

## Estimativa de Carbono em um Fragmento de Floresta Madura na Mata Atlântica Nordestina com o Uso de Índices Espectrais

Mateus Dantas de Paula<sup>1</sup>

Waterloo Pereira Filho<sup>2</sup>

1. Departamento de Botânica, Universidade Federal de Pernambuco Av. Prof. Moraes Rego, 1235 - Cidade Universitária, Recife - PE - CEP: 50670-901. Email: mateus.dantas@gmail.com
2. Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Departamento de Geociências Av. Roraima, 1000, Santa Maria, RS, 97105-970, Brasil. Email: waterloopf@gmail.com

**Abstract:** The massive emission of carbon from deforestation has brought this activity into being one of the most determinant of antropogenic global warming and climate change, as well as responsible for biodiversity loss in the tropical regions. In response to that, recent scientific work has focused on the development of fast, ample and precise estimations of forest biomass, leading to the methodological strengthening of future carbon-preserving projects. In the present work we investigate the relationship between satellite-based spectral vegetation indexes and land-based samples of forest biomass, seeking to develop a method of remote carbon estimation. According to the results and although the relation was significant, the spectral indexes only accounted for between 14% and 24% of the total carbon variation. This shows that in spite of probably being crucial for forest carbon estimation, vegetation indexes, who are intimately related to above-ground primary productivity (ANPP), do not predict carbon in an isolated manner, and a more precise model may need other variables (such as soil, topography, or humidity).

**Keywords:** Vegetation Indexes, Carbon, Tropical Forests

### 1. INTRODUÇÃO

As florestas participam de forma marcante no ciclo global do carbono, armazenando em torno de 85% de todo o carbono terrestre acima do solo (Schimel et al. 2001), e sequestrando entre 1 e 4 Pg deste elemento de forma bruta, por ano, dependendo das condições atmosféricas anuais (Global Carbon Project, 2008). Mesmo florestas consideradas em estágio final de sucessão, como a floresta tropical amazônica, têm tido em vários estudos um balanço anual positivo de carbono, funcionando com um dreno, possivelmente graças ao aumento na concentração antropogênica de CO<sub>2</sub> atmosférico (Phillips et al. 2002).

No entanto, o balanço anual terrestre de carbono tem sido negativo. De acordo com o último levantamento do Global Carbon Project (2008), a presente concentração atmosférica de CO<sub>2</sub> é a mais elevada nos últimos 650 mil anos, alcançando o patamar de 380 ppm (partes por milhão), enquanto que em 1750 era de 280 ppm. Atividades humanas, das quais a mudança de uso da terra e emissão por combustíveis fósseis são predominantes, propiciaram uma emissão de aproximadamente 500 PgC entre 1850 e 2007, sendo que a taxa de emissão anual de 2006-2007 foi de 7,7 PgC, das quais apenas 54% foi removida da atmosfera pelos sistemas naturais.

A mudança do uso da terra é uma fonte antropogênica significativa de CO<sub>2</sub>, ocorrendo através da conversão de sistemas naturais ricos em carbono em sistemas agrícolas pobres neste elemento. Emissões de CO<sub>2</sub> provenientes do desmatamento representam 18-25% de toda emissão antropogênica (Stern, 2006). O protocolo de Quioto, arcabouço intergovernamental e mercadológico criado para lidar com o aquecimento global, vem sendo pressionado cada vez mais a incluir as atividades que impeçam o desmatamento para a compensação de emissões de CO<sub>2</sub> através do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (CI, 2008), pois ainda não contempla tais projetos. Estas implementações, além de geradores de créditos de carbono, têm função de evitar a perda de biodiversidade, para a qual as florestas são grandes reservatórios (CBD, 1992).

Neste cenário de demanda metodológica para projetos de seqüestro de carbono por desmatamento evitado, se torna fundamental a realização de inventários de carbono rápidos, precisos, e que possam avaliar carbono estocado em vastas regiões (Flombaum e Sala 2007). Métodos mais comuns de estimativa de biomassa são lentos, e envolvem ou a medida direta do peso seco dos componentes vegetais através do método destrutivo (Moreira-Burger e Delitti 1999), ou a estimativa desta biomassa usando equações alométricas que calculam a biomassa total de árvores usando uma ou poucas medidas como o diâmetro à altura do peito e a altura (Alves et al. 1997). O carbono contido em uma planta é diretamente proporcional ao valor da sua biomassa, sendo estimado pela maioria dos estudos como metade desta. Flombaum e Sala (2007) encontraram uma alta correlação entre biomassa de arbustos na Patagônia e cobertura vegetal, uma medida intimamente relacionada à ANPP (produção primária líquida acima do solo), concluindo que a cobertura possui um grande potencial para estimar biomassa. Outros trabalhos têm lidado com o comportamento espectral da vegetação, procurando analisar índices calculados a partir de imagens de satélites com processos ecossistêmicos como a própria ANPP (Houghton et al. 2001). Estes índices são gerados a partir de regiões do espectro de imagens de satélite que se conhece possuir um comportamento de reflexão ou absorção acentuados em áreas vegetadas, como o vermelho e infravermelho (Myneni e Williams 1994).

No presente trabalho, foi analisada a possibilidade de estimar com maiores precisão e abrangência, o carbono em florestas naturais, através de cruzamentos de dados *in loco* de estimativa de carbono com dados espectrais de imagens de satélite. Foi testada a hipótese que os índices vegetacionais, NDVI, EVI e SAVI estão correlacionados com o carbono acima do solo de árvores, e é proposto um modelo para estimar o carbono através do índice de vegetação.

