ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe

Avaliação da importância ambiental da *wetland* do Riacho Fundo para o Lago Paranoá e comunidades vizinhas

Breno Ricardo de Araújo Leite¹, Gustavo Macedo de Mello Baptista²

¹Pesquisador da Subdivisão de Sensoriamento Remoto do Instituto de Estudos Avançados, IEAv, Trevo Coronel Aviador José Alberto Albano do Amarante, nº 1, bairro Putim, São José dos Campos, SP, CEP 12.228-001. Autor correspondente. E-mail: breno@ieav.cta.br. ²Professor Doutor do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília, UnB, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Brasília, DF, CEP 70910-900. E-mail: gmbaptista@unb.br

Artigo submetido em 06/05/2015 e aceite em 28/12/2015.

RESUMO

O Lago Paranoá é um lago artificial de Brasília, no Distrito Federal, de grande importância para a cidade e que demanda grandes cuidados, principalmente quanto à qualidade da sua água. Um dos seus principais afluentes, o Riacho Fundo, possui muitos sólidos e sedimentos em suspensão, o que poderia ser motivo para grandes preocupações, se não fosse pela *wetland* que naturalmente formou-se em sua foz, objeto desse estudo. Por meio de imagens do sensor Multispectral Scanner (MSS) embarcado na aeronave R-99 e de diferentes recursos de geoprocessamento, incluindo o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), o Índice de Reflectância Fotoquímica (PRI) e o Mapeador de Ângulo Espectral (SAM) foi investigada a importância ambiental da *wetland* para o Lago Paranoá e comunidades vizinhas, especialmente quanto a três aspectos: retenção de sedimentos e sólidos em suspensão, sequestro de carbono e conforto térmico. Os resultados comprovaram que a *wetland* contribui de forma significativa para a melhoria da qualidade da água do Lago Paranoá, pois desempenha um importante papel de retenção dos sólidos em suspensão oriundos da montante do riacho e, além disso, coopera com a geração de oxigênio e conforto térmico, pois executa o sequestro de carbono de forma mais efetiva do que as áreas ao redor e possui temperaturas mais baixas em relação à margem e localidades próximas.

Palavras-chave: retenção de sólidos em suspensão, sequestro de carbono, conforto térmico, aeronave R-99.

Evaluation of the environmental importance of Riacho Fundo's wetland to Paranoa lake and neighboring communities

ABSTRACT

The Paranoa Lake is an artificial lake of Brasilia-DF, very important for the city and that demands great care, especially regarding water quality. One of its main tributaries, the Riacho Fundo, has many solids and sediments in suspension, which could be cause for great concern, but a wetland naturally was formed at the downstream, object of this study. Using images of the airborne sensor of R-99 aircraft, Multispectral Scanner (MSS), and applying different resources of geoprocessing including Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Photochemical Reflectance Index (PRI) and Spectral Angle Mapper (SAM) was investigated the environmental importance of the wetland to the Paranoa Lake and neighboring communities, especially regarding to three aspects: suspended solids retention, carbon dioxide sink and thermal comfort. The results proved that the wetland contributes significantly to the improvement of water quality of Paranoa Lake, because it is able to retain the suspended solids coming from upstream, and also cooperates with the oxygen generation and thermal comfort, because it sinks carbon more strongly than the areas of margins and appears colder than the edges.

Keywords: suspended solids retention, carbon dioxide sink, thermal comfort, R-99 aircraft

Introdução

O Lago Paranoá é um lago artificial de Brasília, no Distrito Federal, inaugurado em 12 de setembro de 1959. O lago é formado pelas águas represadas do rio Paranoá e possui 40 km² de

extensão, profundidade média de 12 m e 80 km de perímetro. Seus afluentes são o Ribeirão do Torto, Ribeirão do Gama, Córrego da Cabeça do Veado, Córrego Bananal e Riacho Fundo (Angelini et al., 2008).

O Lago Paranoá possui grande importância para a cidade de Brasília, principalmente por contribuir com vários benefícios, tais como: recreação, produção de energia, pesca, diluição de efluentes, além de ser regulador térmico e hidrográfico e alternativa para abastecimento de água. Uma reserva aquífera de tamanha magnitude demanda grandes cuidados, principalmente quanto à qualidade da sua água.

