

Comportamento do sequestro florestal de carbono, do conteúdo de CO₂ atmosférico e do conteúdo de umidade da vegetação no Pantanal de Nhecolândia, MS, por meio de sensoriamento remoto hiperespectral

Gustavo Macedo de Mello Baptista¹
Cássia Beatriz Rodrigues Munhoz¹

¹Universidade Católica de Brasília - UCB
SGAN 916 Norte, Av. W5 - 70790-160 - Brasília - DF, Brasil
gmbaptista@pos.ucb.br; cassia@ucb.br

Abstract. The aim of this paper was investigate the carbon sink and their relationship with the atmospheric carbon dioxide and the water contents in vegetation in Nhecolândia region of Brazilian's Pantanal. For this we used a Rahman *et al.* (2000) CO₂ flux model, based in a NDVI and sPRI vegetation indexes and correlated with the CO₂ in the atmosphere by means the ICO₂ model (BAPTISTA, 2003), and the water contents by mean the NDWI model (GAO, 1996). Result is a very good for the terrestrial vegetation, but is not so good with the algae biomass. We propose the new studies that can be motivate to find a solution to monitoring carbon sink in the aquatic ecosystems.

Palavras-chave: AVIRIS, CO₂flux, ICO₂, NDWI.

1. Introdução

O Pantanal é uma Bacia Sedimentar Cenozóica cuja origem é atribuída à orogenia Andina (USSAMI *et al.*, 1999). A área de maior subsidência está situada na margem esquerda da parte superior do Rio Paraguai, na qual flui para sul e trunca, entre outros, com o leque aluvial do Rio Taquari (SOUZA *et al.*, 2002).

A sub-região da Nhecolândia, Mato Grosso do Sul, localizada na porção sul do leque aluvial do rio Taquari, apresenta partes mais elevadas (“Pantanal alto”) e baixas (“Pantanal baixo”), que contribuem para a formação de uma enorme diversidade de unidades de paisagem (SILVA *et al.*, 2000). A sub-região da Nhecolândia apresenta unidades de vegetação dispostas em mosaico, alternando cerradões e florestas estacionais nas “cordilheiras”, campos úmidos e sazonais, nas partes alagáveis e circundando lagoas; cerrados e campos nas partes intermediárias do relevo (SILVA *et al.*, 2000).

O clima da região é do tipo Aw segundo a classificação de Köppen, com duas estações ao longo do ano, uma seca e a outra chuvosa. O regime de inundações é o fator ecológico fundamental do Pantanal que determina o tipo e composição específica das comunidades integrantes das diversas unidades de paisagem (ADAMOLI, 1995). O monitoramento destas áreas é difícil devido às grandes extensões e à dificuldade de acesso (POTT e POTT, 2004). Modelos de estimativa de sequestro de carbono pela vegetação, durante a fase clara da fotossíntese utilizando imagem hiperespectral, são úteis para avaliar os fluxos de CO₂ atmosférico (BAPTISTA, 2003).

Neste sentido este trabalho tem como objetivo investigar as fontes de carbono e a sua relação com o dióxido de carbono atmosférico e os conteúdos de água na vegetação na região Nhecolândia no Pantanal brasileiro por meio de dados AVIRIS.

2. Material e Métodos

Para a elaboração desse trabalho foi adotada a cena AVIRIS 950820L03 subcena 02, localizada entre as latitudes 19°27'25" S e 19°22'47" S e as longitudes 55°53'36" W e 55°53'22" W, obtida em 20 de agosto de 1995 entre 15:04:51 e 15:05:34 GMT, no âmbito da missão SCAR-B (Smoke/Sulphate Clouds and Radiation - Brazil) (Figura 1). Essa subcena refere-se à sub-região de Nhecolândia, que agrega áreas próximas aos municípios de Rio Verde de Mato Grosso, Aquidauana e Corumbá.

O sensor AVIRIS (*Airborne Visible/InfraRed Imaging Spectrometer*), de propriedade do *Jet Propulsion Laboratory* (JPL/NASA), consiste em um sistema aerotransportado composto por quatro espectrômetros que imageiam continuamente a faixa do espectro óptico refletido de 0,4 a 2,5 μm , em 224 bandas de 12 bits, com largura de 10 nm aproximadamente.

