento remoto, processamento de imagens, qualidade da água, classificação hierárquica *Ward*, remote sensing, cluster analysis.

1. Introdução

O reservatório de Furnas está localizado a sudoeste do Estado de Minas Gerais, dentro da bacia hidrográfica do rio Grande que, por sua vez, abrange áreas entre os estados de Minas Gerais e São Paulo. Furnas é um dos maiores reservatórios brasileiros, com 1.440 Km² de área (lamina d'água máxima) e 3.500 km de perímetro. O reservatório é alimentado por duas sub-bacias hidrográficas, sendo os cursos principais destas sub-bacias o próprio rio Grande e seu afluente de margem esquerda, o rio Sapucaí. Em 2007, foi publicado um estudo, coordenado pela Secretaria Especial de Aquicultura e Pesca da Presidência da República (SEAP), com o objetivo de delimitar dezesseis parques aquícolas dentro do reservatório de Furnas objetivando incrementar a produção de peixe na região (UFMG, 2007).

A Embrapa Meio Ambiente, em parceria com a Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA – Pólo Regional Leste Paulista), o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e o Ministério da Pesca e Aquicultura (MPA) iniciou a execução de um projeto intitulado “**Desenvolvimento de Sistema de Monitoramento para Gestão Ambiental da Aquicultura no Reservatório de Furnas – MG**” com os seguintes objetivos: i) desenvolver um modelo para monitoramento e avaliação de impactos na criação de peixes em tanques-rede e ii) adoção de Boas Práticas de Manejo (BPM) para a gestão ambiental de Parques Aquícolas (EMBRAPA, 2011). Este projeto prevê a definição de um local dentro do reservatório de Furnas, onde será instalada uma plataforma autônoma para coleta e transmissão de dados limnológicos e meteorológicos. O esquema de monitoramento e a escolha do local de instalação da plataforma é função, entre outros fatores, da qualidade da água e sua variação durante as épocas do ano.

Sensores a bordo de satélites medem a quantidade de radiação solar em vários comprimentos de onda refletidos pela da água, estas medidas podem ser relacionadas a vários parâmetros de qualidade da água (Hellweger et al., 2004). Entretanto, o comportamento espectral da água se caracteriza pelos baixos valores de radiância, além disso apenas uma parte da radiância registrada pelos sensores contém informações sobre a água e seus constituintes (Jensen, 2000). Mesmo com estas limitações, existem vários trabalhos que utilizam imagens de satélite em avaliações de qualidade da água continental, costeira e oceânica (Martini et al., 2006; Hellweger et al., 2004; Cabral, 2003; GALO et al. 2002; Novo, 2001).

As características das imagens de sensoriamento remoto oferecem algumas possibilidades interessantes para o monitoramento de corpos d'água. Hellweger et al. (2007) diz que uso de imagens de satélite para a estimativa da qualidade da água oferece três vantagens significativas sobre a amostragem *in situ*. Primeira, as imagens de satélite oferecem uma cobertura espacial contínua, o que permite estimativas sinóticas, em grandes áreas. Outra vantagem é a cobertura global de satélites permitindo avaliar a qualidade da água em áreas remotas ou inacessíveis. A terceira vantagem apontada é a série temporal de registros, formando um banco com imagens históricas (dados disponíveis a partir da década de 70). Pode-se acrescentar a esta lista, a vantagem do custo, já que séries temporais de alguns satélites estão disponíveis na internet, com acesso livre. O mesmo autor cita também desvantagens também significativas de estimativas realizadas com informações de satélite. Em primeiro lugar, a capacidade de distinguir entre os vários constituintes da água é limitada. Segundo, a profundidade de amostragem é restrita à uma camada superficial, variando de acordo com a clareza da água. Em terceiro lugar, a resolução espacial e temporal podem ser inadequadas e não são controláveis.