Um dos seus principais afluentes, o Riacho Fundo, há alguns anos vem sofrendo um gradativo e significativo aumento na quantidade de sólidos e sedimentos em suspensão no riacho, despejados principalmente pela ocupação desordenada à montante. Esse fato levou ao assoreamento e criou as condições ideais para a proliferação de macrófitas e o estabelecimento de uma região alagadiça (CAESB, 2008), denominada nesse estudo como *Wetland* do Riacho Fundo.

Wetland é um termo genérico utilizado para definir um universo de habitats úmidos, que são conhecidos sob diversas denominações, como banhados, brejos, pântanos, zonas alagadiças, charcos, manguezais e áreas similares, estando sujeitos a inundações periódicas ou permanentes, que mantém o solo suficientemente saturado para o estabelecimento de plantas macrófitas e o desenvolvimento de solos hidromórficos (Anjos, 2003).

A *Wetland* do Riacho Fundo, assim como todo ecossistema desse tipo, caracteriza-se por prejudicar a harmonia paisagística e restringir a navegabilidade no Lago Paranoá, fatores que colocam em risco a permanência dela naquele lugar, entretanto a literatura também indica um

importante papel desempenhado pelas *wetlands* para a melhoria da qualidade da água, além de contribuir para uma melhor condição atmosférica na região ribeirinha (Knight e Kadlec, 2000).

Com o intuito de investigar esses aspectos citados acima, o objetivo geral desse trabalho é identificar eventuais benefícios atrelados à existência da *wetland* e sua importância ambiental para o próprio Lago Paranoá e comunidades vizinhas ao Riacho Fundo e será pautado por três objetivos específicos:

a) avaliar a *Wetland* do Riacho Fundo como uma unidade natural de retenção dos sedimentos e sólidos em suspensão no riacho, servindo de filtro para a água a ser despejada no Lago Paranoá;

b) investigar a capacidade de sequestro de carbono da vegetação constituinte da *wetland* e sua contribuição para a geração de oxigênio e melhoria da qualidade do ar; e

c) identificar o comportamento termal da *wetland*, qualificando-a quanto à colaboração para a manutenção e o controle da temperatura do ambiente à sua volta, contribuindo para um maior conforto térmico.

Material e métodos

Área de estudo

A área de estudo compreende o município de Brasília-DF, mais especificamente a porção sul do Lago Paranoá e suas cercanias (Figura 1). O objeto da pesquisa é um dos principais afluentes desse lago, conhecido como Riacho Fundo, e uma região alagadiça que se formou em sua foz, a *Wetland* do Riacho Fundo, que aparece em destaque na Figura 2.

Figura 1. Imagem do Distrito Federal, destacando o Lago Paranoá e a *Wetland* do Riacho Fundo, identificada pelo retângulo branco (Fonte: adaptada de Google Earth).

Figura 2. Foto da *Wetland* do Riacho Fundo (Fonte: CAESB, 2008)

Multispectral Scanner

Os materiais usados na pesquisa foram imagens do sensor *Multispectral Scanner* (MSS) que foram obtidas em 28 de maio de 2009, às 10h30min da manhã, na região do Lago Paranoá, Brasília-DF. O modo de imageamento utilizado foi o *High Resolution* (31 bandas) e a imagem possui resolução espacial de 2 m.

O MSS é um sensor aerotransportado de varredura linear, que é operado pela Força Aérea Brasileira a partir da aeronave R-99 (Figura 3), responsável pela coleta de dados para o Sistema

de Proteção da Amazônia (SIPAM). O sensor trabalha com dois modos espectrais: *Low Resolution* (11 bandas) e *High Resolution* (31 bandas), abrangendo a região espectral do visível ao infravermelho termal.

O campo de visada instantâneo (IFOV) pode ser selecionado entre as opções de 1,25 e 2,5 mRad e a velocidade de varredura é ajustável entre 2 e 100 scan/seg, sendo capaz de gerar imagens com até 50 cm de resolução espacial e 16 bits de resolução radiométrica (GER, 2002).

