

USO DO SENSORIAMENTO REMOTO NO MONITORAMENTO DE PLANTAS AQUÁTICAS

FRANCISCO JOSIVAN DE OLIVEIRA LIMA¹, FERNANDO BEZERRA LOPES¹, EUNICE MAIA DE ANDRADE¹,
CLAUDIO CLEMENTE FARIA² BARBOSA, ADUNIAS DOS SANTOS TEIXEIRA¹

¹Universidade Federal do Ceará (UFC)

²Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)

<josivan.lima1@gmail.com>,
<lopesfb@yahoo.com.br>, <eandrade.ufc@gmail.com>,
<claudio@dpi.inpe.br>, <adunias@ufc.br>

DOI: 10.21439/conexoes.v11i1.1077

Resumo. A propagação de plantas aquáticas nos corpos d'água tem contribuído para o comprometimento dos diversos usos da água. Para realizar o controle dessa vegetação é essencial que se faça a identificação e o monitoramento das espécies presente nos mananciais. O sensoriamento remoto é uma tecnologia que pode ser empregada na coleta de dados sobre macrófitas, sendo o NDVI uma técnica bastante utilizada na discriminação da vegetação. Objetivou-se investigar a aplicabilidade do sensoriamento remoto na avaliação de plantas aquáticas em diferentes níveis de aquisição de dados. O estudo foi realizado no açude Muquém, localizado no município de Cariús, Ceará, que está inserido na bacia do Alto Jaguaribe, Brasil. Com o resultado obtido a partir da coleta das plantas aquáticas foi possível identificar três espécies (*Polygonum ferrugineum* Wedd, *Salvinia oblongifolia* Mart e *Oxycaryum cubense* (Poepp & Kunth) Palla). A partir das respostas espectrais dos alvos foi observado a diferença entre as espécies de vegetação e fases fenológicas. Através da utilização do NDVI nas imagens de Landsat-8 foi possível mapear a área do espelho d'água ocupado por vegetação aquática. Verificar que houve uma redução na área ocupada por vegetação, passando de 37,62% para 30,21%, para as imagens de julho e setembro de 2014, respectivamente. Verificou-se também que tal redução estava relacionada ao processo de senescência e morte destes indivíduos. Com a aplicação do NDVI também é possível a identificação e mapeamento de diferentes estádios da vegetação: senescência e decomposição.

Palavras-chaves: Macrófitas aquáticas, Recursos hídricos, Resposta espectral, NDVI.

Abstract. The propagation of aquatic plants in water bodies has helped to compromise various types of water use. Carry out the control of this vegetation is essential to do the identification and monitoring of this species in the water sources. The Remote sensing is a technology that can be used to collect data on macrophytes, with NDVI being widely-used to differentiate vegetation. The objective here was to investigate the applicability of remote sensing in the assessment of aquatic plants in different levels of data acquisition. The study was carried out at the Muquém Dam, located in the town of Cariús in the state of Ceará, inserted in the basin of the Upper Jaguaribe, Brazil. With the results obtained from the sampling of aquatic plants were identified three species (*Polygonum ferrugineum* Wedd, *Salvinia oblongifolia* Mart e *Oxycaryum cubense* (Poepp & Kunth) Palla). From the spectral responses of the targets was observed to difference between species of vegetation and phenological phases. Using NDVI on Landsat-8 images, it was possible to map the water surface area occupied by aquatic vegetation, and verify a reduction in the area occupied by the vegetation, from 37.62% to 30.21% for the images from July and September of 2014 respectively. It was also found that this reduction was related to the process of senescence and death of individuals. With the application of NDVI, it is also possible to identify and map different stages of the vegetation: senescence and decomposition.

Keywords: Aquatic macrophytes, Water resources, Spectral response, NDVI.

1 INTRODUÇÃO

Os reservatórios artificiais surgiram como medida para amenizar os problemas oriundos das secas, servindo para armazenar as águas no período chuvoso e dessa forma estando disponível para o abastecimento humano, industrial e agropecuário no período de seca, entretanto, nos últimos anos a qualidade das águas desses mananciais vêm sendo degradadas, tendo como principal responsável o processo de eutrofização, que consiste no enriquecimento dos corpos d'água por nutrientes (principalmente nitrogênio e fósforo), que favorece a proliferação excessiva de organismos produtores, por exemplo, fitoplâncton e macrófitas (DANTAS et al., 2011; SPERLING, 2005; OLSON; VENTURA; ZEDLER, 2012).

As macrófitas por sua vez ainda comprometem o abastecimento humano, industrial e agrícola, diminuí a navegabilidade dos cursos d'água e restringe as atividades recreativas devido ao recobrimento parcial ou total do espelho d'água. Já a morte destes organismos promove o acúmulo de carbono e a ciclagem de nutrientes favorecendo ainda mais a produção primária, contudo, a decomposição incompleta promove o acúmulo de material orgânico no fundo dos mananciais reduzindo assim o volume útil (SPERLING, 2005; LI et al., 2013).