Para este trabalho foi feita uma análise multitemporal de imagens do satélite LandSat 5, utilizando um subconjunto de cenas da série disponível entre os anos de 1984 a 2011, com o intuito de classificar os dezesseis parques aquícolas quanto a sua resposta espectral para as bandas 1, 2, 3 e 4 do sensor TM. O método proposto visa identificar parques com comportamentos espectrais semelhantes, considerando os períodos seco e chuvoso, entretanto sem pretender distinguir nem quantificar os constituintes da água dos parques. A classificação dos parques é feita por Análise de Cluster, empregando-se o método hierárquico *Ward*.

2. Metodologia de Trabalho

A Figura 1 mostra a localização do reservatório de Furnas e a posição dos dezesseis parques aquícolas. Como fonte de dados foi utilizado o acervo do banco de imagens do satélite Landsat 5, sensor TM (*Thematic Mapper*), disponível pelo catálogo de imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)¹. Para cobrir o reservatório de Furnas são necessárias duas cenas do Landsat, 219/74 e 219/75 (órbita/ponto). As etapas do trabalho são ilustradas no fluxograma da Figura 2.

Para a seleção inicial das imagens no repositório do INPE foi utilizado o seguinte critério: 20% de recobrimento máximo com nuvens nos quadrantes sobre a represa de Furnas, e até 90% nos demais. Posteriormente, foi verificado em cada cena, se havia nuvens sobre os parques. Finalmente foram escolhidas cenas que representassem o período chuvoso (dezembro, janeiro e fevereiro) e seco (junho, julho e agosto). A definição do período chuvoso e seco foi feita a partir da análise de dados históricos de precipitação de quatro estações meteorológicas da rede do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)² no entorno do reservatório, posicionadas nos municípios de Lavras, Bambuí, Machado (Minas Gerais) e Franca (São Paulo). Considerando as duas cenas simultaneamente, foram identificadas apenas

¹ Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR>.

² Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/>.

cinco pares de imagens disponíveis para o período chuvoso e 27 pares de imagens para o período seco. Para se trabalhar com o mesmo número de passagens para os dois períodos (chuvoso e seco) foram sorteadas cinco passagens das pré-selecionadas para o período seco. As data de passagens do LandSat 5 selecionadas para o período chuvoso foram: 13/01/1987, 16/01/1988, 01/02/1994, 22/01/1996 e 20/02/2001. As datas sorteadas para o período seco foram: 15/07/1984, 10/08/1999, 18/06/2003, 07/08/2004 e 16/08/2007.

