

Análise do Sequestro de Carbono com Dados Hiperespectrais Hyperion Reamostrados para WorldView 2

Cíntia Alvim Lage¹
João Paulo Fernandes Márcico Ribeiro¹
Gustavo Macedo de Mello Baptista¹

Universidade de Brasília, Instituto de Geociências – UnB/IG
Campus Darcy Ribeiro – Caixa Postal 4465 – 70910-900 – Asa Norte – Brasília – DF
cintia.alvim92@gmail.com; jotafmr@gmail.com; gmbaptista@unb.br

Abstract. The aim of this paper is to analyze the quantity of CO₂ in the column of air and the carbon sequestration in a forest before and after a fire, with resampled Hyperion hyperspectral data for WorldView 2. The images were processed to diminish systematic noise and correct it radio and geometrically. After the pre process, two indexes were applied and correlated, the CO₂flux, using the near infrared and the red edge, and the ICO₂. Their values showed a correlation between the level of CO₂ where the vegetation was burned, which was higher than where the vegetation was photosynthetically active. The determination coefficient values obtained in the non-linear regression between both indexes were R²=0.45 before the fire and R²=0.31 after the fire, with differences in the red edge values. The data was helpful in the study of the CO₂ in the atmosphere and its sequestration.

Palavras-chave: Hyperion, NBR, Amazônia, WorldView 2.

1. Introdução

As florestas possuem grande relevância para o equilíbrio do estoque de carbono global, pelo fato delas armazenarem em suas árvores e no solo uma maior quantidade de carbono do que o presente na atmosfera.

Com o desmatamento das florestas o carbono estocado na biomassa está sujeito a retornar para a atmosfera, principalmente pelas queimadas ou por decomposição (HOUGHTON,1994).

A técnica de sensoriamento remoto tem sido bastante utilizada nas áreas de interesses ambientais por ser um método indireto e não destrutivo, auxiliando na estimação de parâmetros biofísicos, como o carbono (SOUZA e PONZONI, 1998).

Sensores com menores resoluções espectrais inviabilizam estudos que necessitam de espectros específicos. Deste modo, os dados hiperespectrais, por apresentarem uma maior faixa hiperespectral, mostram-se bastante úteis na análise dessas feições, como por exemplo o CO₂.

O objetivo deste trabalho é analisar a relação da quantidade de CO₂ atmosférico na coluna de ar adjacente e do sequestro de carbono em dados hiperespectrais reamostrados para WorldView 2.

2. Material e Métodos

2.1 Área de Estudo

A região estudada localiza-se ao norte de Porto Velho, no Estado de Rondônia (Figura 1), que está localizado na Amazônia ocidental. A área em questão faz parte do bioma da Amazônia, que se classifica em sua maior parte como floresta fluvial tropical.

O clima predominante no estado é do tipo Aw – Clima Tropical Chuvoso e a média anual da precipitação pluvial varia entre 1.400mm e 2.600mm. A média anual da temperatura do ar varia entre 24°C e 26°C (SEDAM, 2005)

O aumento das atividades econômicas em larga escala sobre os recursos da Amazônia Legal brasileira tem afetado drasticamente a taxa de desmatamento (FERREIRA et al., 2005).