Figura 3. Sensores imageadores embarcados na aeronave R-99

Processamento e calibração dos dados

As imagens foram processadas no software ENVI®, versão 4.7, disponível no Laboratório de Geociências da Universidade de Brasília (UNB). Apesar de existirem estudos que utilizam a correção atmosférica nos dados MSS (GER, 2000), esse procedimento não foi adotado para evitar que tal correção alterasse os dados originais e pudesse comprometer a análise dos corpos d'água, que normalmente apresentam baixo albedo.

Além disso, foi observado que os espectros de radiância obtidos pelo MSS apresentaram-se de forma muito semelhante aos dados de reflectância aparente e como o produto da correção é também a conversão para esse formato, não se julgou necessário o

processamento e optou-se pela maior preservação dos dados originais.

A imagem selecionada foi reamostrada espectralmente para a exclusão das bandas 29 e 30, referentes ao infravermelho de ondas curtas, e da banda 31, referente ao infravermelho termal, com o intuito de manter apenas os dados correspondentes ao visível e infravermelho próximo (VIS/NIR) do espectro eletromagnético.

A calibração radiométrica dos dados do VIS/NIR, isto é, a transformação dos valores digitais dos pixels em unidades de radiância foi executada implementando-se uma redução de *offset* de 32.768 níveis de cinza da imagem e aplicando-se um fator de escala de 10^{-3} para a conversão das bandas 1 a 28 em unidades de $[\mu W \cdot cm^{-2} \cdot nm^{-1} \cdot sr^{-1}]$ (GER, 2000). Tal transformação foi implementada de uma só vez,

em um processamento matemático utilizando a relação descrita pela equação 1:

$$RU = \frac{PV - 32768}{1000} \quad (1)$$

Em que PV é o valor do pixel e RU o valor de radiância.

Após a transformação foram selecionadas quatro regiões de interesse (ROI) em diversos pontos do Riacho Fundo, outras quatro ao longo do Lago Paranoá e duas num curso d'água cuja nascente se situa atrás do Colégio Marista e que

deságua próximo à área, mas que não sofre processo de assoreamento e nenhuma influência direta da bacia do Riacho Fundo.

O objetivo aqui é avaliar o comportamento da *wetland* quanto à retenção de sólidos em suspensão, por meio da análise do espectro de cada uma das ROI. Como pode ser observado na Figura 4, as ROI do Lago Paranoá estão na cor verde, o Riacho Fundo apresenta cor vermelha e o curso d'água situado atrás do Colégio Marista a cor amarela.

Figura 4. Regiões de interesse, utilizadas no processamento dos dados, onde o curso d'água situado atrás do Colégio Marista encontra-se em amarelo, o Riacho Fundo em vermelho e o Lago Paranoá em verde

Retenção dos sólidos em suspensão

A partir da seleção das ROI, foi analisada separadamente a assinatura espectral de cada um dos três alvos, para verificar a similaridade entre todas as ROI do Lago Paranoá e, da mesma forma, para as ROI do Riacho Fundo e do curso d'água que nasce atrás do Colégio Marista, para ter certeza que não ocorre diferenciação das amostras, independente do local escolhido como área de treinamento.

Após, foi obtida a média dos espectros de cada um dos corpos d'água e montou-se um único gráfico com a assinatura dos três alvos, para análise comparativa de seu comportamento espectral.

O passo seguinte foi a realização de uma Classificação Supervisionada denominada *Spectral Angle Mapper* (SAM) que avalia a similaridade entre o espectro de cada pixel da

imagem e o espectro dos *endmembers* de cada classe (Kruse et al., 1993).

O método transforma as respostas das ROI (*endmember* ou referência) em vetores n-dimensionais, nos quais n é o número de bandas e os compara com a imagem, por meio da determinação do ângulo entre eles e os vetores gerados para cada pixel, sendo que os ângulos menores representam maior semelhança com os *endmembers* (Kruse et al., 1993).

Foram utilizadas apenas as ROI do Riacho Fundo (vermelho) e do curso d'água que nasce atrás do Colégio Marista (amarelo) e a imagem gerada representa a espacialização da água turva e da água limpa.

Atividade fotossintética da *wetland*

Conforme indicado pelo método *CO₂flux* (Rahman et al., 2000), o sequestro de carbono pela vegetação depende da integração de dois índices espectrais do tipo “diferença normalizada”, são eles: *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) (Rouse et al., 1973) e *Photochemical Reflectance Index* (PRI) (Gamon et al., 1997).