Para realizar o controle dessa vegetação é essencial que se faça a identificação e o monitoramento das espécies presente nos mananciais, no entanto, os métodos tradicionais de monitoramento são onerosos, demorados e muitas vezes requerem contato direto que podem resultar na dispersão destas plantas (BOSSARD; RANDALL; HOSHOVSKY, 2000). Nestas circunstâncias o monitoramento remoto de macrófitas pode ser utilizado como alternativa na obtenção de informações sobre estes organismos. O sensoriamento remoto oferece solução sinótica para monitoramento de plantas aquáticas em grandes áreas espaciais (ACKLESON; KLEMAS, 1987; DÖRNHÖFER; OPPELT, 2016).

Uma das formas de identificar a vegetação em ambientes aquáticos é a utilização de índices de vegetação. De acordo com Jensen (2009), são medidas radiométricas adimensionais que indicam a atividade da vegetação verde agregando-se ao índice de área foliar, porcentagem de cobertura verde, teor de clorofila e biomassa verde.

Dentre os Índices de vegetação, o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) tem sido muito utilizado nas imagens obtidas por sensoriamento remoto. Segundo Moraes et al. (2011) esse índice possui alta reflectância na banda do infravermelho próximo e dessa forma enfatiza a presença de vegetação e minimiza os efeitos variáveis de brilho de fundo. De acordo com

Marchetti et al. (2016) o NDVI é o produto de sensoriamento remoto mais utilizado no mundo para analisar tipos de vegetação e fenologia de plantas.

Em um estudo realizado no lago Taihu na china por Luo et al. (2016) foi empregado o uso de NDVI no monitoramento das mudanças sazonais e interanuais da vegetação aquática. Em outro, desenvolvido por Villa et al. (2015) em quatro corpos d'água em diferentes partes do mundo, foi comparada a aplicabilidade de Índices de Vegetação (dentre estes o NDVI) no mapeamento de plantas aquáticas. Segundo Ke et al. (2015) dentre muitos estudos empregando Índices de Vegetação, o NDVI foi mais comumente utilizado para o acompanhamento relacionadas com a vegetação.

Nesse contexto, objetivou-se avaliar a aplicabilidade do sensoriamento remoto na avaliação de plantas aquáticas em diferentes níveis de aquisição de dados, através da resposta espectral das plantas aquáticas obtidas *in situ*, e a partir da classificação de imagens satélites com base nas respostas de NDVI, por fim, investigar o comportamento destes organismos temporalmente.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

O presente estudo foi realizado no açude Muquêm, localizado no município de Cariús, Ceará, que está inserido na bacia do Alto Jaguaribe, Brasil. Este reservatório possui capacidade de armazenamento de aproximadamente 47,6 milhões de metros cúbicos de água e possui área de 493.000 ha. A região encontra-se situada no semiárido do Nordeste brasileiro, com clima do tipo BSw'h', segundo a classificação de Köppen. Na Figura 1 pode-se observar a área de estudo.

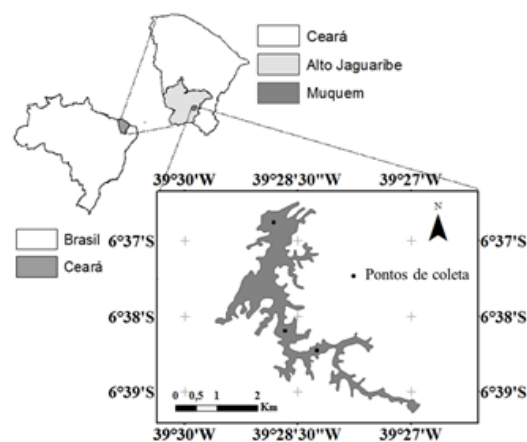


Figura 1: Localização da bacia hidráulica do Açude Muquêm
Fonte:

2.2 Identificação das Espécies de Macrófitas e Obtenção das Respostas Espectrais

Inicialmente identificou-se 3 diferentes espécies de plantas aquáticas no açude Muquê, em seguida, foram realizadas coletas das amostras das plantas aquáticas, logo após, as amostras foram armazenadas e levadas ao Herbário Prisco Bezerra localizado na Universidade Federal do Ceará no Campus do Pici, onde foram identificados os nomes científicos a nível de espécie.

As respostas espectrais das macrófitas e da água do açude foram obtidas *in situ*, utilizando-se do espectrorradiômetro portátil FieldSpec®3 ASDInc (Analytical Spectral Devices Inc.) que opera numa faixa espectral de 350 a 2500 nm com uma resolução espectral de 3 nm nas faixas do visível e infravermelho próximo (350-1300 nm) e de 10 nm na faixa do infravermelho de ondas curtas (1300-2500). Como padrão de referência foi utilizada uma placa Spectralon, representando uma superfície lambertiana.