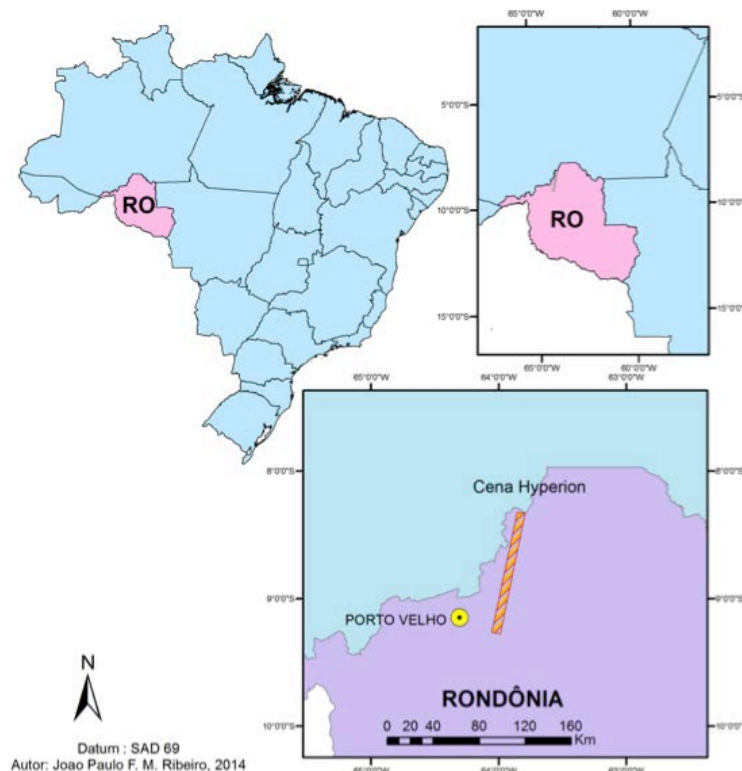


Figura 1 – Localização da área de estudo

2.2 Pré-Processamento

Foram selecionadas duas imagens de satélite obtidas pelo sensor Hyperion, instalado no satélite EO-1 (*Earth Observing-1*) da NASA, do período de 6 de setembro de 2012 e 14 de setembro de 2012, correspondendo ao período de pré-fogo e pós-fogo. A escolha das imagens se deveu a pouca quantidade de nuvens no local no respectivo período.

Com a utilização do software ENVI 4.7 as imagens foram convertidas para o formato BIP (Band Interleaved by Pixel), formato que possui os pixels de modo sequencial para todas as bandas.

Após a conversão, as imagens foram corrigidas atmosféricamente, para reduzir as distorções espectrais causadas pela absorção e pelo espalhamento da radiação eletromagnética consequente da interação com a atmosfera. O método utilizado foi o FLAASH (*Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes*). Esse complexo algoritmo baseia-se no modelo de transferência radiativa MODTRAN4 para remoção dos efeitos de espalhamento e absorção atmosférica (FELDE et al., 2003; ITT, 2009). Foi utilizada como altitude média de 0,150 km, com o modelo de aerossol *Rural*, visibilidade de 30 Km e modelo atmosférico *Tropical*.

As imagens resultantes da aplicação do FLAASH foram submetidas a uma divisão por 10 para ajustar a escala do fator de reflectância variando de 0 a 1, por meio do módulo de operações de bandas.

Foi aplicado o *Minimum Noise Fraction* (MNF) visando a remoção dos ruídos e redundâncias de informação espectral.

O pré-processamento para o ICO₂ (BAPTISTA, 2004) é feito com a primeira etapa de conversão para o formato BIP. Após a conversão, o dado é transformado para radiância absoluta e submetido à aplicação do MNF.

2.3 Processamento dos Dados

Para o cálculo do índice ICO₂, que mensura o conteúdo de CO₂ na coluna de ar adjacente, foi utilizada a equação 2 no módulo *band math*.

$$ICO_2 = R_{111} - R_{108} \quad (2)$$

Onde R₁₁₁ corresponde a radiância absoluta da banda 111 do instrumento Hyperion e R₁₀₈ corresponde a radiância absoluta da banda 108. As bandas correspondem aos valores 2037,6 e 2007,6 nm, respectivamente.

Como mostra Baptista (2004), o índice espectral ICO₂ baseia-se na intensidade da feição de absorção do dióxido de carbono centrada à 2000 nm e o procedimento é realizado por meio da diferença entre o ponto de mínima reflectância e suas bordas normalizadas por remoção do contínuo espectral.

As imagens foram registradas por meio do método imagem a imagem, após a aplicação do índice, para padronizar as coordenadas e remover a diferença de pixels entre as cenas.

Pelo fato da imagem resultante representar o conteúdo de CO₂ atmosférico na coluna de ar adjacente, um transecto por meio do módulo *Profile* do ENVI foi aplicado. Os valores foram dispostos numa planilha Excel e feito assim a etapa de regressão linear entre o CO₂ FLUX e ICO₂.

O outro índice aplicado corresponde ao CO₂flux, que mede a eficiência do processo de sequestro de carbono pela vegetação e pode ser obtido por meio da integração dos índices de vegetação NDVI - *Normalized Difference Vegetation Index* (ROUSE et al, 1973) e do PRI - *Photochemical Reflectance Index* (GAMON et al, 1997).