O NDVI é um método de determinação do vigor da vegetação por meio de diferença normalizada entre o pico de reflectância no infravermelho próximo e a feição de absorção de luz na região do vermelho utilizada na

fotossíntese. Já o PRI mede, também por diferença normalizada, a relação entre a feição de absorção na região do azul e o pico de reflectância da vegetação na região do verde (Pedroza da Silva e Baptista, 2015).

Diversos estudos recentes mostram que o índice espectral PRI pode ser correlacionado com o uso eficiente da luz no processo da fotossíntese e, como citado anteriormente, o NDVI com o sequestro de carbono. Isso é facilmente compreendido, pois quanto maior for a atividade fotossintética, maior serão as feições de absorção nas faixas do azul e do vermelho e mais expressivos serão os valores (Baptista, 2004).

Para a avaliação da atividade fotossintética da *wetland* primeiramente foi necessário obter um espectro de vegetação, identificado na Figura 5, para a verificação das bandas do MSS que melhor caracterizavam a feição de absorção no vermelho e o pico de radiância no infravermelho, a saber, a banda 10 (685,5 nm) e a banda 16 (787,3 nm), respectivamente. Só após, então, a imagem foi processada usando o método NDVI.

Da mesma forma, o espectro teve que ser analisado para definir-se a feição de absorção no azul e o pico de radiância no verde. Concluiu-se que as bandas 3 (497,4 nm) e 5 (564,1 nm), conforme se pode verificar na Figura 6, seriam as indicadas para a utilização do método PRI.

Figura 5. Espectro de vegetação extraído da imagem MSS, onde a linha vermelha está marcando a banda 16 e a linha azul a banda 10, identificando o pico de radiância no NIR e a feição de absorção no vermelho, respectivamente

Figura 6. Espectro de vegetação extraído da imagem MSS, onde a linha azul está marcando a banda 3 e a linha verde a banda 5, identificando a feição de absorção no azul e o pico de radiação no verde, respectivamente

Os índices espectrais NDVI e PRI, especificamente para a imagem MSS em estudo, são expressos de acordo com as equações 2 e 3, respectivamente:

$$NDVI = \frac{R_{787,3} - R_{685,5}}{R_{787,3} + R_{685,5}} \quad (2)$$

e

$$PRI = \frac{R_{497,4} - R_{564,1}}{R_{497,4} + R_{564,1}} \quad (3)$$

Em que R_i é o valor de radiação em cada comprimento de onda, em nm, de valor i .

De posse dos dois índices supracitados, foi feita a conversão do PRI para valores positivos ($sPRI$) (equação 4) e a multiplicação do NDVI pelo $sPRI$ (equação 5), obtendo-se então a espacialização do fluxo de CO_2 (CO_2flux) (Rahman et al., 2000).

$$sPRI = \frac{PRI + 1}{2} \quad (4)$$

e

$$CO_2flux = NDVI * sPRI \quad (5)$$

Comportamento térmico da wetland

Inicialmente, a imagem selecionada foi reamostrada espectralmente para a exclusão das bandas 1 a 30, referentes ao visível, infravermelho próximo e infravermelho de ondas curtas, com o

intuito de manter apenas os dados correspondentes ao infravermelho termal (TIR), que no caso do MSS compreende a faixa de 8,5 μm a 12,5 μm , com centro em 10,5 μm (GER, 2002).

A calibração radiométrica dos dados termais, isto é, a transformação dos valores digitais dos pixels (ND) em unidades de temperatura de brilho foi executada aplicando-se um fator de escala de 10^{-2} , para a conversão em unidades de graus Celsius. Tal transformação foi implementada, conforme as recomendações nos manuais do fabricante (GER, 2000), em um processamento matemático utilizando a relação descrita pela Equação 6:

$$TU = \frac{PV}{100} \quad (6)$$

Em que PV é o valor do pixel e TU o valor de temperatura em graus Celsius.