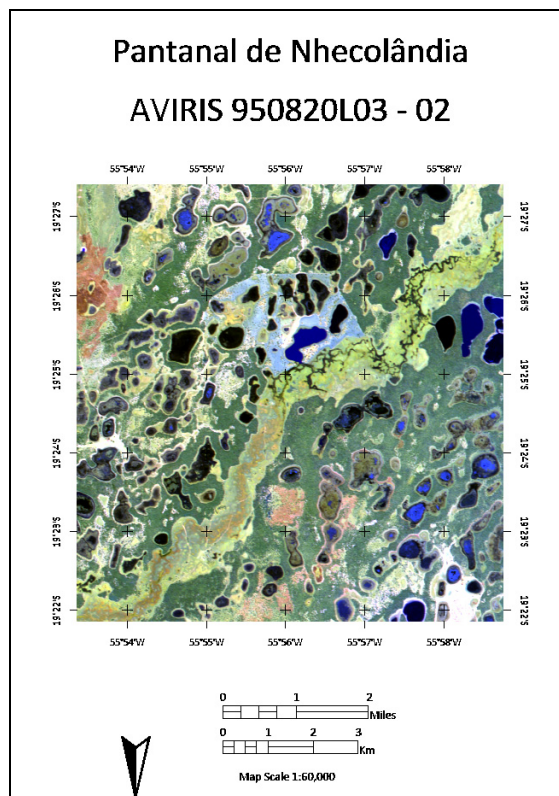


Figura 1 - Área de estudo. Composição colorida R(2,14 μm) G(1,62 μm) B(0,55 μm)

O modelo proposto por Rahman *et al.* (2000) considera que o seqüestro florestal de carbono é o resultado da multiplicação do NDVI (ROUSE *et al.*, 1973) pelo PRI – *Photosynthetic Reflectance Index* (GAMON *et al.*, 1997) reescalado para valores positivos, ou sPRI. 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.

Já para a determinação do conteúdo de CO_2 na coluna de ar adjacente aos alvos, utilizou-se o modelo proposto por Baptista (2003) que mede a intensidade da feição espectral do CO_2 centrada a 2,0 μm . Esses dois procedimentos foram desenvolvidos no ENVI© versão 4.4 no Laboratório de Apoio à Pesquisa do Programa de Pós Graduação *Stricto Sensu* em Planejamento e Gestão Ambiental da UCB.

Visando verificar a correlação entre os dois procedimentos, exportou-se cada cena para o software IDRISI32 para, por meio do módulo *REGRESS*, realizar a regressão linear simples.

Visando separar as diferentes classes de uso e ocupação do solo existente na cena, reduziu-se a dimensionalidade dos dados, por meio do procedimento de transformação *Minimum Noise Fraction*. Esse procedimento baseia-se em duas rotações espectrais do tipo Análise de Componentes Principais, sendo que a primeira utilizam-se as componentes principais da matriz de covariância do ruído para realizar a decorrelação e reescalonar o ruído dos dados; e a segunda rotação, utiliza as componentes derivadas dos dados originais.

A partir da composição colorida das três primeiras MNF foi possível determinar as principais classes existentes na cena. Com a seleção das classes savana densa ou florestada, savana típica/cerrado, campos secos, lagoas temporais, lagoas permanentes e planície de inundação margeando o curso do rio, a partir de padrões MNF, partiu-se para a determinação de pixels puros visando a determinação de *endmembers* para cada classe.

Por meio do método *Pixel Purity Index* – PPI, foi possível determinar 10 pixels para cada classe e determinar os valores proporcionais do fluxo de CO₂ seqüestrado pela vegetação (CO₂flux) e pelo conteúdo de CO₂ atmosférico (ICO₂).

De posse desses dados, foram realizadas regressões lineares considerando o CO₂flux como variável independente e o ICO₂ como dependente.

Para uma melhor compreensão da variação dos coeficientes de determinação obtidos pelas regressões foi aplicado o índice NDWI – *Normalized Difference Water Index* (GAO, 1996) que, também por diferença normalizada, indica o conteúdo de umidade da vegetação. A Figura 2 apresenta as principais feições de absorção da vegetação e a localização das bandas utilizadas no NDWI.