O índice NDVI consiste na diferença normalizada de reflectância entre a feição de absorção do vermelho (660,85 nm) e o aumento de albedo que ocorre nos espectros de vegetação após o início do infravermelho próximo – 803,30 nm, adaptado às bandas do Hyperion, de acordo com Rouse et al (1973).

O PRI mede a diferença existente entre a feição de absorção no azul (528,57 nm) e o pico de reflectância do verde (569,27 nm) e pode ser correlacionado com a eficiência da luz na fotossíntese (GAMON, et al. 1997).

Para a determinação do CO₂flux, entretanto, é necessário um reescalonamento do PRI, de acordo com Rahman et al (2000), tornando seus valores positivos, o que se denomina de sPRI – *Scaled Photochemical Reflectance Index*. O índice CO₂flux é determinado pela realização da multiplicação dos planos de informação NDVI e sPRI.

Neste artigo utilizou-se também a borda do vermelho, que corresponde a 723 nm do dado Hyperion reamostrado para WorldView 2.

3. Resultados e Discussão

Os Resultados das imagens processadas podem ser visualizados nas figuras 2 e 3.

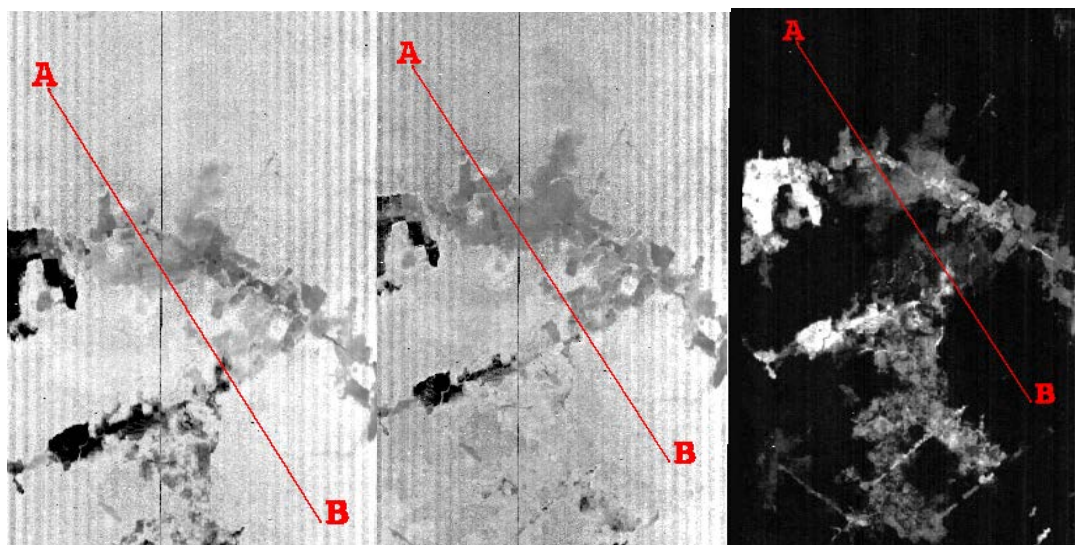


Figura 2 – CO₂flux, CO₂fluxRE e ICO₂ na área pré-fogo.

