COMPORTAMENTO ESPACIAL DA CLORIFILA-A NO RESERVATÓRIO DE ITAPARICA, RIO SÃO FRANCISCO

Helio Lopes[1]; Maria Sobral[1]; Günter Gunkel[2], Gustavo Melo[1] & Ana Candeias[1]

RESUMO - Na análise do estado trófico de um corpo hídrico torna-se fundamental o conhecimento da concentração de clorofila-a. Dessa forma, esse trabalho tem como objetivo determinar e avaliar o comportamento da clorofila-a no reservatório de Itaparica, localizado no sub-médio São Francisco. Para esse fim, utilizou-se de imagem Landsat-TM, na qual foram utilizadas as bandas de 1 a 5 e 7. O modelo aplicado foi escrito em linguagem LEGAL-SPRING 5.2. A partir da imagem da clorofila-a realizou-se o fatiamento do corpo hídrico em seis classes concentração. O valor mínimo foi de 0,003 µg/L e o maior foi de 249,53 µg/L. As classes que obtiveram maior área foram de 0 a 5 µg/L com 27,43%, seguida da classe 5 a 10 µg/L com 24,56% da área total do reservatório, conforme observado por histograma. Por meio da análise gráfica de pontos situados ao longo do reservatório verifica-se que a concentração da clorofila aumenta da região fluvial para região lacustre e a partir dos contatos dos riachos com o reservatório. Em futuros estudos há necessidade de se validar os valores encontrados com dados de campo de forma a verificar a precisão do mapeamento para o reservatório em estudo, observando dia e horário da passagem do sensor.

ABSTRACT - In the analysis of trophic state of the water body is fundamental to know chlorophyll-a concentration. Thus, this work has as main aim to determinate and to assess the behavior of chlorophyll-a in the Itaparica reservoir, located in the region of sub-middle São Francisco river. This way, we used Landsat-TM imagery, in which it was used bands from 1 to 5 and 7. The algorithm used was written in LEGAL language available in SPRING 5.2 package. From the chlorophyll-a image we divided the reservoir into 8 classes of Chl-a concentration. As observed by histogram, the minimum value of Chl-a was 0.003 µg/L and the highest was 249.53 µg/L. The classes that had the biggest area were Classe 01 (0 - 5 µg/L) with 27.43%, followed by Classe 02 (5 - 10 µg/L) with 24.56% of the total area of the study area. Through graphical analysis of points located along the reservoir it was possible to verify that chlorophyll concentration augmented from fluvial to lacustrine region and from the contact of streams with reservoir. In the next studies there is a need to validate the values with field data in order to verify the mapping accuracy in the case of Itaparica reservoir, taking into account the day and also the transit time of the sensor.

Palavras-chave: Qualidade da água, Sensoriamento remoto, Landsat

INTRODUÇÃO

No monitoramento da qualidade da água, satélites de captação de informações da superfície terrestre armazenam regularmente dados espaciais utilizados em algoritmos da qualidade da água. Essas informações modeladas e espacializadas sobre a qualidade da água, praticamente seriam os dados de saída, ligados a uma tabela de classificação das águas para detectar e monitorar se está dentro do limite ou excede valores críticos de padrões de qualidade da água conforme estabelecidos em Resolução, que no caso do Brasil é a Resolução CONAMA 357/2005.

1) Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, Departamento de Eng Civil, R. Acadêmico Helio Ramos S/N, Recife-PE, heliovasf@hotmail.com,msobral@ufpe.br,analucia@ufpe.br
2) Universidade Técnica de Berlim, Faculdade de Engenharia Ambiental, Strasse 17 Juni, 135, Belim, guenter.gunkel@tu-berlin.de

Para essa interação, relacionado ao monitoramento da qualidade da água, cinco passos são necessários, conforme Chen *et al.*(2007):

i) Identificação de medições apropriadas de qualidade da água e de indicadores do grau de degradação do corpo hídrico;
ii) Monitoramento da qualidade da água usando dados de sensoriamento remoto;
iii) Distribuição espacial de informação de qualidade da água em relação ao ecossistema aquático e mudanças ambientais;
iv) Ligação alfanumérica entre monitoramento da qualidade da água e políticas de recursos hídricos; e
v) Avaliação completa de monitoramento da qualidade da água usando sensoriamento remoto na diretiva dos recursos hídricos.

Os resultados de monitoramento da qualidade da água, usando sensoriamento remoto, mostram a situação atual do ambiente aquático, que pode ser comparado com medições futuras e possíveis problemas na superfície da água. Com essa comparação, pode-se identificar, que condições ou indicadores de qualidade da água podem alcançar ou exceder valores críticos estabelecidos na política de recursos hídricos.

Observa-se que o sensoriamento remoto oferece diversas técnicas e maneiras de se monitorar recursos hídricos em diferentes áreas e escala de tempo (Goddijn-Murphy *et al.*, 2009). Além dessas diversas técnicas, há também uma variabilidade de parâmetros a serem monitorados por sensoriamento remoto, os quais: transparência secchi (Kloiber *et al.*, 2002), clorofila-a (Chen *et al.*, 2011b; Gitelson *et al.*, 2008; Kloiber *et al.*, 2002; Zhang *et al.*, 2011), carbono orgânico particulado (Hadimitsis; Clayton, 2011), sólidos suspensos total (Artigas *et al.*, 2008; Wang *et al.*, 2006), turbidez (Wang *et al.*, 2006), entre outros.

O uso do sensoriamento remoto na gestão de reservatórios é baseado no fato de que consequências de eutrofização e o aumento da produtividade estão associadas com a mudança nas propriedades ópticas da massa hídrica. Aumento da clorofila-a está associado com diminuição na quantidade relativa de energia da banda azul (0,45-0,52 µm) e aumento na verde (0,52-0,60 µm) (Friese *et al.*, 2010), e geralmente se utiliza para sua determinação a razão entre os canais 704 e 675 nm (Li, *et al.*, 2010). Aumento de sólidos suspensos está associado com aumento na energia refletida, e o pico de reflectância moverá na direção de comprimentos de onda maiores (Lillesand; Kiefer, 1994). Essas mudanças podem ser medidas por técnicas de sensoriamento remoto (Nellis *et al.*, 1998; Onderka; Perárová, 2008; Song *et al.*, 2010).