As condições para a coleta dos dados foram as seguintes, o horário das coletas foi entre as 10 e 14 horas do dia (período com menor ângulo de inclinação da incidência solar) e o céu estava predominantemente livre de nuvens.

Preservou-se ao máximo a igualdade de condições de iluminação e de superfície de água. Para a coleta de dados espectrais da água o espectrorradiômetro foi posicionado em cada ponto amostral com eixo de visada de 45° de inclinação em relação à vertical e de 90° de azimute em relação a posição do sol, nestas condições evitou-se o efeito da reflectância especular da água, os procedimentos metodológicos de foram os mesmos propostos por Milton (1987) e também empregados por Lopes et al. (2014).

A altura do sensor em relação à superfície da água foi de 1 m e o tamanho aproximado da área imageada foi de 0,7 m² (LOPES et al., 2014). Foram realizadas 10 leituras dos alvos, para que conseguinte fossem eliminados os valores não representativos e foi calculado o valor médio para os dados restantes.

Os mesmos horários, condições atmosféricas e procedimentos foram replicados na coleta de dados espectrais das macrófitas. Para a espécie *Salvinia oblongifolia* Mart foram realizadas a aquisição da resposta espectral em duas fases fenológicas, no mesmo período e em fases diferentes na floração e no processo de senescência.

2.3 Aquisição, Processamento e Classificação das Imagens

A aquisição das imagens Landsat-8 OLI foram realizadas através da plataforma United States Geological Sur-

vey (USGS), onde foram selecionadas duas imagens referente a cena da Órbita 64 e do Ponto 217, que apresentassem poucas nuvens e que tivessem sido obtidas nos períodos referentes à estação chuvosa e à estação seca. As imagens obtidas tem um total de 9 bandas multiespectrais, podendo ser observado na Tabela 1.

Bandas	Comprimento de onda
Banda 1 – Aerosol costeiro	430 – 450 nm
Banda 2 – Azul	450 – 510 nm
Banda 3 – Verde	530 – 590 nm
Banda 4 – Vermelho	640 – 670 nm
Banda 5 – Infravermelho próximo	850 – 880 nm
Banda 6 – SWIR 1	1570 – 1650 nm
Banda 7 – SWIR 2	2110 – 2290 nm
Banda 8 – Pancromática	500 – 680 nm
Banda 9 – Cirrus	1360 – 1380 nm

Tabela 1: Características espectrais do sensor imageador OLI
Fonte: Adaptado USGS.

O processamento das imagens se deu a partir da calibração radiométrica do DN (number digital) convertendo-o para reflectância, utilizando a ferramenta Radiometric Calibration, que se baseiam nos coeficientes de calibração fornecidos pelos arquivos de metadados. As imagens foram classificadas utilizando método o IsoData, método de classificação não-supervisionado. Neste tipo de classificador é comum especificar o número de classes possíveis de serem encontradas na área de estudo, mesmo não sendo este o número ideal de classes (VENTURIERI; SANTOS, 1998). Dessa forma o número de classes foi definido de acordo com informações observadas em campo, aplicando os mesmos intervalos para cada processo de modo que o classificador não seja forçado a criar classes. Para todos os processos (calibração radiométrica e classificação das imagens) foram realizados utilizando o software ENVI 5.0.

O NDVI é sensível em captar resposta espectral da vegetação, pois possui alta reflectância na banda do infravermelho próximo e dessa forma enfatiza variações das medidas decorrentes da variação da densidade de vegetação e minimiza os efeitos variáveis de brilho de fundo. Os valores resultantes da aplicação do índice variam de -1 a 1, para água o valor de NDVI é negativo e ou igual a zero, para o solo exposto esse valor tendem a ligeiramente superior a zero e para vegetação esse valor tende a valores positivos acima de 0,2. Para realizar o cálculo do NDVI, foi utilizada a seguinte equação (ROUSE et al., 1974):

$$NDVI = \frac{(\rho(NIR) - \rho(Red))}{(\rho(NIR) + \rho(Red))} \quad (1)$$

em que: NDVI – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada; $\rho(Red)$ – Fator de reflectância bidirecional na banda do vermelho; $\rho(NIR)$ – Fator de reflectância bidirecional na banda do infravermelho próximo.