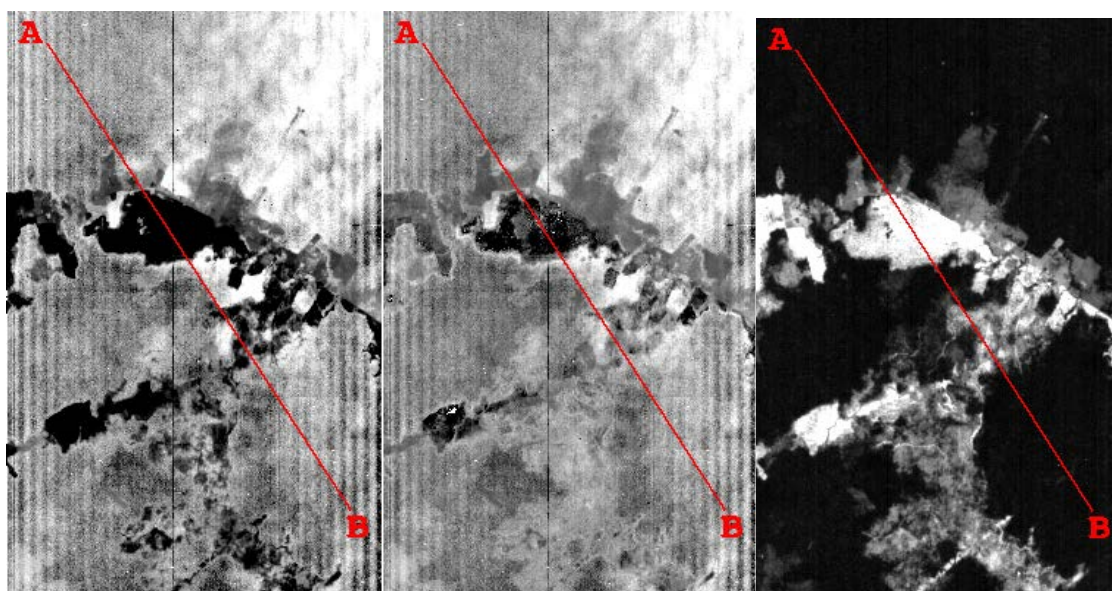


Figura 3 – CO₂flux, CO₂fluxRE e ICO₂ na área pós-fogo.

Nas imagens pré-fogo, simbolizadas pela figura 2, é possível observar um alto sequestro de carbono, sinalizado pela tonalidade clara dos tons de cinza. Nas partes em que os tons de cinza são mais escuros, nota-se um baixo sequestro de carbono no caso do CO₂flux.

Na imagem ICO₂ do período pré-fogo, observa-se um comportamento inverso ao CO₂flux (Figura 4). As partes claras da imagem representam menores atividades fotossintéticas e dessa forma, maiores conteúdos de CO₂ atmosféricos na coluna de ar adjacente.

Na figura 3, nota-se uma grande diferença nas tonalidades de cinza, no caso do CO₂flux. Após a queimada, são predominantes os tons de cinza escuro, representando o baixo sequestro de carbono que a área passou a ter.

Ao se comparar as imagens do ICO₂, é possível visualizar um aumento significativo da área clara, que se dá devido a uma queda na atividade fotossintética.

Nas imagens nas quais a borda do vermelho foi utilizada, os tons de cinza sofreram certa distorção comparados aos da imagem do CO₂flux original. Uma diminuição dos tons de cinza escuros é presente em ambos os casos.

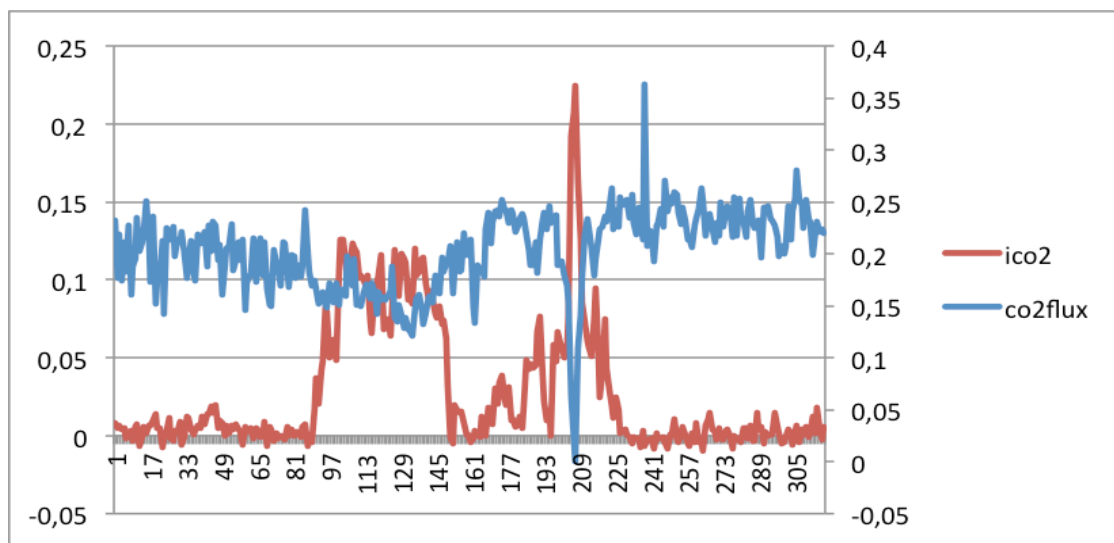


Figura 4 – Índices de vegetação ICO₂ e CO₂flux do transecto pré-fogo.