Cabe ressaltar que os valores apresentados após o processamento se referem a temperatura de brilho ou radiométrica, visto que a conversão de ND para graus Celsius decorre de um simples fator de escala de 10^{-2} , ou seja, totalmente dependente da calibração prévia do equipamento, considerando tanto a emissividade dos materiais quanto a transmitância da atmosfera igual a 1 (GER, 2000).

Contudo, os testes realizados com o sensor (GER, 2000) constataram uma representativa coerência no posicionamento das bandas de absorção por vapor d'água, um indício de boa calibração espectral do sensor, bem como da magnitude dos valores de reflectância, o que estaria relacionado a uma calibração radiométrica bem adequada.

Após a transformação dos dados, foi realizada uma análise dos resultados, para verificar a correlação e coerência em cada tipo de alvo e, com o uso de um histograma, foram propostas quatro classes diferentes para efetuar uma classificação usando a ferramenta *Density Slice*.

Figura 7. Fluxograma com as principais etapas cumpridas pela metodologia da pesquisa

Resultados

Retenção dos sólidos em suspensão

Após a determinação das ROI, os espectros do Riacho Fundo, do curso d'água que

nasce atrás do Colégio Marista e do Lago Paranoá foram exportados, para possibilitar a verificação da similaridade entre os pontos amostrados em cada um.

Os resultados podem ser verificados nas Figuras 8, 9 e 10, que representam, respectivamente, os espectros do Riacho Fundo, que passará a ser tratado como “água turva”, do

curso d’água que nasce atrás do Colégio Marista, que passará a ser tratado como “água limpa” e do Lago Paranoá.

Figura 8. Espectros das ROI amostradas na água turva e a média entre elas

Figura 9. Espectros das ROI amostradas no Lago Paranoá e a média entre elas

Figura 10. Espectros das ROI amostradas na água limpa e a média entre elas

E, para uma última análise, foi utilizada a média dos espectros de cada um dos corpos d'água para a montagem de um único gráfico com

a assinatura dos três alvos, para análise comparativa de seus comportamentos espectrais (Figura 11).

Figura 11. Espectros dos três corpos d'água estudados

É importante ressaltar que o pico de radiância de todas as ROI do Lago Paranoá e da água limpa ficou centrado em 564,10 nm, enquanto que todas as ROI do Riacho Fundo apresentaram pico de radiância em 589,40 nm.

Após a análise dos espectros, aplicou-se o método SAM, utilizando somente as ROI de água limpa e água turva, para observar o

comportamento do Lago Paranoá e obteve-se a Figura 12, que mostra em amarelo as áreas de baixa concentração de sólidos em suspensão e em vermelho as regiões de alta concentração de sólidos em suspensão. É interessante observar que o Lago Paranoá assumiu a mesma classificação da água limpa, ou seja, ficou também em amarelo.

Figura 12. Imagem obtida após o processamento pelo método SAM. As áreas em amarelo apresentam baixa concentração de sólidos em suspensão e as áreas em vermelho apresentam alta concentração de sólidos em suspensão

Atividade fotossintética da *wetland*

Primeiramente foram calculados os índices espectrais NDVI, PRI e sPRI, conforme proposto pela metodologia e em seguida obteve-se a espacialização do fluxo de CO₂ (Figura 13). Por

questão de relevância, os resultados intermediários, obtidos com os outros índices, foram suprimidos nesse artigo.

Figura 13. Imagem obtida após a multiplicação do NDVI pelo sPRI, gerando a espacialização do fluxo de CO_2 , ou CO_2flux . A área da *wetland* está marcada pelo polígono vermelho

Ao observar na Figura 13 o resultado do modelo de Rahman et al. (2000) e o CO_2flux por meio de seu histograma (Figura 14), nota-se a presença de duas modas, sendo a primeira de

respostas não fotossinteticamente ativas (VNFA) e a segunda de respostas fotossinteticamente ativas (VFA).

Figura 14. Histograma no qual se pode observar a moda da VFA (região marcada entre as linhas vermelha e verde)

Tomando-se por referência os valores do histograma, foram divididas quatro classes, conforme apresentado na Tabela 1, para melhor visualização dos resultados nas imagens, nos

quais a cor verde clara e a verde escuro representam as zonas de maior sequestro de gás carbônico (Figura 15). Pode-se observar que em relação principalmente à margem esquerda, a

wetland representa as regiões de maior fluxo de CO_2 .