O enriquecimento de nutrientes em lagos e reservatórios é a causa primária de diversas condições indesejáveis, incluindo a proliferação de algas nocivas, mortandade de peixes e excessivo

crescimento de plantas aquáticas. Como consequência, um monitoramento e controle efetivo dessa manifestação de eutrofização tem sido o foco de pesquisadores limnólogos por muitos anos (Lamon III *et al.*, 1996). Clorofila-a é geralmente usada como um indicador de biomassa algal, principalmente devido a fácil medida (Lamon III *et al.*, 1996), e sua quantificação, importante para qualidade da água.

Estimativas de concentração de constituintes da água, por sensoriamento remoto, no caso de águas continentais, tem sido um grande desafio, primeiramente divido a interações complexas entre fitoplancton, tripton, matéria orgânica colorida dissolvida e água pura (Oyama *et al.*, 2009; Yang *et al.*, 2011).

O processo de eutrofização acelerada em águas continentais tem se transformado em problema ambiental significante em todo o mundo. O manejo sustentável de ecossistemas aquáticos requer o monitoramento constante da qualidade da água. No entanto, a heterogeneidade espacial e temporal de corpos d'água recai frequentemente em sistemas inadequados de monitoramento e caracterização da qualidade da água usando métodos de amostragem convencional (Liu *et al.*, 2003). Por conseguinte, a combinação da característica espacial e temporal do sensoriamento remoto e coleta convencional de água provê uma solução potencialmente efetiva para monitorar ecossistemas aquáticos (Yang *et al.*, 2011).

Este trabalho busca aplicar e avaliar modelo de espacialização da clorofila no reservatório de Itaparica por meio de imagens Landsat, de forma a analisar espacialmente a sua distribuição e ocorrência. Procura-se, também, relacionar o uso e cobertura do solo como o padrão de comportamento da concentração de clorofila ao longo do reservatório.

MATERIAL E MÉTODO

Área de estudo

O reservatório de Itaparica localiza-se entre os estados da Bahia e Pernambuco e foi criado com o fechamento da barragem de Itaparica (Luiz Gonzaga) no final da década de 80 do século passado. As águas banham os municípios de Tacaratu, Petrolândia, Floresta, Itacuruba e Belém do São Francisco do lado de Pernambuco (Figura 1).

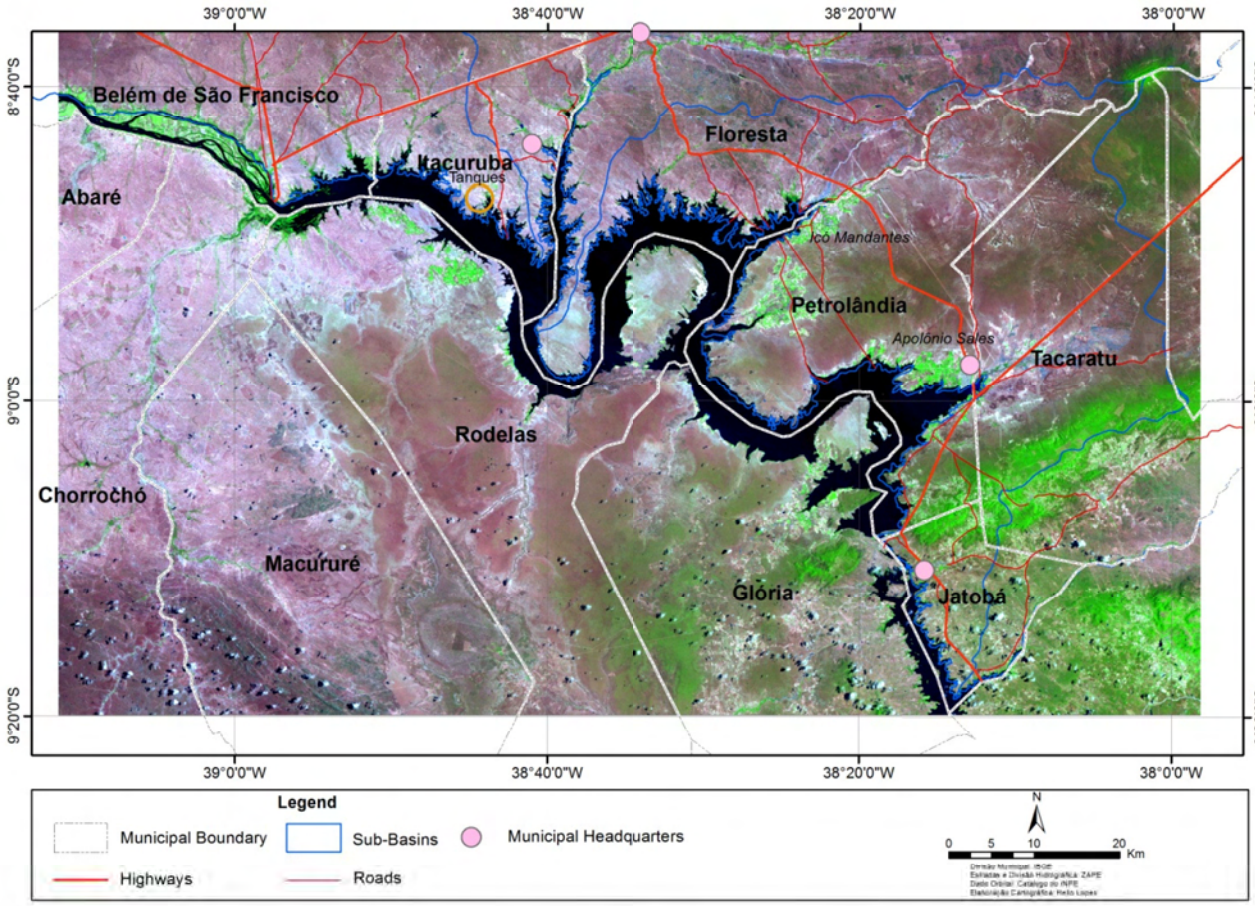

Figura 1. Características geográficas do reservatório de Itaparica.