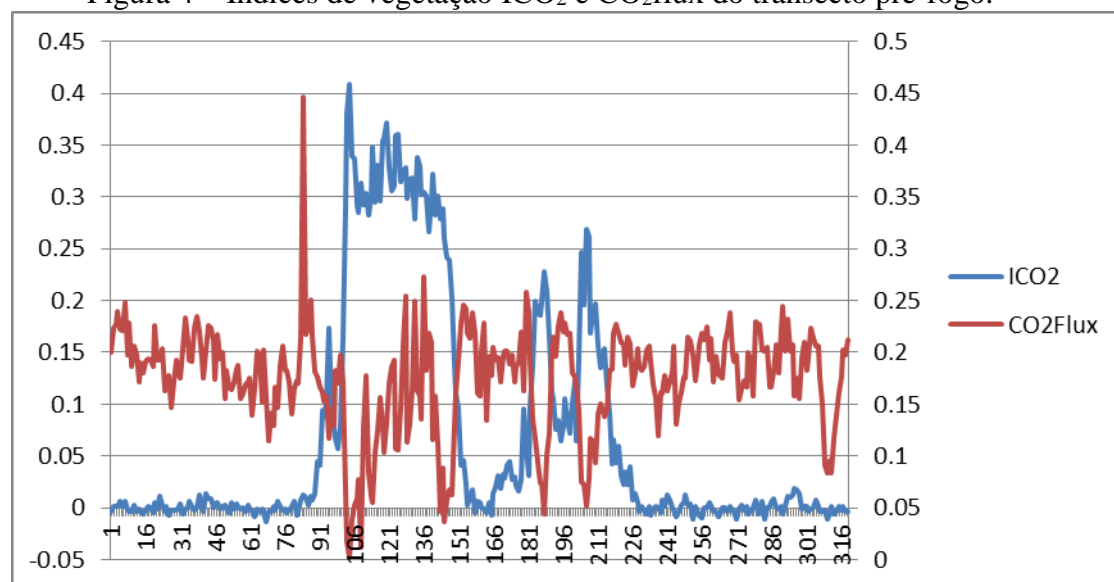


FIGURA 5 – Índices de vegetação ICO₂ e CO₂flux do transecto pós-fogo.

Observa-se que na área em que o transecto passa pela vegetação, os valores de CO₂ na coluna de ar atmosférico adjacente são baixos, correspondente ao ICO₂. Quando o transecto atinge uma área degradada, os valores de CO₂ aumentam, o que é observado com o pico do ICO₂ do gráfico das figuras 4 e 5.

Segundo Pacheco e Helene (1990) as alterações dos fluxos naturais por meio de desmatamentos, tem liberado grandes quantidades de dióxido de carbono para a atmosfera e isso pode ser exemplificado nos picos de ICO₂ dos gráficos.

Inversamente proporcionais, os valores de CO₂flux mostram que nos locais dos gráficos que apresentam picos, uma grande quantidade de CO₂ está sendo absorvida, pois há alta atividade fotossintética na área onde o transecto passa.

Isso ocorre pois os vegetais terrestres constroem seus tecidos a partir de CO₂ atmosférico, captado em forma de folha. Esse processo natural retira anualmente cerca de 100Gt de dióxido de carbono da atmosfera, como mostra Pacheco e Helene (1990).

A regressão linear entre os resultados descreve uma função negativa e um coeficiente de determinação R²=0,45 e R²=0,30 para a borda do vermelho, podendo se afirmar que 45% das variações de CO₂flux são explicadas pelo ICO₂.