Após realizada a aplicação do NDVI as imagens foram classificadas empregando os intervalos de valores apresentados por Queiroz et al. (2015) adaptados para diferentes alvos em ambientes aquáticos. Valores de $NDVI \leq 0$ são indicadores de água, a faixa de $0 < NDVI \leq 0,2$ indica a presença de solo descoberto, plantas aquáticas em estágio que não apresentam mais nenhuma função metabólica ou em estado de decomposição, a faixa que abrange de $0,2 < NDVI \leq 0,4$ indicando a presença de vegetação em estágio inicial de senescência com diminuição das funções metabólicas e consequente diminuição da produção de clorofila, estando relacionado também a presença de algumas gramináceas, por fim, valores de $NDVI > 0,4$ são indicadores de vegetação em pleno vigor na produção de clorofila.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Espécies de Plantas Aquáticas Identificadas no Açude Muquém

Após feita coleta de plantas aquáticas encontradas em maior abundância no açude Muquém, foi realizado a identificação a nível de espécies dessa vegetação, visto que as características morfológicas de cada espécie é responsável pela diferença na resposta espectral. Na Tabela 2 pode ser observado as espécies identificadas no açude, seguida de uma breve descrição de sua morfologia.

Família	Espécie	Nome Popular
Polynaceae	<i>Polygonum ferrugineum</i> Wedd	Erva de Bicho gigante e Cataia gigante
Salviniaceae	<i>Salvinia oblongifolia</i> Mart	Mururé-carrapato
Cyperaceae	<i>Oxycaryum cubense</i> (Poepp & Kunth) Palla	Titirica e Capim-de-capivara

Tabela 2: Espécies de plantas aquáticas identificadas no Açude Muquém

Fonte:

A espécie *Polygonum ferrugineum* Wedd é emergente (CATIAN et al., 2012), podem chegar até 1 metro de altura e suas folhas possui comprimento de 20,0 cm e largura de 4,5 cm, sua distribuição ocorre principalmente em lagos e lagoas de águas límpidas de toda a

região nordeste, bem como ao longo de rios, riachos e igarapé da região norte do Brasil (MELO, 1996).

Salvinia oblongifolia Mart são plantas aquáticas flutuantes sem raízes, possui folhas flutuantes oblongas, ca. Três vezes mais longas do que largas, são espécies endêmicas dos seguintes estados brasileiros: Bahia, Minas Gerais, Goiás, Pernambuco, Sergipe e Pará (BARROS; XAVIER, 2007; SANTOS et al., 2014).

De acordo com o Global Invasive Species Database (ISSG, 2016), a espécie *Oxycaryum cubense* (Poepp & Kunth) Palla pode atingir de 1-3 metros de altura com o caule ereto, apresenta folhas longas e finas. Ocorre em zonas ribeirinhas, cursos de água, zonas húmidas e são encontradas em todas as Américas e em partes da África. Faz grandes tapetes flutuantes em água parada e pode ser agressivo e invasivo em algumas áreas (CATIAN et al., 2012).

3.2 Resposta Espectral da Água e das Plantas Aquáticas

A partir da coleta *in situ* dos espectros da água e da vegetação aquática foi possível gerar o gráfico com a resposta espectral para cada alvo, podendo ser observado na Figura 2.

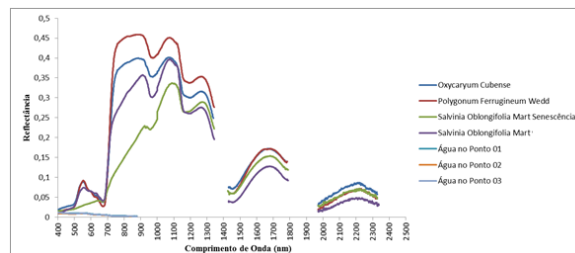


Figura 2: Assinatura espectral das plantas aquáticas e da água, obtidos a partir do espectrorradiômetro

Fonte:

Com base nas respostas espectrais dos alvos é possível inferir que as diferentes composições celulares, diferentes teores de clorofila, e estádios fenológicos, em conjunto com as diferenças morfológicas (altura do dossel, área foliar) das plantas resultam em resposta espectral única para cada espécie.

A resposta espectral das plantas na faixa do visível encontra-se entre 400 e 700 nm, e predomina a resposta característica da produção pigmentos das folhas que está relacionado com a produção de clorofila, de modo que a respostas espectral nessa faixa apresenta pequeno pico de reflectância na faixa do verde (500-578 nm) e um vale de absorção na faixa do vermelho (620-700). Já na região do infravermelho próximo que vai

de 700 a 1100 nm, a resposta espectral varia de acordo com a estrutura celular, apresentando alta reflectância espectral quase constante. A estrutura celular é quem determina o teor de água na planta e a partir da faixa do infravermelho médio que varia entre 1100 e 3000 nm o vale de absorção oscila com a quantidade de água presente na planta, tendendo a diminuição (FORMAGGIO, 1989; REBELO-MOCHEL; PONZONI, 2007; OYAMA; MATSUSHITA; FUKUSHIMA, 2015)

A diferença entre fases fenológicas de *Salvinia oblongifolia* em estágio de floração e em senescência, mostrou que na diminuição ou ausência de produção de clorofila é expresso pela ausência do pico de reflectância e do vale de absorção na faixa do visível, podendo ser observado na Figura 2. Observa-se também quanto a atividade celular no qual a *S. oblongifolia* em estágio de floração apresentou maior reflectância que a em estado de senescência. No entanto, ao passar para a faixa do infravermelho médio, o pico de reflectância da *S. oblongifolia* em senescência foi maior, tal fato pode ser explicado pelos baixos teores de água que favoreceu a uma maior reflectância.