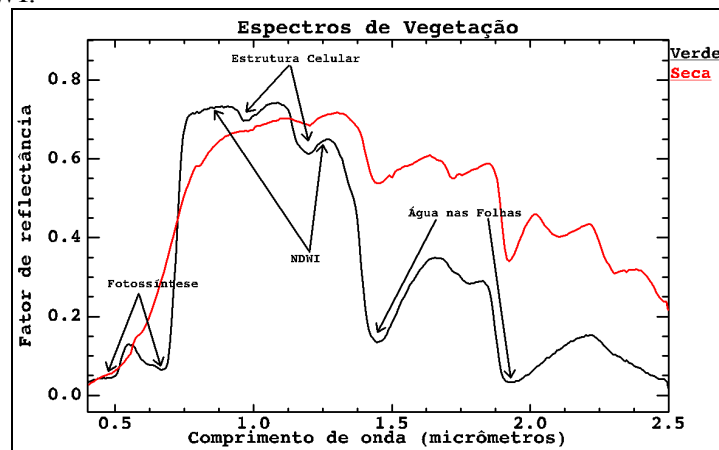


Figura 2 – Espectros de vegetação destacando as feições espectrais da vegetação e as bandas do NDWI.

3. Resultados e Discussão

A Figura 3 apresenta o resultado do CO₂flux proposto por Rahman *et al.* (2000) que utiliza o NDVI e o sPRI.

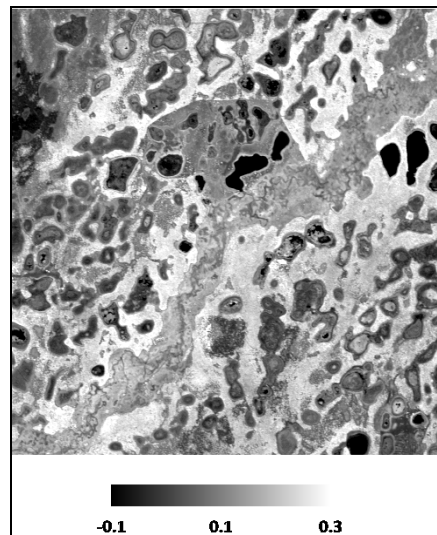


Figura 3 - CO₂ seqüestrado pela vegetação (CO₂flux) para a cena AVIRIS 950820L03 subcena 02, (19°27'25" S e 19°22'47" S e 55°53'36" W e 55°53'22" W).

Pode-se verificar que, por ser período de estiagem, algumas áreas apresentam baixa atividade fotossintética devido a espécies caducifólias, principalmente nas áreas da planície de inundação na porção central da imagem associada à drenagem. As áreas mais claras, que correspondem às áreas verdes mais escuras na Figura 1, apresentam maior atividade fotossintética e estão associadas às savanas florestadas (nas margens da planície de inundação) e savanas típicas\cerrado (na porção sudeste da cena).

Nas áreas que apresentam maior atividade fotossintética, que aparecem em tons de cinza mais claros na Figura 3, aparecem em tons mais escuros na imagem ICO_2 (Figura 4). Porém nas áreas da planície de inundação, os tons de cinza aparecem próximos ao da imagem CO_2 flux. No que tange às lagoas nota-se baixa atividade fotossintética (Figura 3) e baixo conteúdo de CO_2 atmosférico (Figura 4), como era de se esperar, pois o modelo de Rahman *et al.* (2000) não considera ecossistemas aquáticos. Conforme Machado *et al.* (2003) a resposta espectral de vegetação em ecossistemas aquáticos, principalmente biomassa algal, não contempla o pico de reflectância no infravermelho próximo, utilizado pelo NDVI, o que impossibilita a verificação do seqüestro de carbono nesse contexto.

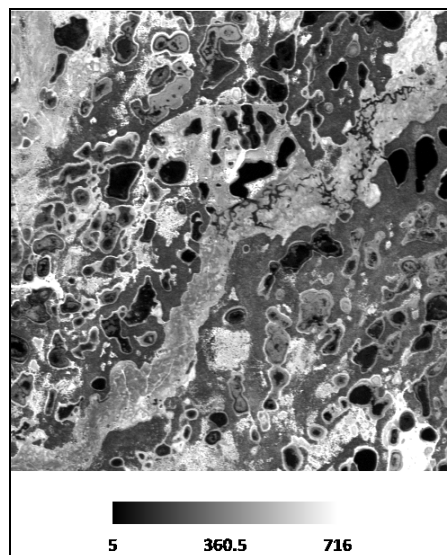


Figura 4 - Conteúdo de CO_2 atmosférico (ICO_2) para a cena AVIRIS 950820L03 subcena 02, (19°27'25" S e 19°22'47" S e 55°53'36" W e 55°53'22" W).