No período pós-fogo os valores do coeficiente de determinação foram $R^2=0,31$ e um pouco maiores na borda do vermelho, com o $R^2=0,41$, mostrando que 31% das variações são explicadas pelo ICO_2 .

Esses valores foram inferiores aos encontrados por Silva e Baptista (2013), no qual o mesmo estudo da modelagem de sequestro de carbono utilizando o mesmo sensor foi realizado e o coeficiente de determinação foi igual a 0,84. Essa diferença pode se explicar devido a reamostragem do dado feita nesta pesquisa.

Na área pós-fogo, o coeficiente de determinação da borda do vermelho foi maior, se mostrando eficaz neste caso.

4. Conclusão

Houve diferenças na aplicação da borda do vermelho para ambos os casos, pré e pós-fogo. A utilização da borda do vermelho no pós-fogo mostrou-se eficaz, pois seu coeficiente de determinação foi maior do que o original.

Os dados Hyperion utilizados eram bastante ruidosos e os valores de R^2 foram relativamente eficazes com a reamostragem para o WorldView 2, devido a eficiência das técnicas de pré-processamento para a redução da redundância e do ruído desses dados.

Os próximos passos seriam fazer essa análise com o dado Hyperion original sem reamostragem, bem como utilizar as imagens do sensor WorldView 2 para observar a diferença entre o coeficiente de determinação encontrado.

Referências Bibliográficas

BAPTISTA, G. M. M. Mapeamento do sequestro de carbono e de domos urbanos de CO_2 em ambientes tropicais, por meio de sensoriamento remoto hiperspectrais. **Geografia**, Rio Claro, v. 29, n. 2, p. 189-202, 2004.

BOLETIM CLIMATOLÓGICO DE RONDÔNIA. Porto Velho: SEDAM, 2005. Anual. Brazilian Amazon. **Proc. Nat. Acad. Sci. USA**. 103, 12947–12950. 2006.

FELDE, G. W.; ANDERSON, G. P.; ADLER-GOLDEN, S. M.; MATTHEW, N. W.; BERK, A. Analysis of Hyperion data with the FLAASH atmospheric correction algorithm. In: International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), Toulouse, 21–25 July. **Proceedings**. 2003, pp. 90–92, 2003.

FERREIRA, Leandro Valle; VENTICINQUE, Eduardo; ALMEIDA, Samuel. O desmatamento na Amazônia e a importância das áreas protegidas. **Estudos avançados**, v. 19, n. 53, p. 157-166, 2005.

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**, v. 112, n. 4, p. 492-501, 1997.

HOUGHTON, R. A. As florestas e o ciclo de carbono global: armazenamento e emissões atuais. In: **Emissão X Sequestro de CO_2 – uma nova oportunidade de negócios para o Brasil**, 1994.

INPE. 2012. Sítio do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Brasília, 2012. Disponível em <http://www.inpe.br/>.

ITT Visual Information Solutions. **Atmospheric correction module: QUAC and FLAASH user's guide**. Version 4.7. Boulder, CO: ITT Visual Information Solutions, 2009.

PACHECO, M. R.; HELENE. Atmosfera, fluxos de carbono e fertilização por CO_2 . **Estudos Avançados** vol. 4 no. 9 Agosto, 1990

RAHMAN, A.F.; GAMON, J.A.; FUENTES, D.A.; ROBERTS, D.; PRENTISS, D.; QIU, H. Modeling CO_2 flux of boreal forests using narrow-band indices from AVIRIS imagery. In: 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: **Proceeding** of ERTS-1 Symposium. NASA, United States, n. 3. p. 309-317, 1973.

SILVA, S.; BAPTISTA, G. Variações na Modelagem do Sequestro Florestal de Carbono por meio de Dados Hiperespectrais na Floresta Nacional do Tapajós, Pará. **Anais** Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE

SOUSA, Claudia Linhares de; PONZONI, Flávio Jorge. Relação entre índice de área foliar, estimado através de sensoriamento remoto, e parâmetros dendrométricos em floresta implantada de Pinus spp. **Anais** Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 9 (SBSR), p. 1549-1560, 1998.

SPONSEL, L. E. Amazon ecology and adaptation. **Annual Review of Anthropology**, v. 15, n. 1, p. 67-97, 1986.