Tabela 1. Intervalos de classe e suas respectivas cores

<i>Intervalo de classe</i>	<i>Cor utilizada</i>
0,0100 – 0,0275	Amarelo
0,0275 – 0,0450	Ocre
0,0450 – 0,0625	Verde Claro
0,0625 – 0,0900	Verde Escuro

Figura 15. Espacialização do fluxo de CO_2 , destacado nas cores verde claro e escuro, coincidentes com a área da *wetland*, marcada pelo polígono vermelho

Comportamento térmico da *wetland*

De imediato, por meio de uma análise prévia dos dados, foi possível observar boa

correlação e coerência entre as temperaturas indicadas e o comportamento esperado dos materiais.

No entanto, para verificar os resultados do processamento e descartar eventuais variações abruptas ou absurdas de temperatura, foi gerado um histograma, constante da Figura 16, que

apresenta os valores obtidos. Foi constatado que 98% dos pixels tiveram valores entre 20 °C e 40 °C, portanto dentro dos parâmetros aceitáveis de medida do comportamento térmico dos materiais.

Figura 16. Histograma obtido a partir da imagem termal, com os valores de temperatura em graus Celsius. As barras verticais demarcam os pontos de 20 e 40 °C

Para proporcionar uma melhor visualização e facilitar a análise foram separadas quatro classes (Tabela 2), utilizando os dados do histograma como base e por meio da ferramenta *Density Slice* efetuou-se o fatiamento de classes

da temperatura, para discriminar os dados da imagem por cores, nas quais a cor vermelha representa as áreas de maior temperatura. O resultado da classificação pode ser observado na Figura 17.

Tabela 2. Intervalos de classes por temperatura de brilho e suas respectivas cores.

<i>Temperatura (°C)</i>	<i>Cor utilizada</i>
15 – 26	Azul
27 – 28	Verde
29 – 34	Amarelo
35 – 50	Vermelho

Figura 17. Imagem termal da região da *wetland*, onde as cores azul e verde representam as menores temperaturas

Como esperado, a área da *wetland* e arredores apresentaram temperaturas significativamente menores do que os alvos próximos, com um decréscimo de aproximadamente 2 °C.

Discussão

Após a análise dos espectros, foi possível constatar que existe similaridade entre as ROI selecionadas no Lago Paranoá, bem como entre aquelas selecionadas na água turva e na água limpa, principalmente no que tange ao pico de radiância. Essa similaridade é importante para que o comportamento observado na ROI selecionada como área de treinamento possa ser considerado como comportamento do corpo d'água como um todo.

Vencida essa etapa, passou-se para a análise comparativa do gráfico com a assinatura espectral dos três corpos d'água (Lago Paranoá, água turva e água limpa), onde foi possível observar que o pico de radiância do Lago Paranoá, bem como da água limpa, ficou centrado em 564,10 nm, enquanto que o Riacho Fundo

apresentou pico de radiância em 589,40 nm, ligeiramente deslocado para a direita.

De acordo com estudos sobre sólidos em suspensão, pesquisas recentes comprovam que o comportamento espectral em um corpo d'água carregado em sedimentos sofre alterações, possibilitando diferenciá-lo de águas limpas, principalmente porque o pico de radiância (ou reflectância) fica deslocado em direção ao NIR, ou seja, maiores comprimentos de onda. Quanto maior for a carga de sedimentos, maior será esse deslocamento (Novo, 2008).

Portanto, pode-se afirmar comprovadamente que o Riacho Fundo possui uma elevada carga de sedimentos e sólidos em suspensão, grande o suficiente para alterar o seu comportamento espectral, conforme verificado no estudo de Dias e Baptista (2015).

O próximo passo foi a verificação da capacidade das macrófitas da *wetland* em filtrar a água turva, por meio da análise do SAM gerado com as ROI da água turva e da água limpa, avaliando a similaridade entre o espectro de cada pixel da imagem e os espectros de referência, distinguindo as áreas de baixa concentração de

sólidos em suspensão das regiões de alta concentração de sólidos em suspensão.