Na correlação entre CO_2 flux e ICO_2 pode-se notar que boa parte dos pixels apresenta uma tendência inversa entre os dois parâmetros, demonstrada pela elipse vermelha e pelo coeficiente de correlação negativo (Figura 5). Essa porção representa a porção de vegetação terrestre e áreas com pouca lâmina d'água. Porém, nota-se uma quantidade considerável de pixels dispostos na porção inferior do gráfico, destacados por uma elipse azul (Figura 5), apresentando uma tendência direta de proporcionalidade entre os modelos, muito provavelmente devido, à presença de lagoas permanentes e do problema encontrado no modelo de Rahman *et al.* (2000) para biomassa algal. Ou seja, o conteúdo de CO_2 atmosférico é baixo, mas como o modelo não mede a fotossíntese das algas, apresenta um resultado baixo o que gera essa relação positiva entre os modelos. E isso determina um coeficiente de correlação muito baixo, $r = -0,13$.

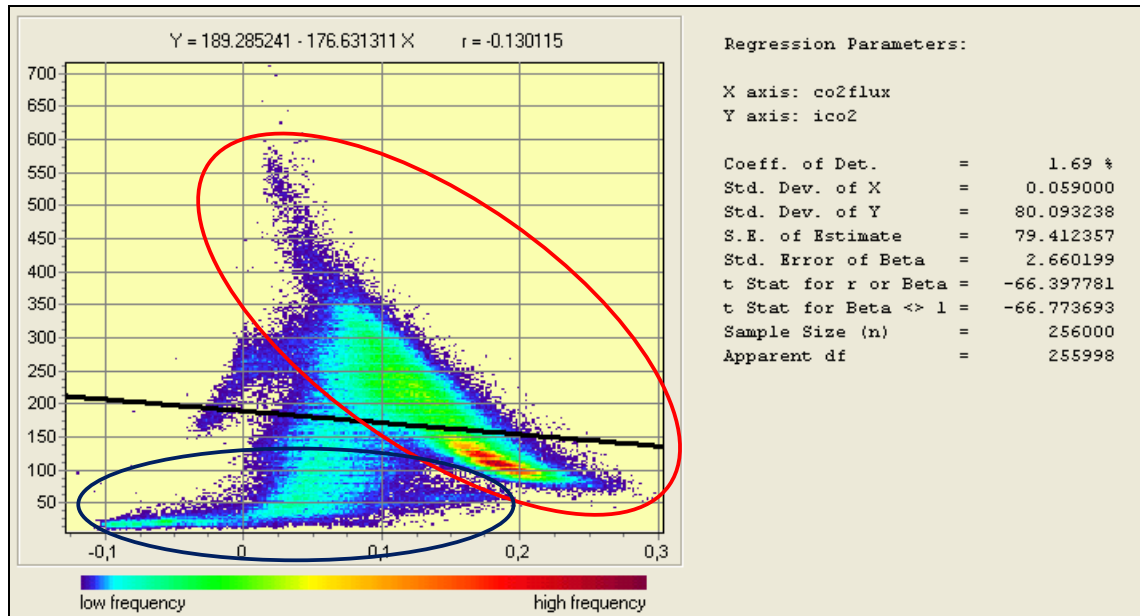


Figura 5 – Regressão linear entre CO₂flux (eixo X) e ICO₂ (eixo Y), para a cena AVIRIS 950820L03 subcena 02, (19°27'25" S e 19°22'47" S e 55°53'36" W e 55°53'22" W).

Visando dirimir essa dúvida buscou-se individualizar as classes de uso e ocupação por meio da transformação MNF (Figura 6). Avaliando a figura 6, com as três primeiras MNF, foi possível selecionar as classes savana densa ou florestada (laranja), savana típica/cerrado (amarelo), campos secos (ciano), lagoas temporais (roxo), lagoas permanentes (verde) e planície de inundação (vermelho).

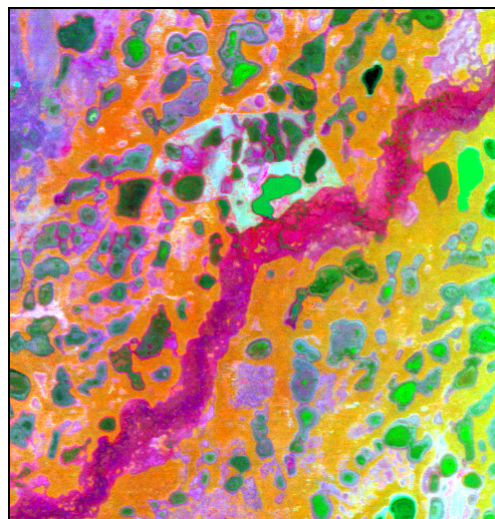


Figura 6 – Composição colorida com as três primeiras MNF, para a cena AVIRIS 950820L03 subcena 02, (19°27'25" S e 19°22'47" S e 55°53'36" W e 55°53'22" W).