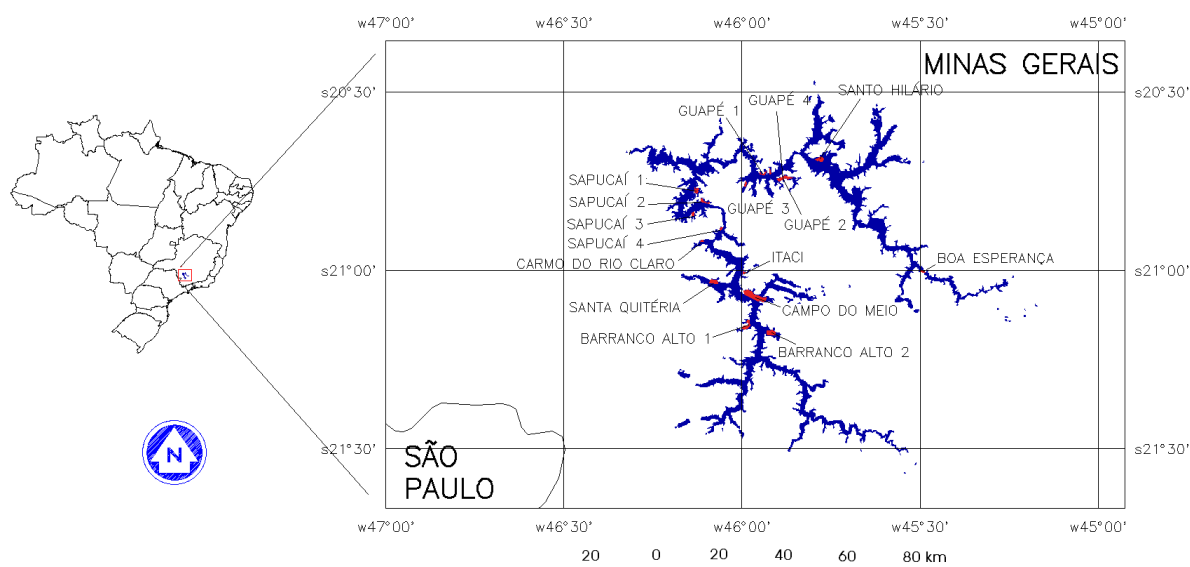


Figura 1. Localização dos parques aquícolas, na represa de Furnas (MG).

As 20 cenas correspondentes às 10 passagens selecionadas foram processadas no programa Regima³ (FEDOROV, 2002) para a realização dos registros e dos mosaicos. Para os registros, foi utilizada como referência a imagem ortorretificada do GeoCover, Landsat 5 TM, passagem: 28/09/2011, disponível em Glovis⁴. O GeoCover é um mosaico de imagens Landsat ortorretificadas e processadas com alto padrão de qualidade (Koeln et al., 2000).

Após a geração dos dez mosaicos registrados, foram produzidas dez máscaras representando o reservatório (lâmina d'água) nas dez passagens. Este procedimento usou a banda 4, onde há uma grande distinção espectral entre a água e os demais alvos (Jensen, 2000). A classificação das imagens nas classes *água* e *não-água* foi realizada com uma operação simples de fatiamento no sistema de informação geográfica Spring 2.0.

Para a definição das áreas de amostragem para os dezesseis parques aquícolas, nos dez diferentes mosaicos de imagens, foram realizados dez cruzamentos, cada um envolvendo dois planos de informação (PIS): a máscara, com a informação da presença de água, e os limites dos parques aquícolas. Este procedimento foi realizado para garantir que os níveis de cinza (NCs) das amostras refletissem os valores da reflectância da água nos parques, já que a variação do nível do reservatório e os erros de registro das imagens poderiam levar à amostragem de áreas não inundadas, comprometendo as amostras.

Usando a função "*Estatísticas de imagem por polígono*" do aplicativo Spring, foram extraídos valores médios para as bandas 1, 2, 3 e 4 do sensor TM (correspondendo às faixas azul, verde, vermelho e infravermelho-próximo do espectro eletromagnético) para os dezesseis parques, nas dez passagens, resultando em 40 variáveis para cada parque. Finalmente, usando a técnica de análise de cluster hierárquico, método *Ward* (Ward, 1963), os

³ Disponível em: <http://regima.dpi.inpe.br/>.

⁴ Disponível em: <http://glovis.usgs.gov/>.

parques foram agrupados em três classes. Para a análise multivariada, usou-se a função *hclust* do programa estatístico R⁵.