A imagem gerada representa a espacialização da água turva e da água limpa, sendo possível observar o comportamento do Lago Paranoá, que assumiu a mesma classificação da água limpa.

Observa-se na imagem que as áreas de maior retenção de sólidos em suspensão coincidem com as áreas da *wetland*, o que permite que o restante do lago, após o deságue, mantenha um padrão de água sem a presença destes sedimentos, graças ao trabalho de filtragem realizado pelas macrófitas.

De posse destes dados, após feitas todas as análises da imagem, foi possível constatar que os sedimentos em suspensão no riacho e a vegetação macrófita da *wetland* tiveram uma boa identificação pelo sensor MSS.

Para investigar o papel da *wetland* na geração de oxigênio foram utilizados três índices espectrais: NDVI, PRI e CO₂flux. O produto final foi classificado, utilizando os dados apontados no histograma, permitindo uma melhor visualização das regiões de maior sequestro de carbono. Ficou bem nítido na imagem gerada que praticamente toda a área da *wetland* está em plena atividade de fotossíntese e poucas áreas nas vizinhanças conseguem chegar ao tom de verde escuro, representando as regiões de maior fluxo de CO₂, entretanto ele está bastante presente na *wetland*.

Comprova-se, então, por meio da capacidade de sequestro de carbono, a importância ambiental da *wetland* para a geração de oxigênio na região da foz do Riacho Fundo.

Na avaliação do comportamento termal foi usada a imagem do MSS convertida para graus Celsius e a imagem foi “fatiada” em diversas cores, com base nas informações colhidas do histograma, para permitir a identificação de alvos quentes e frios.

As áreas próximas à *wetland* apresentaram temperaturas significativamente menores do que os demais alvos, correspondendo a cerca de 2 °C a 4 °C mais baixo, comprovando a contribuição da *wetland* para um maior conforto térmico na região ao seu redor.

Conclusão

Baseando-se nos dados apresentados e discutidos neste trabalho apresenta-se as seguintes conclusões:

1 – O Riacho Fundo possui uma elevada carga de sedimentos e sólidos em suspensão, porém não é

possível, por meio desse estudo, quantificar esse aspecto.

2 – Em termos qualitativos, pode-se afirmar que o Riacho Fundo possui uma carga de sedimentos e sólidos em suspensão superior ao encontrado no Lago Paranoá e na nascente abordada nesse trabalho, visto que esse fator foi suficiente para alterar o seu comportamento espectral.

3 – A *Wetland* do Riacho Fundo desempenha um importante papel de filtro natural da água a ser despejada no Lago Paranoá, oriunda do Riacho Fundo, visto que as áreas de maior retenção de sólidos em suspensão coincidem com as áreas da *wetland*.

4 – A vegetação constituinte da *wetland* possui um índice de sequestro de carbono superior a todas as outras áreas apresentadas na imagem analisada.

5 – A *Wetland* do Riacho Fundo, portanto, possui grande participação na geração de oxigênio e melhoria da qualidade do ar no entorno do “lago sul”.

6 – As regiões mais próximas à *wetland* apresentaram temperaturas significativamente mais baixas que nos arredores, cerca de 2 °C a 4 °C.

7 – A *Wetland* do Riacho Fundo tem uma importante contribuição na manutenção e controle da temperatura do ambiente à sua volta, contribuindo para um maior conforto térmico.

8 – Esses aspectos deixam bastante claros os benefícios trazidos por uma *wetland*, que surgiu em decorrência de um processo de ocupação desordenada de uma bacia e acabou dando certo e que desempenha um fundamental papel ambiental, de suma importância para o Lago Paranoá e comunidades vizinhas.

9 – Tendo em vista todos esses fatores, pode-se concluir que os prejuízos de navegabilidade e harmonia paisagística que são atribuídos à *Wetland* do Riacho Fundo podem ser reduzidos a valores pouco significativos em relação aos serviços ambientais por ela prestados, não justificando as especulações que sugerem a retirada desse importante ecossistema.

Apesar do surgimento da *Wetland* do Riacho Fundo ter ocorrido de forma natural, pode-se observar ao redor de todo o mundo iniciativas para criação controlada de *wetlands*, soluções que estão sendo adotadas como filtros biológicos para a manutenção da qualidade da água.