Por meio da dispersão XY e por ajuste de função foi possível correlacioná-los para cada uma das 6 classes de uso estabelecidas na figura 6. A figura 7 apresenta as regressões lineares entre CO₂flux como variável independente e ICO₂ como dependente.

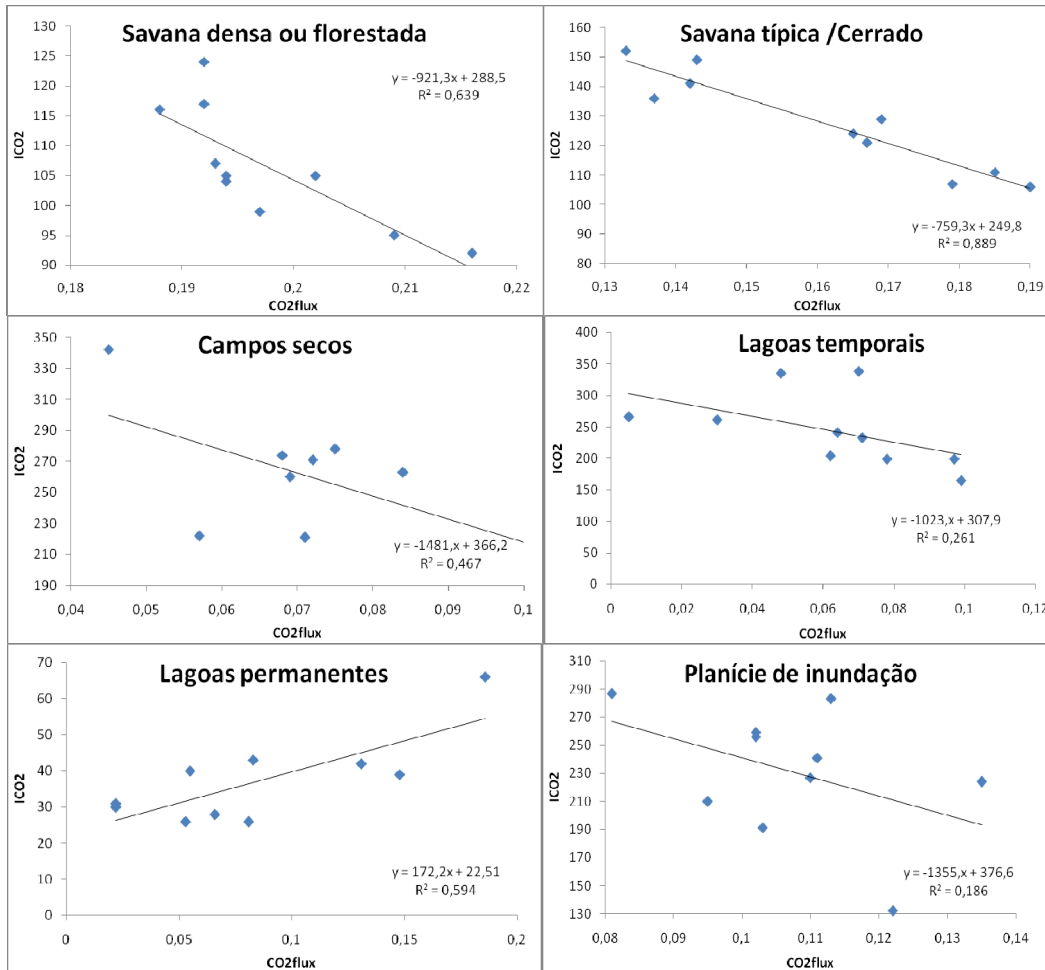


Figura 7 – Regressões lineares nas diferentes classes de vegetação.