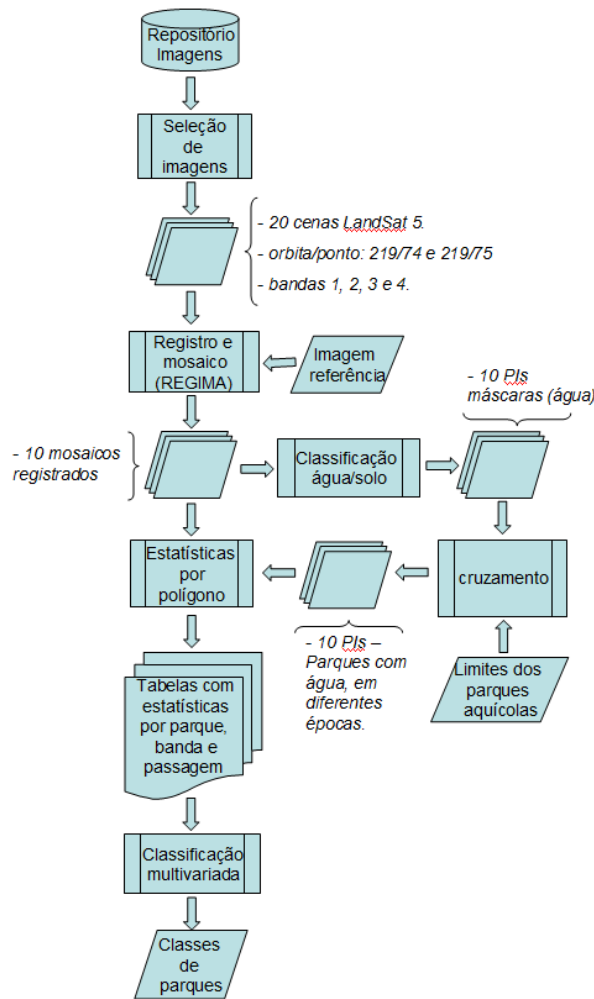


Figura 2. Etapas do método de classificação proposto.

3. Resultados e Discussão

Um resultado inicial do trabalho foi verificar que, apesar da série de quase 27 anos de imagens adquiridas em períodos de 16 dias, somente cinco mosaicos (par de imagens) ofereceram informações adequadas para o período chuvoso. A Figura 3 mostra o número de passagens por mês com condições de aproveitamento para o trabalho. Estes números refletem condições favoráveis nas duas cenas, 219/74 e 219/75, simultaneamente.

A Figura 4 ilustra uma composição colorida para a área do reservatório de Furnas, passagem de 13 de janeiro de 1987. A composição é resultante da associação das bandas 1, 2 e 3 do sensor TM do Landsat 5 aos canais azul, verde e vermelho, respectivamente, com contraste para acentuar as nuances. Esta figura mostra claramente que existem diferentes respostas espectrais ao longo da represa para esta passagem. No geral, os tons mais escuros mostram os locais onde a represa apresenta a água mais pura (em relação aos elementos óticamente ativos) e os tons claros onde existe mais material em suspensão.

Foram amostradas dezesseis regiões das bandas 1, 2, 3 e 4, nas 10 passagens (mosaicos registrados), gerando 160 estatísticas. A Figura 5 ilustra duas situações típicas, para a passagem 16/01/1988 (período chuvoso) e para 16/08/2007 (período seco). As alturas das

⁵ Disponível em: <http://www.r-project.org/>.

barras correspondem aos níveis de cinza (NC) para quatro bandas, em cada parque. Apenas para efeito de visualização, os valores de NC apresentados na figura foram obtidos após a correção pelo pixel escuro, para atenuação dos efeitos atmosféricos. A escala dos dois gráficos é igual para realçar a diferença no padrão de resposta nas duas passagens.

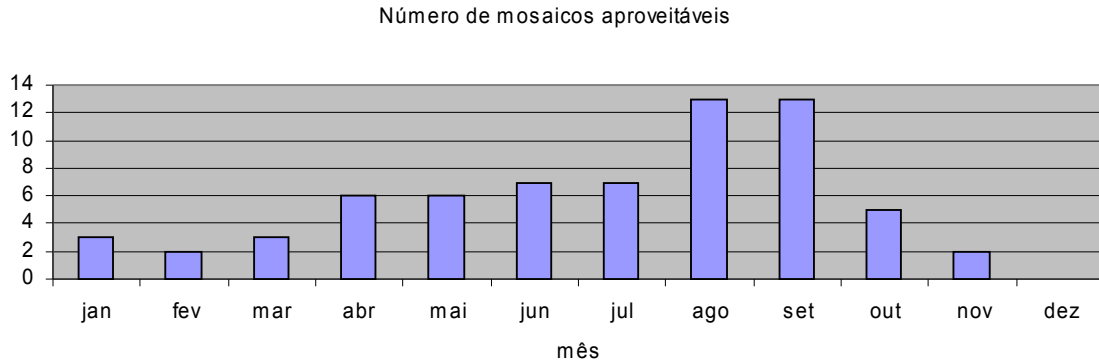


Figura 3. Número de passagens sem nuvens sobre os parques aquícolas. Avaliação realizada sobre o banco de imagens do INPE (<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>).