A reflectância espectral de folhas nessa região do espectro eletromagnético é o resultado da interação da energia incidente com a estrutura do mesófilo, que varia com a relação água-ar nessa estrutura, estruturação biofísica, orientação das folhas, propriedades morfológicas e bioquímicas (GATES et al., 1965; KLANČNIK; GRADINJAN; GABERŠČIK, 2015).

A resposta espectral da água do açude mostra que há poucos Componentes Ópticamente Ativos (COAs) podendo ser observado pela baixa reflectância. A água pura apresenta alta transmitância na região do visível contribuindo para o alto coeficiente de atenuação, e para o baixo sinal de reflectância de massas de água (WOODRUFF et al., 1999; LOPES, 2013).

3.3 Classificação das Imagens

Na Figura 3 é apresentada a classificação não-supervisionada IsoData das imagens. Com base na classificação obtida (Figura 3A e 3B) é possível avaliar que o método IsoData não foi capaz identificar uma ampla variação na formação das classes, tal fato pode estar relacionado a grande quantidade de pixels presentes em uma mesma classe. Segundo Novo (1988), no caso das classificações não-supervisionadas, quanto maior a heterogeneidade das amostras, maior a certeza de que todas as classes possíveis estarão representadas.

Na Figura 3A o método IsoData conseguiu distinguir apenas a classe de vegetação aquática e a água do reservatório, já na Figura 3B foi possível diferenciar duas outras classes, vegetação de várzea (classificação

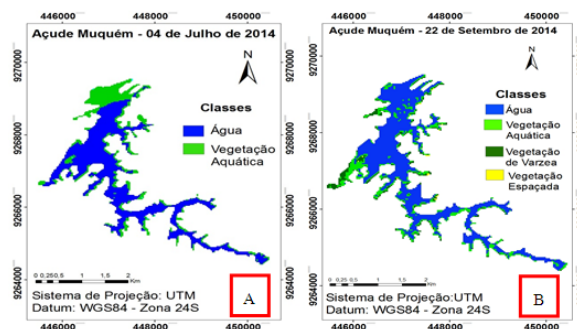


Figura 3: Classificação IsoData de imagem pré-processadas do Açude Muquém: 04 de Julho de 2014 (A); 22 de setembro de 2014 (B)

Fonte:

da vegetação que brota na área do açude que já não está mais inundada) e vegetação espaçada (reposta da mistura espectral da vegetação mais solo). Acredita-se que tais classes tenham se diferido devido a resposta espectral do solo, visto que no período referente a imagem houve rebaixamento do volume de água reservado de 76,96% para 68,54% (FUNCEME, 2014). De acordo com Thomas et al. (2015) essa variação é esperada em sistemas aquáticos em que tem grande variação espacial e temporal, em virtude dos pixels de mistura de água, solo e vegetação em áreas inundadas intermitentes.

A partir da classificação IsoData foi possível ainda acompanhar a variação temporal plantas aquáticas, podendo observar através da redução da classe representante. Foi notado também uma pequena mudança na composição florística, contudo os dados não permitem inferir sobre estas mudanças. Em um estudo realizado por Chen et al. (2014) no maior lago de água doce da China, o lago Poyang, os autores verificaram que a distribuição da vegetação foi influenciada pela recessão e expansão do corpo d'água, revelando relações estreitas com as flutuações do nível da água. Os autores afirmam ainda que pixels mistos de vários tipos de cobertura podem ser um problema para alguns locais ou classes.

Quando as mesmas imagens foram submetidas ao processamento utilizando o NDVI gerou uma classificação com número total de classes superior e com mais informações (Figura 4).