Processamento de dados espaciais

A clorofila-a foi mapeada a partir de imagem do Landsat TM correspondente a órbita/ponto 216/66 de 06 de outubro de 2010, a qual foi georreferenciada tomando como referencia outra imagem. Essa imagem solicitada e capturada no catálogo do INPE e após esses procedimentos as sete bandas foram empilhadas para fins de georreferenciamento. Foi verificada a ocorrência de poucas nuvens sobre o reservatório, as quais foram mascaradas como valor zero. O georreferenciamento foi executado utilizando o sistema de coordenadas geográficas WGS84 com ajustamento polinomial de primeira ordem. O erro médio quadrático foi da ordem de 0,94 pixel, que corresponde a um erro menor que 30 metros que é a resolução espacial da imagem do Landsat TM referente às bandas do visível e infravermelho próximo e médio. A imagem georreferenciada foi recortada no formato do reservatório melhorando a aplicação do contraste e visualização de diferenças espectrais. Subsequentemente foi realizada a classificação do uso e cobertura do solo no entorno do reservatório, de forma a se localizar as maiores classes com potencial de poluição e verificar como é a concentração de clorofila existente próximo a essas classes.

Algoritmos de espacialização da clorofila

Segundo Lim *et al.* (2009), o monitoramento ambiental por meio de métodos tradicionais de amostragem consome muito tempo e requer altos custos de levantamento. Devido isso, diversos pesquisadores vem desenvolvendo modelos empíricos, com medidas de clorofila *in situ* e por meio de propriedades ópticas de imagens de satélites digitais (Artigas *et al.*, 2008; Gitelson *et al.*, 2007; 2008; Ma; Dai, 2005; Le *et al.*, 2011; Lim *et al.*, 2009; Oki, 2010).

Chen *et al.* (2011a) estimaram a distribuição da concentração de clorofila-a em corpo hídrico baseado em dados do Landsat-TM, indicando alta concentração de clorofila na região oeste, norte e central do Lago Taihu na China, e baixa na região sul. Le *et al.*, (2009) aplicaram um algoritmo baseado em três e quatro bandas para detectar concentração de clorofila no Lago Taihu. Chen *et al.* (2011a) utilizaram a razão de bandas do Landsat-TM (2 e 3), bem como relações angulares e altura do espectro considerando as três bandas do visível, para estimar a clorofila-a.

Nesta estudo foi utilizado e avaliado o modelo determinado por Chen et al. (2008) que requer como entrada as bandas 1 a 5 e 7 do Landsat e obteve um coeficiente de correlação de 0,82, sendo ajustada para os dados de clorofila-a de 2005 em que cada banda foi multiplicada pela média da clorofila.

Análise pontual da clorofila-a

Para se verificar o comportamento gráfico da concentração de clorofila foram escolhidos pontos (Figura 2) distribuídos por todo o reservatório considerando a margem direita, central e margem esquerda, bem como a entrada dos principais riachos, nos quais foram colocados mais pontos para se ter uma noção do comportamento da concentração de clorofila transversalmente ao reservatório.

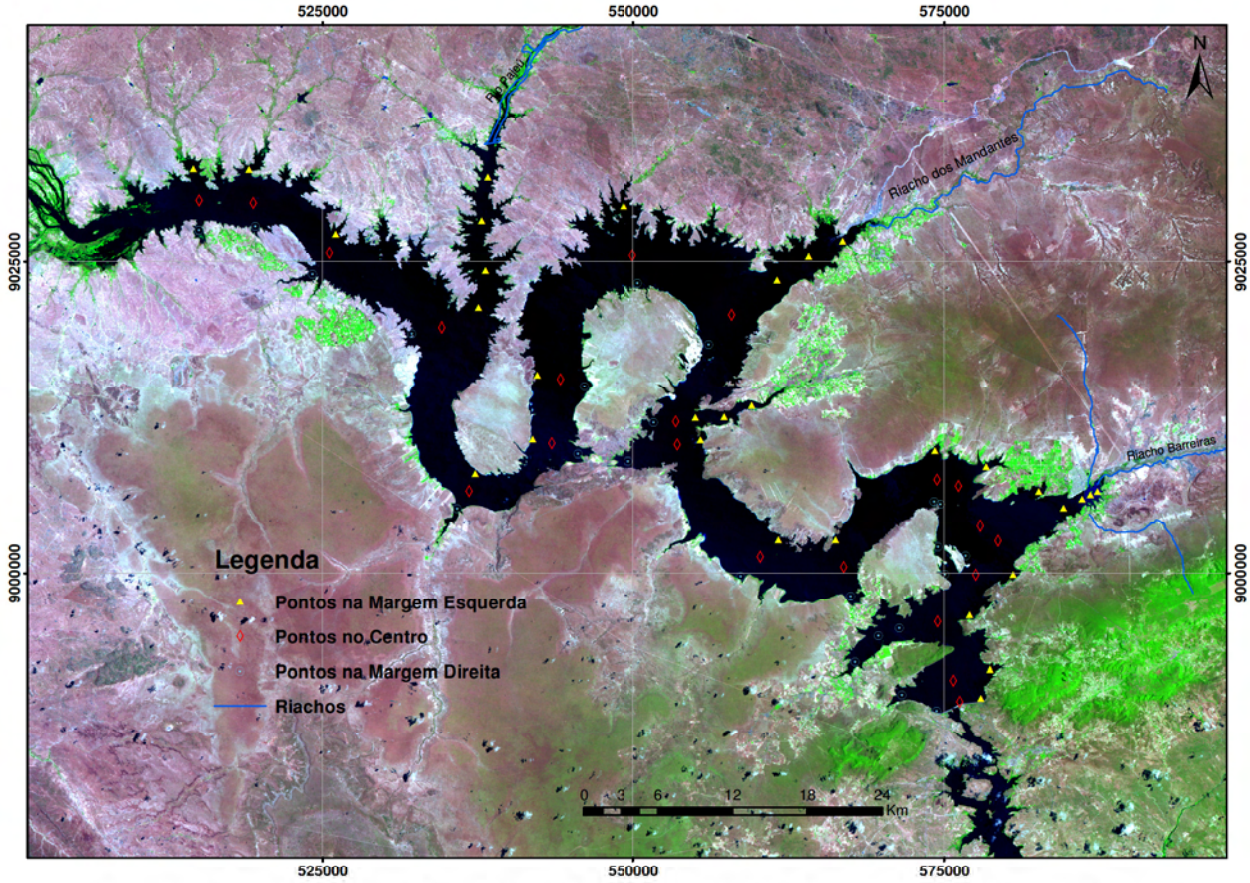

Figura 2. Localização dos pontos de monitoramento por sensoriamento remoto.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nos pontos selecionados ao longo da margem direita, central e margem esquerda foram verificados os valores da concentração de clorofila na imagem e plotados em gráfico (Figura 3).