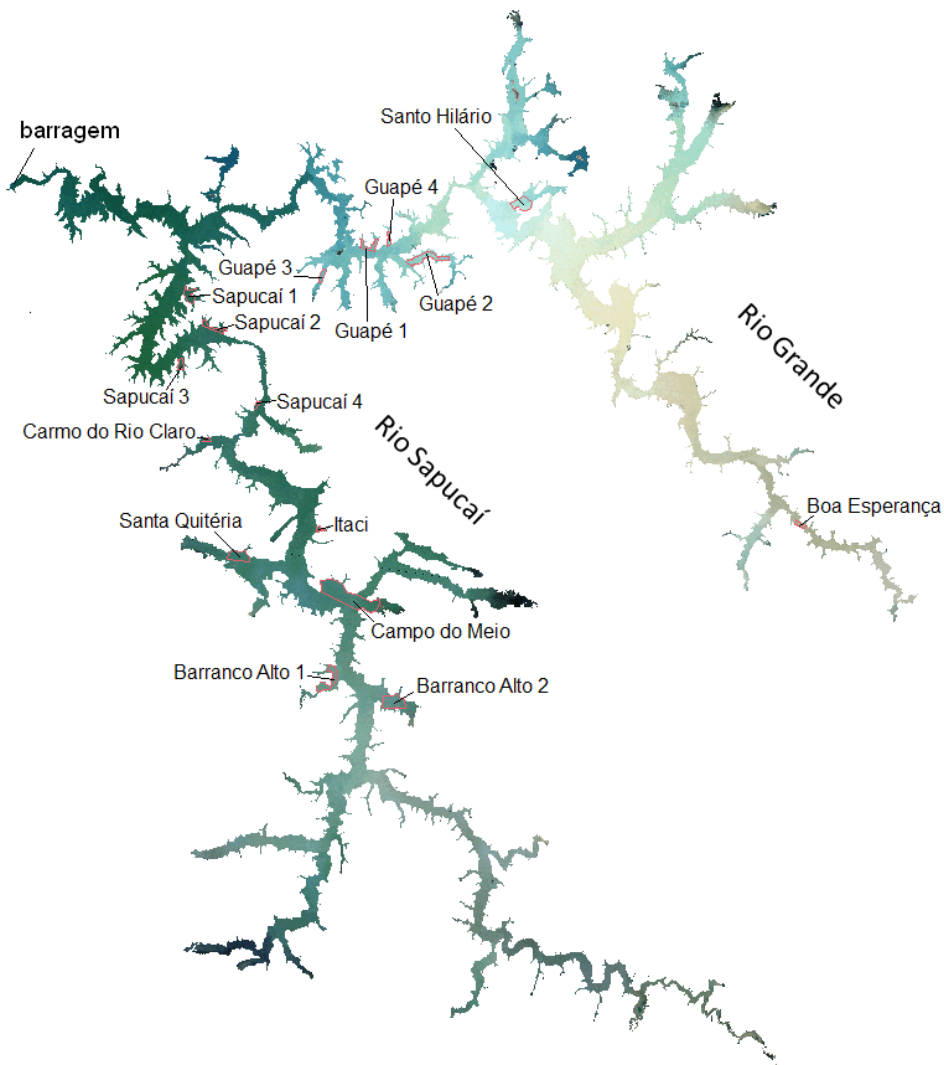


Figura 4. Composição colorida: banda1-azul, 2-verde e 3-vermelho (13/01/1987).