Tais iniciativas poderiam ser incentivadas nas cidades brasileiras, visando a sustentabilidade de lagos, rios e reservatórios e principalmente para o tratamento de águas urbanas, além dos

benefícios de geração de oxigênio e conforto térmico proporcionados por esses sistemas.

Agradecimentos

Ao Comando da Aeronáutica, que por meio do Comando-Geral de Operações Aéreas e do Segundo Esquadrão do Sexto Grupo de Aviação, cedeu equipamentos, dados e pessoal qualificado para realização desse trabalho.

À Universidade de Brasília, que por meio de Acordo de Cooperação com o Comando da Aeronáutica, concedeu vagas em seu curso de especialização para militares da Aeronáutica, pertencentes à área de Sensoriamento Remoto.

Referências

- Angelini, R.; Bini, L.M.; Starling, F.L.R.M. 2008. Efeitos de Diferentes Intervenções no Processo de Eutrofização do Lago Paranoá. *Oecologia Brasiliensis* (Impresso), v. 12, p. 560-567.
- Anjos, J.A.S.A., 2003. Avaliação da eficiência de uma zona alagadiça (wetland) no controle da poluição por metais pesados: o caso da Plumbum em Santo Amaro da Purificação/BA. Tese (Doutorado). São Paulo, USP.
- Baptista, G.M.M., 2004. Mapeamento do Sequestro de Carbono e de Domos Urbanos de CO₂ em Ambientes Tropicais, por meio de Sensoriamento Remoto Hiperspectral. *Geografia* (Rio Claro), v. 29, n. 2, p. 189-202.
- CAESB. Companhia de Saneamento Ambiental do DF, 2008. Problemas com macrófitas aquáticas no Brasil: exemplo do Lago Paranoá (DF). Brasília.
- Dias, R.Z.; Baptista, G.M.M., 2015. Wetland nutrient retention and multitemporal growth: case study of Riacho Fundo's Wetland. *Acta Limnologica Brasiliensia* (Online), v. 27, n. 3, p. 254-264. <http://dx.doi.org/10.1590/S2179-975X0114>
- Gamon, J.A., Serrano, L., Surfus, J.S., 1997. The photochemical reflectance index: an optical indicator of photosynthetic radiation use efficiency across species, functional types, and nutrient levels. *Oecologia*, v. 112, 492-501.
- GER. Geophysical and Environmental Research Corporation, 2000. MSS Interface Control Document. New York.
- GER. Geophysical and Environmental Research Corporation, 2002. EPS-A 31T Operator's Manual. New York.
- Knight, R.L., Kadlec, R.H., 2000. Constructed treatment wetlands: a global technology. *Magazine of International Water Association - Water*, v. 21, 57-58.
- Kruse, F.A., Lefkoff, A.B., Boardman, J.B., Heidebrecht, K.B., Shapiro, A.T., Barloon, P.J., Goetz, A.F.H., 1993. The Spectral Image Processing System (SIPS) - Interactive Visualization and Analysis of Imaging spectrometer Data. *Remote Sensing of Environment*, v. 44, 145-163.
- Novo, E.M.L.M., 2008. Sensoriamento Remoto - princípios e aplicações, 5 ed. Blucher, São José dos Campos-SP.
- Pedroza da Silva, S.C.; Baptista, G.M.M., 2015. Análises Espectrais da Vegetação com dados Hyperion e sua Relação com a Concentração e o Fluxo de CO₂ em Diferentes Ambientes na Amazônia Brasileira. *Boletim de Ciências Geodésicas* (Online), v. 21, n. 2, p. 354-370. <http://dx.doi.org/10.1590/S1982-21702015000200020>
- Rahman, A.F., Gamon, J.A., Fuentes, D.A., Roberts, D., Prentiss, D., Qiu, H., 2000. Modeling CO₂ flux of boreal forests using narrow-band indices from AVIRIS imagery. In: AVIRIS WORKSHOP, 2000, Pasadena-CA. Proceedings of the AVIRIS Workshop. Pasadena-CA.
- Rouse, J. W.; Haas, R.H., Schell, J.A.; Deering, D.W., 1973. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. In: Proceeding of ERTS-1 Symposium. NASA, United States, n. 3. p. 309-317.