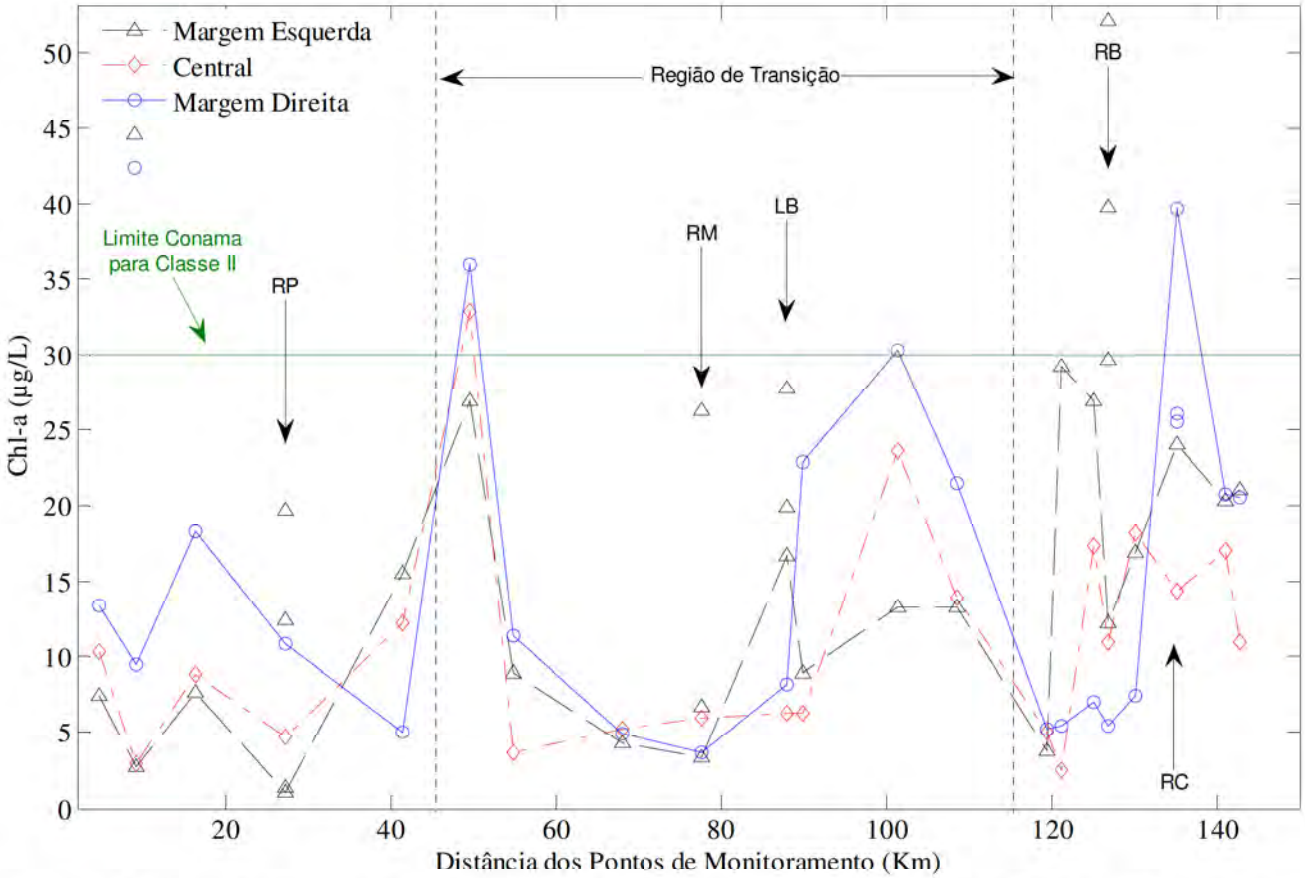

Figura 3. Perfil dos pontos de monitoramento por satélite da concentração de clorofila ao longo do reservatório (06/10/2012). RP - Rio Pajeu, RM - Riacho dos Mandantes, LB - Riacho do Limão Bravo, RB - Riacho Barreiras e RC - Riacho Canoas.

Observa-se pelo gráfico da figura 3 que o nível de concentração da clorofila-a tem um pequeno aumento da área fluvial para lacustre. É verificado, também que os pontos localizados nas entradas de riachos apresentam aumento na concentração de clorofila na direção do afluente. Para os pontos localizados na região fluvial ocorreram valores entre 0,96 e 18,36 µg/L, enquanto que para região de transição os valores variaram de 3,36 a 35,97 µg/L, já para zona lacustre a concentração de clorofila-a foi de 2,44 a 52,14 µg/L. Essa variação entre as regiões limnológicas pode indicar a dinâmica e complexidade do reservatório por ter diversos afluentes e com bastantes curvas.

Conforme indicado no mapa de distribuição espacial da clorofila no reservatório de Itaparica (Figura 4), foram estabelecidos pontos ao longo da margem direita (ME), da linha central (CT) e da margem esquerda (ME).