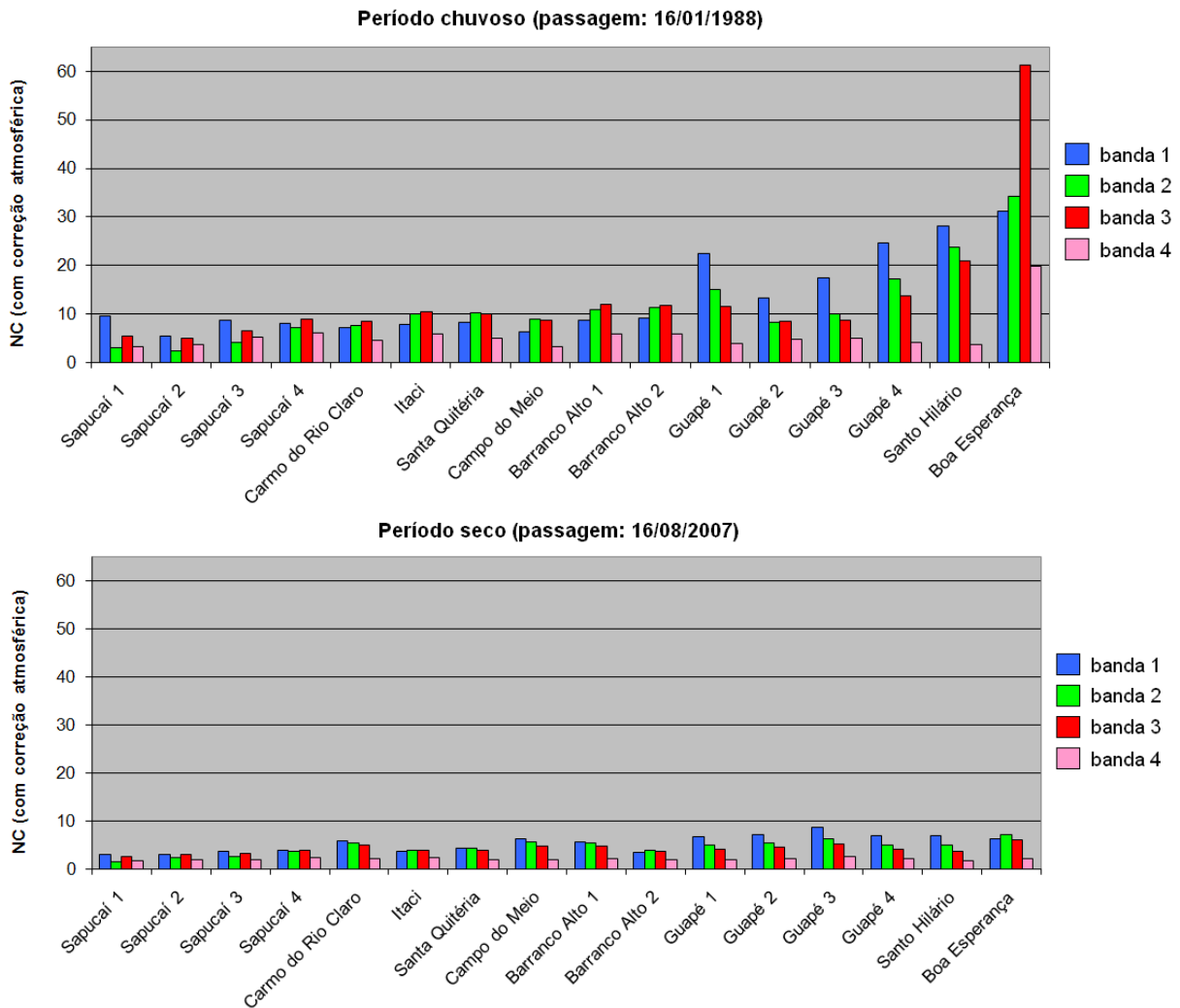


Figura 5. Resposta espectral dos parques aquícolas (níveis de cinza) em duas passagens.

Os gráficos apresentados na Figura 5, embora sejam resultados de apenas duas das dez passagens, ilustram algumas observações interessantes e que se repetiram em outras passagens. O parque Boa Esperança apresenta as reflectâncias acentuadamente maiores no período chuvoso. Isto ocorre em outras imagens de verão analisadas, mostrando que este parque é mais suscetível aos efeitos do período chuvoso e o aumento da concentração de elementos óticamente ativos. Como a reflectância é ainda mais acentuada na banda 3, é provável que prevaleça material inorgânico provocado por erosão dos solos a montante deste parque. Há uma diferença significativa no patamar dos NC nos períodos chuvosos e secos, como era de se esperar, e que os valores de NC nas bandas tendem a ser mais baixos para os parques mais próximo a barragem, localizada a noroeste da represa (Figura 4).