Com base nos resultados obtidos na Figura 4A é possível afirmar que 37,62% do reservatório encontrase coberto por plantas aquáticas, sendo que deste valor 24,99% da cobertura apresentaram valores de NDVI superiores a 0,4, indicando que a vegetação apresenta alta produção de clorofila, e os restantes são valores referentes a vegetação em estágio de senescência (7,97%)

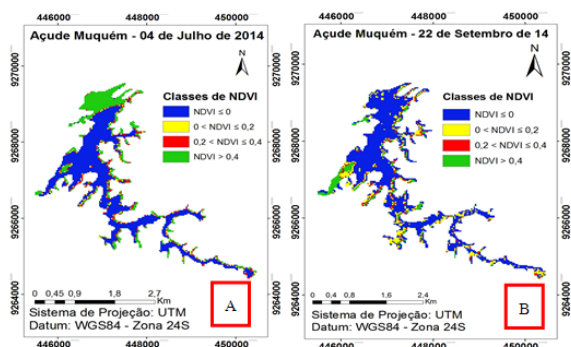


Figura 4: Classificação com NDVI: 04 de Julho de 2014 (A); 22 de setembro de 2014 (B)

Fonte:

e em decomposição (4,66%). Além da sua capacidade de destacar a vegetação de outras superfícies, o NDVI é capaz de diferenciar a vegetação em fases fenológicas em virtude da Fração de Radiação Ativa Fotossinteticamente Absorvida (PETTORELLI et al., 2005). A presença dessa vegetação pode estar relacionado a contribuição dos rios afluentes que abastecem o açude, que em períodos de enchente, lagoas e outros corpos d'água, antes isolados, tornam-se parte do rio principal para o qual as plantas aquáticas são arrastadas, porém assim que as águas baixam esses corpos d'água tornam-se novamente isolados (MITCHELL, 1971; IBÁÑEZ et al., 2012).

Quando os percentuais de cobertura são avaliados na Figura 4B, os resultados tendem a ser mais preocupantes, pois dentro um período e outro os valores de cobertura diminuíram para 30,21%, sendo que desse valor apenas 9,52% apresentaram valores de NDVI superiores a 0,4, e valores de vegetação em estágio de senescência (5,80%) e em estágio de decomposição (14,89%). Dessa forma pode-se observar que a redução da cobertura de vegetação aquática e a ocorrência de inversão de valores de NDVI entre um período e outro, corresponde a morte destes indivíduos.

De acordo com Zhang, Liu e Wang (2014), as variações espaciais e temporais do nível da água são cruciais para o desenvolvimento de macrófitas, de modo que no período seco é destrutivo para as macrófitas flutuantes e submersas. Li et al. (2013) afirmam que as espécies flutuantes pode ser potencial contribuinte na produção de detritos no sedimento em virtude de sua ampla distribuição, entretanto, pouco se sabe sobre sua taxa de decomposição. Segundo Piedade, Junk e Long (1991), as macrófitas podem representar as principais produtoras de matéria orgânica dos ambientes lênticos, atingindo

cerca de 100 ton de peso seco/ha/ano. A produção da biomassa das macrófitas pode constituir até a metade do aporte de carbono orgânico que se acumulam no sedimento em ambientes lacustres e ainda contribuem para a ciclagem de nutrientes (BIANCHINI, 1999; LI et al., 2013).

4 CONCLUSÃO

A diferença na resolução espectral entre a reflectância coletada *in situ* pelo FieldSpec e as imagens de Landsat-8, mostra que o número de bandas empregados nas imagens de Landsat-8 são insuficientes para gerar um mapeamento capaz de identificar as plantas aquáticas a nível de espécie, mesmo empregando o NDVI que baseia-se na utilização de faixas do vermelho e do infravermelho próximo de modo a gerar uma resposta intensificada da vegetação.

As respostas espectrais coletadas *in situ* é um ótimo identificador na formação de classes de espécies de vegetação aquáticas, pois cada alvo apresenta resposta espectral diferenciada mesmo entre espécies em estágios fenológicos diferentes, o mapeamento utilizando dados hiperespectrais permite a identificação das espécies de plantas aquáticas.

Apesar da incapacidade de identificar as espécies de macrófitas, o método de classificação utilizando o NDVI se destacou em relação a classificação não-supervisionado IsoData, de modo que o classificador IsoData apresentou tendência em formar um menor número de classes em imagens onde há maior homogeneidade de informações. Contudo, quando o mesmo é submetido ao processamento utilizando NDVI esse método de classificação tende a gerar mais informações, podendo assim auxiliar na identificação e mapeamento de diferentes estágios da vegetação: estágio de senescência e decomposição.

A distribuição temporal das macrófitas aquáticas no Açude Muquém pode ser atribuído ao transporte fluvial, visto que a maior presença dessa vegetação ocorreu no final do período chuvoso em virtude de grande fluxo de água. Já a redução destes indivíduos no período seco está relacionada ao processo de senescência e morte, de modo a contribuir para o aporte de matéria orgânica no sedimento de fundo do reservatório.

REFERÊNCIAS

ACKLESON, S. G.; KLEMAS, V. Remote sensing of submerged aquatic vegetation in lower chesapeake bay: a comparison of landsat mss to tm imagery. *Remote Sensing of Environment*, v. 22, p. 235 – 248, 1987.