Nos perfis de clorofila da Figura 3, observa que parte dos pontos localizados na região central do reservatório está abaixo do valor de concentração de clorofila em relação aos pontos localizado nas margens considerando o perfil transversal. Como visto no mapa de clorofila (Figura 4) os

pontos foram distribuídos transversalmente ao reservatório. O único ponto central em que o valor da clorofila-a está acima dos pontos localizados nas margens foi o localizado no quilometro 130,11, considerando o perfil transversal. Os ponto nas entradas de riachos estão indicados por setas (Figura 3), em que RP é para o rio pajeu, RM é para o riacho dos mandantes, LB é para o riacho do limão bravo e RB é para o riacho barreiras, localizados na margem esquerda do reservatório, enquanto para a margem direita há o riacho canoas indicado por RC. Conforme gráfico, após o rio pajeu a concentração de clorofila aumenta, depois decresce até chegar no riacho dos mandantes e a partir desse ponto inicia a aumentar novamente o valor da concentração de clorofila até o quilometro 101,44. Na margem esquerda com influência do riacho barreiras os valores dos pontos de monitoramento são elevados alcançando o valor de 52,14 µg/L.

Com a modelagem da clorofila-a por meio do programa Spring 5.2, utilizando a ferramenta LEGAL, gerou-se o mapa da distribuição da concentração de clorofila no reservatório de Itaparica (Figura 4). Nesse mapa está indicado os pontos em que foram verificados os valores de clorofila. Foram colocados pontos ao longo da margem direita (Bahia), no centro do reservatório e ao logo da margem esquerda (Pernambuco).

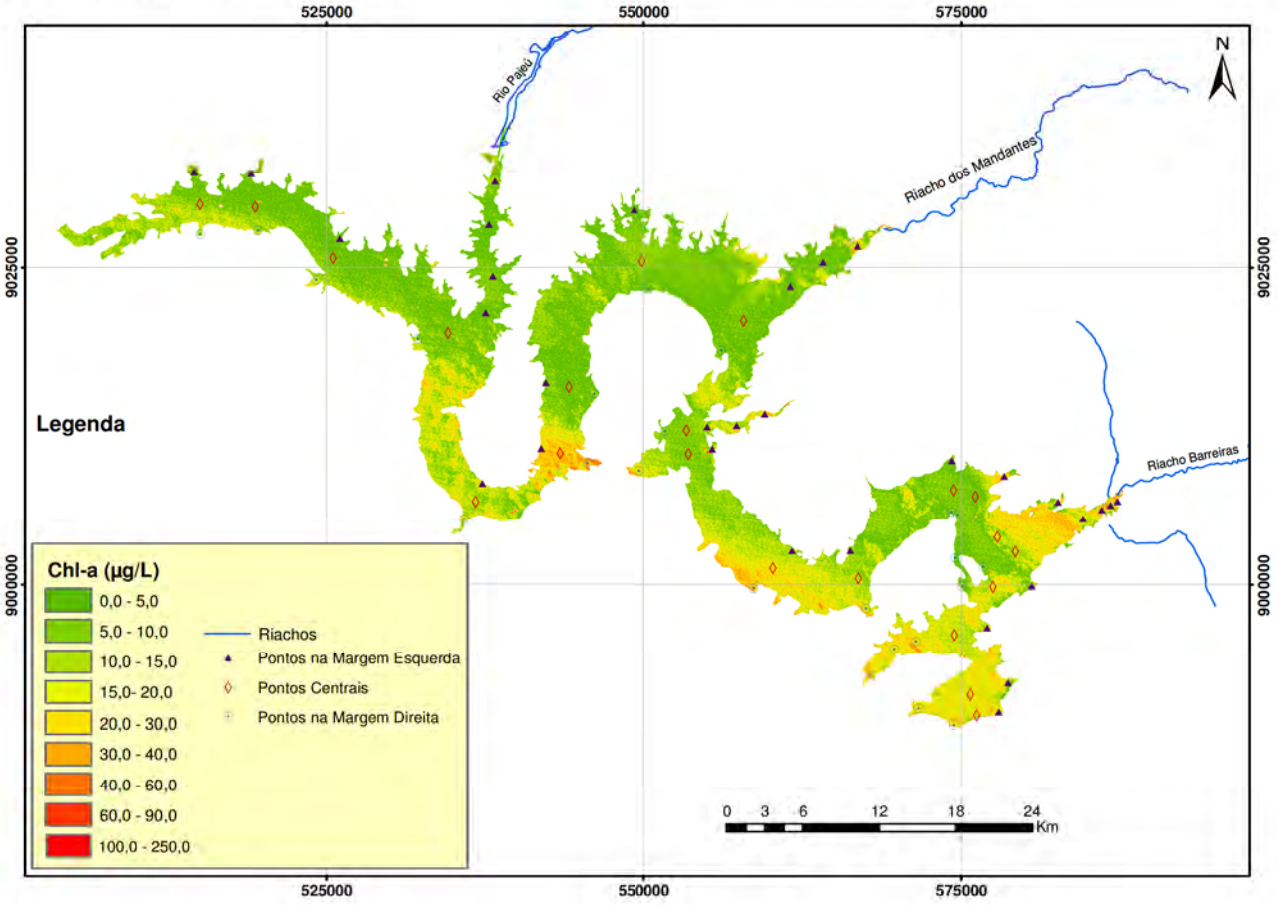

Figura 4. Distribuição da concentração de Clorofila-a em micrograma por litro para 06 de outubro de 2010.

A área do reservatório é de 828 km^2 e a área analisada considerando a imagem de 2010 foi de 644.36 km^2. Além do reservatório não estar na sua capacidade total, foi também considerado um recuo em média de 90 metros de forma a evitar mistura de pixels. A maior área do reservatório está na classe entre 0 e 5 µg/L e entre 5 e 10 µg/L, conforme visto na Tabela 1 que mostra as áreas de cada classe, bem como as estatísticas descritivas.

Tabela 1. Áreas e estatística descritiva da concentração de clorofila considerando as classes da Figura 4.