Considerando que cada NC de uma banda espectral é uma variável e que existem 10 passagens, foram geradas ao todo 40 variáveis para cada região amostral correspondentes aos parques aquícolas. Os métodos de classificação hierárquicos apresentam uma vantagem, sobretudo quando usado como ferramenta de análise exploratória: o dendograma. Este gráfico permite visualizar vários níveis de agrupamento, desde agrupamentos com apenas um elemento cada, até um único grupo com todos os elementos. Esta característica faz com que os métodos hierárquicos sejam usados para se decidir o número de classes ideais, em um processo maior de classificação. O dendograma oferecido pelos métodos hierárquicos permite avaliar a coesão interna dos grupos (similaridade entre membros) e a distância externa dos grupos (dissimilaridade entre grupos) pela avaliação da dimensão das linhas verticais.

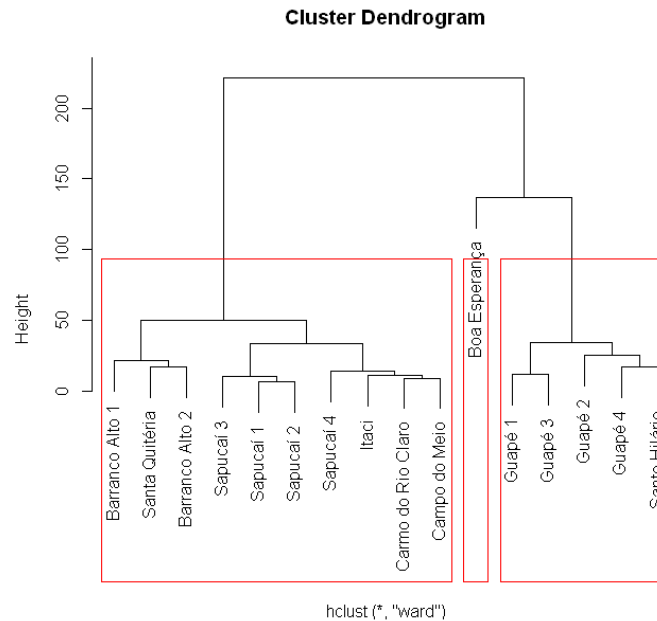


Figura 6. Dendrograma resultante da classificação hierárquica *Ward* no programa R.

A Figura 6 apresenta o resultado da classificação pelo método hierárquico aglomerativo *Ward*, gerado pela função *hclust* do programa R. Os retângulos em vermelho representam os agrupamentos resultantes. Foram testados outros critérios de agrupamento para a função *hclust* do R, usando outras medidas de similaridade entre grupos (métodos: *single*, *complete* e *centroide*). Para três agrupamentos, todos os métodos apresentaram o mesmo resultado. Para um número maior de grupos, aparecem diferenças nos resultados, indicando clusters menos evidentes. Na classificação em 3 grupos da Figura 6, o grupo mais numeroso agrega todos os parques aquáticos do braço da represa de Furnas correspondente ao rio Sapucaí. O parque Boa Esperança ficou sozinho em um grupo, mostrando um comportamento bem distinto. O terceiro grupo é formado pelos demais parques localizados no braço do rio Grande.

4. Conclusões

Há comportamentos distintos da resposta espectral da água no conjunto de 16 parques, bem como nos dois braços da represa formados pelos rios Grande e Sapucaí. Existem pelo menos três grupos de parques com comportamentos bem diferenciados.

No verão, período chuvoso, como esperado, há um incremento nos níveis de cinza, indicando que há um aumento considerável de elementos opticamente ativos na água, possivelmente provocado por um processo de carreamento de sedimentos pelo efeito de escoamento superficial das águas da chuva. Os parques que sofrem este processo mais acentuado estão no braço do rio Grande, sendo que o parque Boa Esperança apresentou a maior variação.