- BARROS, I. C. L.; XAVIER, S. R. S. Salviniaceae do estado do Pernambuco, Brasil. *Revista Brasileira de Biociências*, v. 5, p. 246 – 248, 2007.
- BIANCHINI, J. I. Aspectos do processo de decomposição nos ecossistemas aquáticos continentais. *Perspectivas da limnologia no Brasil. São Luís: Gráfica e Editora União*, p. 21 – 43, 1999.
- BOSSARD, C. C.; RANDALL, J. M.; HOSHOVSKY, M. C. *Invasive plants of California's wildlands* Berkeley. California: Univ of California Press, 2000.
- CATIAN, G.; LEME, F. M.; FRANCENER, A.; CARVALHO, F. S.; GALLETTI, V. S.; POTT, A.; POTT, V. J.; SCREMIN-DIAS, E.; DAMASCENO-JUNIOR, G. A. Macrophyte structure in lotic-lentic habitats from brazilian Pantanal. *Oecologia Australis*, v. 16, n. 4, p. 782 – 796, 2012.
- CHEN, L.; JIN, Z.; MICHISHITA, R.; CAI, J.; YUE, T.; CHEN, B.; XU, B. Dynamic monitoring of wetland cover changes using time-series remote sensing imagery. *Ecological Informatics*, v. 24, p. 17 – 26, 2014.
- DANTAS, S. P.; BRANCO, K. G. K.; BARRETO, L. L.; COSTA, L. R. L.; DAMASCENO, M. F. B.; SALES, M. C. L. Análise da distribuição dos recursos hídricos do açude orós: bacia hidrográfica do jaguaribe/ce – Brasil. *Revista Geográfica da América Central*, p. 1 – 11, 2011.
- DÖRNHÖFER, K.; OPPELT, N. Remote sensing for lake research and monitoring - Recent advances. *Ecological Indicators*, v. 64, p. 105–122, 2016.
- FORMAGGIO, A. R. O sensoriamento remoto na agricultura: conceitos básicos, metodologias e aplicações. *São José dos Campos: INPE*, 1989. 217P.
- FUNCEME. Portal Hidrológico do Ceará. 2014. Disponível em: <<http://www.hidro.ce.gov.br/>>. Acesso em: 09 fev. 2015.
- GATES, D. M.; KEEGAN, H. J.; SCHLETER, J. C.; WEIDNER, V. R. Spectral properties of plants. *Applied Optics*, v. 4, n. 1, p. 11 – 20, 1965.
- IBÁÑEZ, C.; CAIOLA, N.; ROVIRA, A.; REAL, M. Monitoring the effects of floods on submerged macrophytes in a large river. *Science of The Total Environment*, v. 440, p. 132 – 139, 2012.
- ISSG. Invasive Species Specialist Group. *Global Invasive Species Database*. Disponível em: <<http://www.issg.org/database/species/ecology.asp?si=1231>>. Acesso em: jan. 2016.
- JENSEN, J. R. *Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres*. : Parêntese Editora São José dos Campos, 2009. 604 p.
- KE, Y.; IM, J.; LEE, J.; GONG, H.; RYU, Y. Characteristics of landsat 8 oli - derived NDVI by comparison with multiple satellite sensors and in-situ observations. *Remote Sensing of Environment*, v. 164, p. 298 – 313, 2015.
- KLANČNIK, K.; GRADINJAN, D.; GABERŠČIK, A. Epiphyton alters the quantity and quality of radiation captured by leaves in submerged macrophytes. *Aquatic Botany*, v. 120, p. 229 – 235, 2015.
- LI, X.; CUI, B.; YANG, Q.; LAN, Y.; WANG, T.; HAN, Z. Effects of plant species on macrophyte decomposition under three nutrient conditions in a eutrophic shallow lake, North China. *Ecological Modelling*, v. 252, p. 121 – 128, 2013.
- LOPES, F. B. *Uso de sensoriamento remoto como suporte ao monitoramento da qualidade das águas superficiais da região semiárida do Brasil*. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) — Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.
- LOPES, F. B.; BARBOSA, C. C.; NOVO, E. M. d. M.; ANDRADE, E. M. de; CHAVES, L. C. Modelagem da qualidade das águas a partir de sensoriamento remoto hiperespectral. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi*, v. 18, p. 13 – 19, 2014.
- LUO, J.; LI, X.; MA, R.; LI, F.; DUAN, H.; HU, W.; QIN, B.; HUANG, W. Applying remote sensing techniques to monitoring seasonal and interannual changes of aquatic vegetation in Taihu Lake, China. *Ecological Indicators*, v. 60, p. 503 – 513, 2016.
- MARCHETTI, Z. Y.; MINOTTI, P. G.; RAMONELL, C. G.; SCHIVO, F.; KANDUS, P. NDVI patterns as indicator of morphodynamic activity in the middle Paraná River floodplain. *Geomorphology*, v. 253, p. 146 – 158, 2016.
- MELO, E. O. O gênero *polygonum* L.(Polygonaceae) no estado da Bahia, Brasil. *Sitientibus*, n. 14, p. 45 – 55, 1996.
- MILTON, E. J. Princípios de espectroscopia de campo. *International Journal of Remote Sensing*, v. 8, p. 1807 – 1827, 1987.