	Áreas		Estatísticas (µg/L)					
Classe	Km^2	%	Min	Max	Méd	Med	Desv	Mod
]0 - 5]	176,73	27,43	0,003	4,99	2,48	2,47	1,44	4,97
]5 - 10]	158,25	24,56	5,003	9,99	7,41	7,37	1,43	5,21
]10 - 15]	121,64	18,88	10,003	14,99	12,37	12,30	1,44	13,91
]15 - 20]	85,17	13,22	15,003	19,99	17,34	17,27	1,43	17,33
]20 - 30]	80,89	12,55	20,003	29,99	23,99	23,55	2,75	20,31
]30 - 40]	16,51	2,56	30,017	39,99	33,41	32,85	2,58	30,15
]40 - 60]	2,97	0,46	40,017	59,99	46,03	44,51	5,13	40,13
]60 - 100]	0,94	0,14	60,02	99,92	76,86	75,16	11,49	66,28
]100 - 150]	0,62	0,10	100,12	149,92	124,23	124,26	13,99	146,36
]150 - 200]	0,37	0,06	150,06	199,99	173,93	172,84	15,05	160,62
]200 - 250]	0,27	0,04	200,06	249,53	221,74	219,88	13,47	202,76
	644,36							

O valor mínimo da concentração de clorofila-a para todo o corpo hídrico foi de 0,003 µg/L e o máximo de 249,53 µg/L. Essa alta concentração de clorofila pode está associada a vegetação aquática emersa e submersas que ocorrem no reservatório. Esse valor está contido na segunda menor classe que representa menos de 1% do reservatório (Tabela 1). O cômputo da estatística descritiva geral mostra que o valor médio da Chl-a foi de 11.63µg/L, sendo a mediana de 9.55 µg/L, a moda apresentou valor de 13.91 µg/L e o valor do desvio padrão foi de 11.16 µg/L. Para se ter uma noção da quantidade e distribuição da clorofila, foi gerado um histograma para todo o reservatório (Figura 5) considerando as classes acima especificadas no mapa de clorofila.

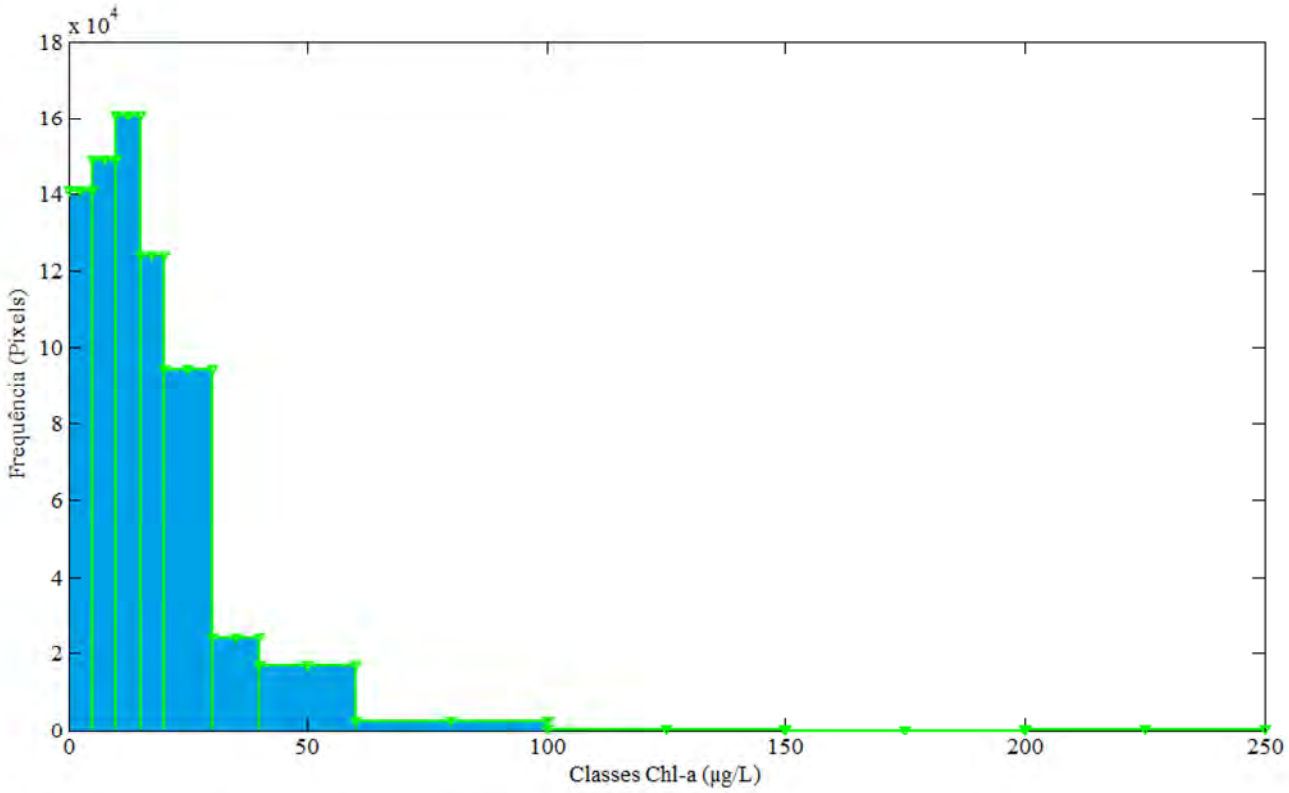

Figure 5. Histograma de distribuição da concentração de clorofila para data de 06 de outubro de 2010.

O histograma foi gerado com base nas sete classes e em cada barra do histograma está marcado o ponto central de cada classe de concentração de clorofila-a. Observa-se que a classe que contem a maior quantidade de pixels foi a classe de 0-5 µg/L, sendo assim parte do reservatório está abaixo do limite estabelecido na Resolução CONAMA nº 357/ 2005, que é de 30 µg/L para águas tipo II. Somando-se as cinco primeiras classes, que estão abaixo deste limite, corresponde a 96,64%, e o restante está compreendido nas classes entre 30 e 249 µg/L. Na análise realizada por Melo (2007) utilizando pontos amostrais, foram encontrados valores entre 0,40 e 62,0 µg/L para os anos de 2004 e 2005.

Após o mapeamento da clorofila, realizou-se a classificação do uso e cobertura do solo (UCS) no entorno do corpo hídrico, considerando uma área de influencia de 3 km a partir da margem do reservatório. Na Figura 6 é esboçado o mapa de UCS.