Pode-se verificar na análise das regressões que os coeficientes de determinação variaram de 0,18 nas planícies de inundações, nas quais se encontram os indivíduos caducifólios, até 0,88 na savana típica/cerrado (Figura 7). As oscilações dos coeficientes ocorreram devido aos diferentes estágios de vigor da vegetação, marcados pelo seu conteúdo de umidade, devido à estação seca no momento de aquisição da cena. Em todas as áreas que apresentam vegetação terrestre ou nas lagoas temporais que se encontravam secas as regressões são negativas. Apenas nas lagoas permanentes nas quais existe biomassa algal, porém, como salientado anteriormente e verificado na regressão de toda a matriz (Figura 5), o modelo de Rahman *et al.* (2000) só destaca o sequestro de carbono em ecossistemas terrestres.

Ao se analisar a imagem de NDWI pode-se verificar que as porções do terreno que apresentam maior conteúdo de umidade são as áreas com água nas lagoas, seguido das áreas com vegetação fotossinteticamente ativa, da planície de inundação e finalmente pelas lagoas temporais que se encontram secas no momento de obtenção dos dados AVIRIS (Figura 8).

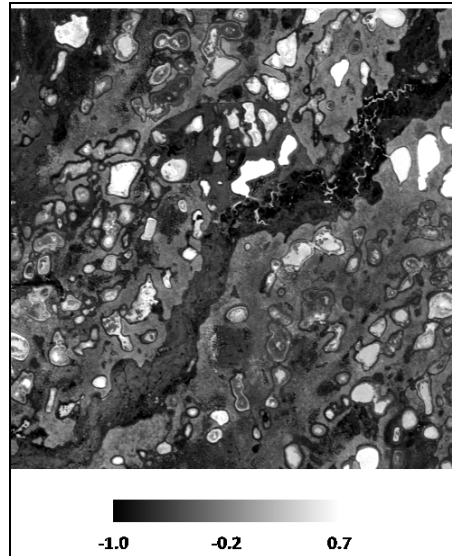


Figura 8 – Conteúdo de umidade da vegetação NDWI (*Normalized Difference Water Index*) para a cena AVIRIS 950820L03 subcena 02, (19°27'25" S e 19°22'47" S e 55°53'36" W e 55°53'22" W).

A regressão linear entre a imagem de NDWI (variável independente) e a de ICO₂ (variável dependente) apresentou tendência negativa (Figura 9), com coeficiente de correlação de -0,81 o que é extremamente coerente, tendo em vista que na fotossíntese, além do seqüestro de CO₂ e da luz, entra água e, portanto, quanto maior o conteúdo de umidade na vegetação, mais fotossíntese e menos conteúdo de CO₂ atmosférico.