Há uma tendência de aumento da resposta espectral, em todas as bandas à medida, que a distância dos parques aquícolas aumenta em relação à barragem, nos dois braços da represa.

De forma geral, os parques localizados no braço do rio Sapucaí tendem a apresentar respostas espectrais menores que os parques do braço rio Grande, independente da época do ano analisada.

O método proposto conseguiu distinguir as amostras correspondentes aos 16 parques, mas como aspecto negativo, aponta-se o pequeno número de imagens limpas, sem recobrimento de

nuvens, no período chuvoso. Este fato indica que a replicação do método em outras represas pode ser prejudicada pelas condições regionais.

Agradecimentos

Ao Ministério da Pesca e Aquicultura pelo suporte financeiro.

Referências Bibliográficas

Cabral, J. B. P. Utilização de técnicas de segmentação e correlação de Spearman em imagens TM para o estudo da concentração de sedimentos em suspensão no reservatório de Barra Bonita–São Paulo–Brasil. **GeoFocus**, n. 3, p. 235–267, 2003. Acesso em: 14/7/2012.

Embrapa Meio Ambiente. Desenvolvimento de Sistema de Monitoramento para Gestão Ambiental da Aquicultura no Reservatório de Furnas - MG. ,2011. Embrapa.

Fedorov, D. **Sistema semi-automático de registro e mosaico de imagem**, 2002. Mestrado, São José dos Campos: INPE. Disponível em: <http://regima.dpi.inpe.br/publications/fedorov_tese.pdf>. .

Galo, M.; Velini, E. D.; Trindade, M. L. B.; Santos, S. C. A. Uso do sensoriamento remoto orbital no monitoramento da dispersão de macrófitas nos reservatórios do complexo Tietê. **Planta Daninha**, v. 20, p. 7–20, 2002. Acesso em: 14/7/2012.

Hellweger, F. L.; Schlosser, P.; Lall, U.; Weissel, J. K. Use of satellite imagery for water quality studies in New York Harbor. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 61, n. 3, p. 437–448, 2004. Acesso em: 3/11/2012.

Jensen, J. R. **Remote sensing of the environment: an earth resource perspective**. Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall, 2000.

Koeln, G.; Jones, T.; Melican, J. GeoCover LCTM: Generating global land cover from 7600 frames of Landsat TM data. Proceedings of ASPRS 2000 Annual Conference, May 22–26, Washington, DC. **Anais...**, 2000.

Martini, L. C. P.; Mattos, D. S.; Barbosa, D. F. P.; Rech, A. I. B. Uso de sensoriamento remoto orbital para avaliação da distribuição espacial de Clorofila_a na Lagoa da Conceição-Florianópolis, SC; Use of orbital remote sensing in the assessment of spatial distribution of Chlorophyll_a in Lagoa da Conceição-Florianópolis, SC. **Eng. sanit. ambient**, v. 11, n. 4, p. 318–324, 2006. Acesso em: 14/7/2012.

Novo, E. M. L. M. Comportamento espectral da água. In: P. R. MENESES; J. S. M. NETTO (Orgs.); **Sensoriamento remoto – reflectância dos alvos naturais**, 2001. Brasília: UnB - Embrapa Cerrados.

Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). **Estudo Técnico-Científico Visando a Delimitação de Parques Aqüícolas nos Lagos das Usinas Hidroelétricas de Furnas e Três Marias – MG. Relatório de Identificação de Áreas Tecnicamente Adequadas para a Instalação de Parques Aqüícolas. Reservatório de Furnas**. Belo Horizonte: UFMG, 2007.

Ward Jr., J. H. Hierarchical grouping to optimize an objective function. **Journal of the American statistical association**, v.58, n.301, p. 236–244. 1963. Disponível em: <http://iv.slis.indiana.edu/sw/data/ward.pdf>.