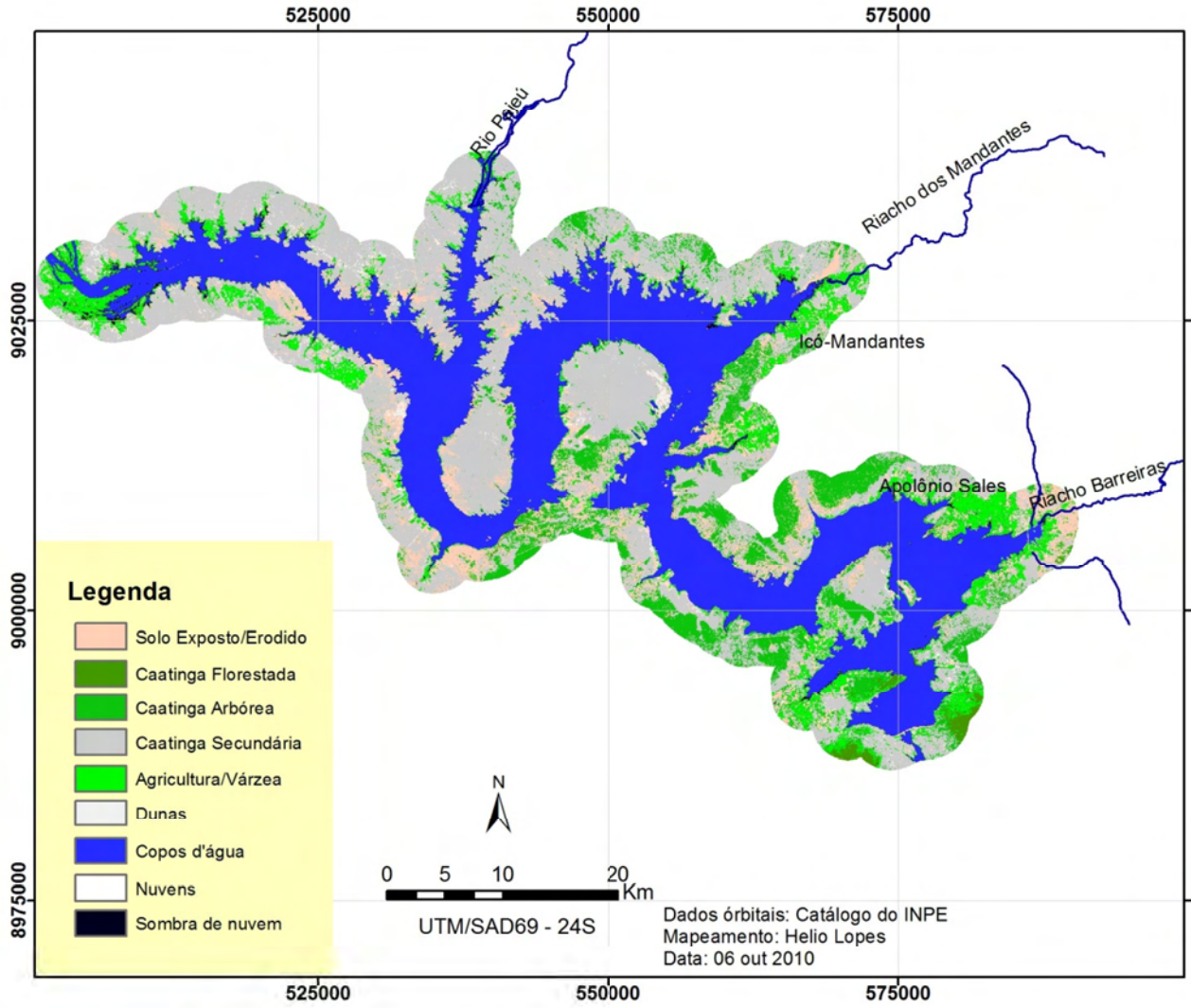

Figura 6. Mapa de uso e cobertura do solo para as margens do reservatório de Itaparica.

Grande parte da margem do reservatório se encontra com caatinga secundária, principalmente do final da região lacustre até a região fluvial. Há ocorrência de agricultura irrigada na margem esquerda do riacho dos mandantes e na margem direita do riacho barreiras próximo a cidade de Petrolândia, os quais deságuam na margem esquerda do reservatório, estado de Pernambuco. No riacho barreiras pode-se observar a ocorrência de solo exposto e erodido responsável pela entrada de sedimento nessa região do reservatório. Nessa área do reservatório estão localizados quatro pontos da margem esquerda referentes aos Km 125,03 e 126,85, em que o ponto mais externo apresentou a maior concentração de clorofila com 52,14 µg/L, enquanto que o ponto mais interior apresentou a menor concentração com valor de 12,26 µg/L (Figura 3). No entorno do reservatório, próximo a esses pontos, há ocorrência de agricultura irrigada e zona urbana (Petrolândia) que podem contribuir para os altos valores, além de pertencer a zona lacustre do reservatório. O Pontos localizados no Km 77,71 (Figura 3), que também apresentam um gradiente de elevação dos valores de clorofila (3,36 µg/L, 6,78 µg/L, 26,32 µg/L), estão localizados na

entrada do riacho dos mandantes, em que na sua margem esquerda há ocorrência de agricultura irrigada como visto no mapa de uso e cobertura do solo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme os resultado obtido pela modelagem, por volta de 96% do reservatório encontra-se abaixo do limiar estabelecido pela resolução CONAMA 357/2005 para concentração de clorofila-a, considerando a data de passagem do satélite.

A distribuição espacial da clorofila-a seguiu, no geral, o padrão de ocorrência, diminuindo da região lacustre para região fluvial.

Após o contato de riachos com o reservatório se observa aumento na concentração de clorofila, que pode está associado a entrada de nutrientes.

Etapas de validação do modelo para o reservatório de Itaparica são necessárias, levando em consideração a resolução temporal do satélite e hora de passagem.

Os pontos localizados nas margens, nos contatos dos riachos dos mandantes e barreiras, apresentam as maiores concentrações de clorofila que podem estar associadas ao uso e cobertura do solo que ocorrem nessas margens, além de estarem localizados na zona de maior susceptibilidade do reservatório, que é a lacustre.