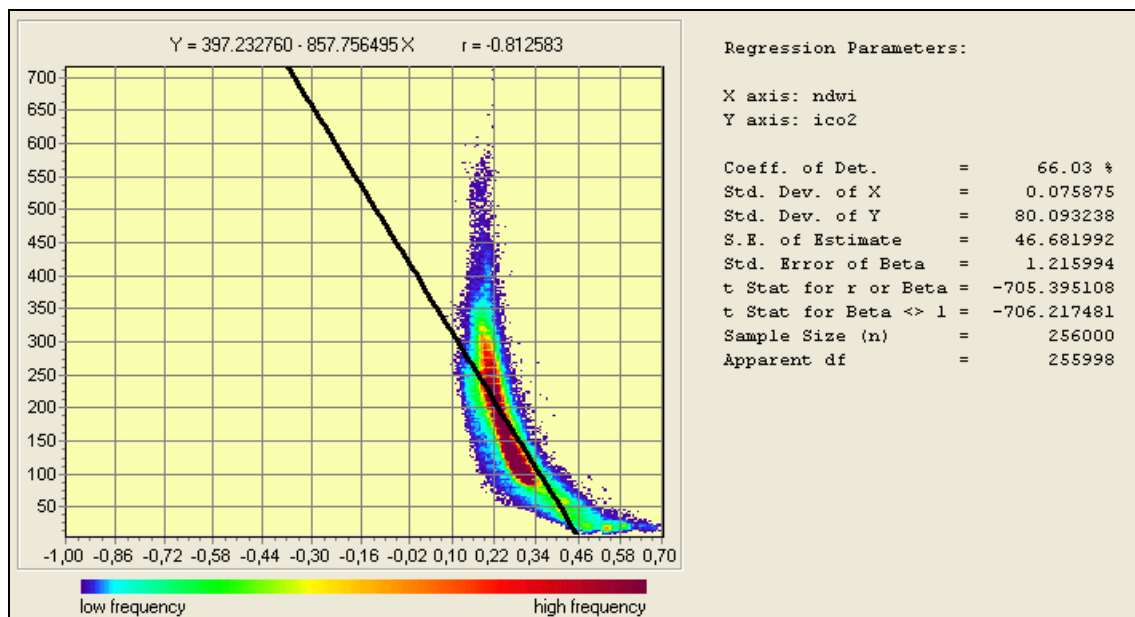


Figura 9 – Regressão linear entre NDWI (eixo X) e ICO₂ (eixo Y), para a cena AVIRIS 950820L03 subcena 02, (19°27'25" S e 19°22'47" S e 55°53'36" W e 55°53'22" W).

4. Conclusões e Recomendações

O presente estudo permitiu inferir o comportamento do seqüestro florestal de carbono e sua relação com o conteúdo de CO₂ na coluna de ar adjacente aos alvos e interposta entre eles e o sensor AVIRIS, além do conteúdo de umidade medido pelo NDWI.

O modelo de Rahman *et al.* (2000) mostrou-se bastante eficiente para medir o comportamento fotossintético da vegetação terrestre em diferentes estágios de conteúdo de umidade das folhas, porém nas lagoas que apresentavam biomassa algal, o modelo mostrou-se inapropriado.

Novos estudos devem ser incentivados para melhor monitoramento do seqüestro de carbono em áreas que apresentam água e vegetação aquática.

Referências

- Adamoli, J. Zoneamento ecológico do Pantanal baseado no regime de inundações. In: Encontro sobre Sensoriamento Remoto Aplicado a Estudos no Pantanal, 9-12, out, Corumbá. **Anais**. p. 15-17. 1995. Publicado como: INPE-PRE/. Disponível na biblioteca digital URLib:<<http://mtcm16.sid.inpe.br/rep-/sid.inpe.br/mtcm16@80/2006/05.17.11.42>>. Acesso em: 15 nov. 2008.
- Baptista, G. M. M. Validação da modelagem de seqüestro de carbono para ambientes tropicais de cerrado, por meio dos dados AVIRIS e HYPERION. XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Belo Horizonte. **Anais em CD-ROM**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2003.
- Gamon, J. A.; Serrano, L.; Surfus, J. S. The photochemical reflectance index: an optical indicator of photosynthetic radiation use efficiency across species, functional types, and nutrient levels. **Oecologia**, vol. 112, p. 492-501, 1997.
- Gao, B. C. NDWI – a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. **Remote Sensing of Environment**, v.58, n. 3, p. 257-266, 1996.
- Machado, M.T.S.; Baptista, G. M. M.; Starling, F.L.R.M. Identificação de ilhas de macrófitas (Eichhornia crassipes) no Lago Paranoá, Brasília, DF, por meio de imagens hiperespectrais. II Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental, Itajaí, SC. **Livro de Resumos**. Univali, v. 1. p. 380. 2003.
- Pott, A.; Pott, V.J. Features and conservation of the Brazilian Pantanal wetland. **Wetlands Ecology and Management**, vol. 12, p. 547–552, 2004.
- Rahman, A.F.; Gamon, J.A.; Fuentes, D.A.; Roberts, D.; Prentiss, D.; Qiu, H. Modeling CO₂ flux of boreal forests using narrow-band indices from AVIRIS imagery. AVIRIS Workshop. **Proceedings**. JPL/NASA, Pasadena, Califórnia, 2000.
- Rouse, J. W.; Haas, R. H.; Schell, J. A.; Deering, D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: ERTS-1 Symposium, 3., 10-14 December, Washington, DC. **Proceedings**. Washington, NASA SP-351, p.309-317, 1973.
- Silva, M. P.; Mauro, R.; Mourão, G.; Coutinho, M. Distribuição e quantificação de classes de vegetação do Pantanal através de levantamento aéreo. **Revista Brasileira Botânica**, vol. 23, p. 143-152, 2000
- Souza, O. C.; Araújo, M. R.; Mertes L. A. K. Form and process along the Taquari River alluvial fan, Pantanal, Brazil. **Z. Geomorphology**, vol. 129, p. 73–107, 2002.
- Ussami, N.; Shiraiwa, S.; Dominguez, J.M.L. Basement reactivation in a sub-Andean foreland flexural bulge – The Pantanal wetland, SW Brazil. **Tectonics**, vol. 18, p. 25–39, 1999.