- MITCHELL, D. S. Factors influencing the explosive growth of floating aquatic weeds in tropical areas. *Science News*, v. 5, n. 1, p. 7 – 19, 1971.
- MORAIS, Y. C. B.; SANTOS, B. O.; LAURENTINO, M. L. S.; SILVA, J. C. B.; GALVÍNIO, J. Análise espaço-temporal e detecção de mudanças da cobertura vegetal no município de floresta/PE–brasil, utilizando o NDVI. In: *Anais do XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR 2011*. Curitiba: , 2011. p. 2128 – 2134.
- NOVO, E. M. L. M. *Sensoriamento Remoto - Princípios e Aplicações*. 2. ed. São Paulo: Edgart Bluncher LTDA, 1988. v. 1. 285 p.
- OLSON, E. R.; VENTURA, S. J.; ZEDLER, J. B. Merging geospatial and field data to predict the distribution and abundance of an exotic macrophyte in a large wisconsin reservoir. *Aquatic Botany*, v. 96, n. 1, p. 31 – 41, 2012.
- OYAMA, Y.; MATSUSHITA, B.; FUKUSHIMA, T. Distinguishing surface cyanobacterial blooms and aquatic macrophytes using Landsat/TM and ETM+ shortwave infrared bands. *Remote Sensing of Environment*, v. 157, p. 35 – 47, 2015.
- PETTORELLI, N.; VIK, J. O.; MYSTERUD, A.; GAILLARD, J.-M.; TUCKER, C. J.; STENSETH, N. C. Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends in ecology & evolution*, v. 20, n. 9, p. 503 – 510, 2005.
- PIEDEDE, M. T. F.; JUNK, W. J.; LONG, S. P. The productivity of the C₄ Grass *Echinochloa polystachya* on the amazon floodplain. *Ecology*, v. 72, n. 4, p. 1456 – 1463, 1991.
- QUEIROZ, J. V. S.; MARTINS, A. P.; WACHHOLZ, F.; CABRAL, J. B. P.; BARCELOS, A. A. Uso do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) na avaliação do desenvolvimento de cafeeiros do sul de minas gerais. Embrapa Café, 2015.
- REBELO-MOCHEL, F.; PONZONI, F. J. Spectral characterization of mangrove leaves in the Brazilian Amazonian Coast: Turiaçu Bay, Maranhão State. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 79, n. 4, p. 683 – 692, 2007.
- ROUSE, J. J.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. 1974.
- SANTOS, V. V.; BARROS, I. C. L.; JÚNIOR, A. M. M.; SEVERI, W.; MAGALHÃES, K. M. Freshwater ferns along a river basin in northeast Brazil. *Neotropical Biology and Conservation*, v. 9, n. 1, p. 42 – 48, 2014.
- SPERLING, M. V. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 2005. v. 1.
- THOMAS, R. F.; KINGSFORD, R. T.; LU, Y.; COX, S. J.; SIMS, N. C.; HUNTER, S. J. Mapping inundation in the heterogeneous floodplain wetlands of the Macquarie Marshes, using Landsat Thematic Mapper. *Journal of Hydrology*, v. 524, p. 194 – 213, 2015.
- USGS. *Catálogo de Imagens LANDSAT*. Disponível em: <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 07 set. 2014.
- _____. *Landsat Mission*. Disponível em: <<https://landsat.usgs.gov/what-are-band-designations-landsat-satellites>>. Acesso em: 03 dez. 2016.
- VENTURIERI, A.; SANTOS, J. d. Técnicas de classificação de imagens para análise de cobertura vegetal. *Sistemas de informações geográficas: aplicações na agricultura*, v. 2, p. 351–371, 1998.
- VILLA, P.; BRESCIANI, M.; BOLPAGNI, R.; PINARDI, M.; GIARDINO, C. A rule-based approach for mapping macrophyte communities using multi-temporal aquatic vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, v. 171, p. 218 – 233, 2015.
- WOODRUFF, D. L.; STUMPF, R. P.; SCOPE, J. A.; PAERL, H. W. Remote estimation of water clarity in optically complex estuarine waters. *Remote Sensing of Environment*, v. 68, n. 1, p. 41 – 52, 1999.
- ZHANG, X.; LIU, X.; WANG, H. Developing water level regulation strategies for macrophytes restoration of a large river - disconnected lake, China. *Ecological Engineering*, v. 68, p. 25 – 31, 2014.