AGRADECIMENTOS

Este estudo faz parte da tese do primeiro autor interligada com o programa de pesquisa teuto-brasileiro INNOVATE (Interplay among multiple uses of water reservoirs via innovative coupling of substance cycles in aquatic and Terrestrial Ecosystems) e é apoiado pelo Ministério Federal de Educação e Pesquisa da Alemanha. A bolsa de doutorado sandwich é financiada pelo CNPq/DAAD (Serviço Alemão de Intercâmbio Acadêmico).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARTIGAS, F.; MARTI, A.; YAO, N.; PECHMANN, I. (2008). Chlorophyll Detection and Mapping of Shallow Water Impoundments Using Image Spectrometry. **Research Letters in Ecology**, pp. 1 - 4.

CHEN, Q.; ZHANG, Y.; HALLIKAINEN, M. (2007) Water quality monitoring using remote sensing in support of the EU water framework directive (WFD): A case study in the Gulf of Finland. **Environment Monitoring Assessment**, v. 124, pp.157–166.

CHEN, S.; FANG, L.; LI, H.; CHEN, W.; HUANG, W. (2011). Evaluation of a three-band model for estimating chlorophyll-a concentration in tidal reaches of the Pearl River Estuary, China. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v.66, pp.356-364.

FRIESE, M.; MIGDALL, S.; BACH, H.; KRÄTZ, D.; BORCHARDT, D.; HANK, T.; MAUSER, W. (2010). Water quality assessment using hyperspectral techniques for the river main and its riparian water. **Proc**. Hyperspectral 2010 Workshop (ESA SP-683, May 2010), Frascati, Italy, 17–19 March 2010. Disponível em: http://earth.esa.int/ workshops/hyperspectral_2010/papers/s4_1friese.pdf Acessado em: 04 nov 2011.

GITELSON, A. A.; DALL'OLMO, G.; MOSES, W.; RUNDQUIST, D. C.; BARROW, T.; FISHER, T. R.; GURLIN, D.; HOLZ, J. (2008). A simple semi-analytical model for remote estimation of chlorophyll-a in turbid waters: Validation. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, pp. 3582–3593.

GODDIJN-MURPHY, L.; DAILLOUX, D.; WHITE, M.; BOWERS, D. (2009). Fundamentals of in Situ Digital Camera Methodology for Water Quality Monitoring of Coast and Ocean. **Sensors**, v. 9, pp. 5825-5843.

HADJIMITSIS, D. G.; CLAYTON, C. (2011). Field Spectroscopy for Assisting Water Quality Monitoring and Assessment in Water Treatment Reservoirs Using Atmospheric Corrected Satellite Remotely Sensed Imagery. **Remote Sensing**, v. 3, pp. 362-377.

KLOIBER, S. M.; BREZONIK, P. L.; BAUER, M. E. (2002). Application of Landsat imagery to regional-scale assessments of lake clarity. **Water Research,** v. 36, pp. 4330–4340.

LAMON III, E. C.; RECKHOW, K. H.; HAVENS, K. E. (1996). Using generalized additive models for prediction of chlorophyll *a* in Lake Okeechobee, Florida. **Lakes & Reservoirs: Research and Management,** v.2, pp. 37-46.

LI, L.; SENGPIEL, R. E.; PASCUAL, D. L.; TEDESCO, L. P.; WILSON, J. S.; SOYEUX, E. (2010). Using hyperspectral remote sensing to estimate chlorophyll- a and phycocyanin in a mesotrophic reservoir. **International Journal of Remote Sensing**, v. 31, n. 15, pp.4147-4162.

LILLESAND, T M.; KIEFER, R. W. (1994). **Remote Sensing and Image Interpretation**. New York: John Wiley & Sons, 3rd ed., U.S.A, 750 p.

LIU, Y.; ISLAM, M. A.; GAO, J. (2003). Quantification of shallow water quality parameters by means of remote sensing. **Progress in Physical Geography**, v. 27 pp. 24-43.

MELO, G. L. (2007). Estudo da qualidade da água no reservatório de Itaparica localizado na Bacia do Rio São Francisco. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 97p.

NELLIS, M. D.; HARRINGTON JR., J. A.; WU, J. (1998). Remote sensing of temporal and spatial variations in pool size, suspended sediment, turbidity, and Secchi depth in Tuttle Creek Reservoir, Kansas: 1993. **Geomorphology**, v. 21, pp. 281-293.

ONDERKA, M.; PEKÁROVÁ, P. (2008). Retrieval of suspended particulate matter concentrations in the Danube River from Landsat ETM data. **Science of The Total Environment**, v. 397, pp. 238-243.

OYAMA, Y.; MATSUSHITA, B.; FUKUSHIMA, T.; MATSUSHIGE, K.; IMAI, A. (2009). Application of spectral decomposition algorithm for mapping water quality in a turbid lake (Lake Kasumigaura, Japan) from Landsat TM data. ISPRS **Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 64, pp. 73-85.

SONG, K.; DONGMEI, L.; LIU, D.; WANG, Z.; LI, L.; ZHANG, B.; WANG, Y. (2010). Retrival of total suspended matter (TSM) using remotely sensed images in shitoukoumen reservoir, northeast china, IEEE, pp. 405-408.

WANG, F.; HAN, L.; KUNG, H.-T.; VAN ARSDALE, R. B. (2006). Applications of Landsat-5 TM imagery in assessing and mapping water quality in Reelfoot Lake, Tennessee. **International Journal of Remote Sensing,** v. 27, n. 23, pp. 5269–5283.

YANG, W.; MATSUSHITA, B.; CHEN, J.; FUKUSHIMA, T. (2011). Estimating constituent concentrations in case II waters from MERIS satellite data by semi-analytical model optimizing and look-up tables. **Remote Sensing of Environment**, v. 115, pp. 1247-1259.

ZHANG, Y.; LIN, S.; QIAN, X.; WANG, Q.; QIAN, Y.; LIU, J.; GE, Y. (2011). Temporal and spatial variability of chlorophyll a concentration in Lake Taihu using MODIS time-series data. **Hydrobiologia** v. 661, pp.235–250.