## **2. METODOLOGIA**

### **2.1 Área de trabalho**

O estudo foi realizado em um fragmento de Mata Atlântica de 3.578 hectares (9° S, 35° 52' W), localizado dentro da Usina Serra Grande, município de Ibataguara, Alagoas (Figura 1). O fragmento (de nome COIMBRA, com 3.522 hectares) se encontra no compartimento geomorfológico da Borborema, caracterizado por um relevo acidentado com freqüentes afloramentos rochosos, altitude média de 300 metros, e solos predominantemente latossólicos e podzólicos. A precipitação anual gira em torno dos 2000 mm, com o período mais úmido entre Abril e Agosto, e o clima é Af' pela classificação de Köppen.

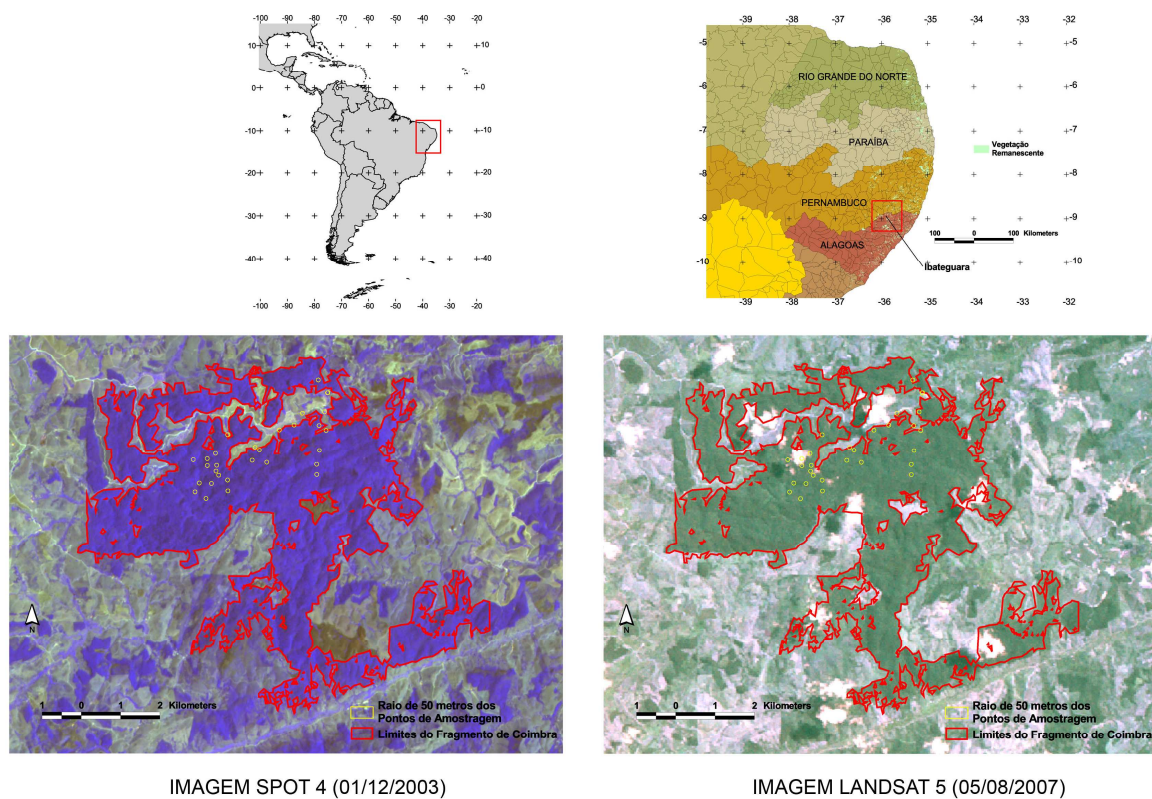


Figura 1. Mapa de localização dos 30 pontos de amostragem e do fragmento COIMBRA no município de Ibataguara, Alagoas, com a reprodução das duas imagens de satélite usadas.

## 2.2 Amostragem e Cálculo da Biomassa

Foi utilizado parte do inventário do fragmento realizado por Santos et al. (2008), composto de 30 parcelas de 0,1 ha de floresta madura (10 x 100 metros). Nestas parcelas, foram identificadas, medidas o DAP e altura de todas as árvores com DAP  $\geq 10$ cm. Posteriormente, com a densidade das espécies coletadas da literatura (Chave et al. 2006), foi calculada a biomassa das parcelas usando a média de 4 equações alométricas (Alves et al. 1997), que usam como variáveis o DAP, altura e densidade da madeira.

## 2.3 Cálculo dos Índices espectrais

Duas imagens multiespectrais foram usadas neste trabalho, uma SPOT 4 datada de 01/12/2003 e uma imagem LANDSAT 5 de 5/08/2007 (Figura 1). As duas foram então pré-processadas, com o software ERDAS IMAGINE 8.6, usando o procedimento Internal Average Relative Reflectance, para conversão em valores de radiância e a correção atmosférica. Posteriormente, a imagem foi classificada de forma supervisionada, para delimitação dos limites dos fragmentos, e em seguida foram calculados os seguintes índices espectrais:

NDVI, Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (Myneni e Williams 1994)

$$\text{NDVI} = \frac{\text{pnir} - \text{pred}}{\text{pnir} + \text{pred}} \quad (1)$$

Onde:

pnir = Valores de reflectância para as bandas de infravermelho próximo, banda 4.

pred = Valores de reflectância para a banda vermelha, banda 4.

SAVI: Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (Huete A.R., 1988)

$$\text{SAVI} = [(1+L) \times (\text{pnir} - \rho_{\text{red}})] / (\text{pnir} + \text{pred} + 0,5) \quad (2)$$

EVI: Índice de Vegetação Aperfeiçoado (Waring et al. 2006)

$$\text{EVI} = (2,5) \times [(\text{pnir} - \text{pred}) / (\text{pnir} + 6.0 \times \text{pred} - 7.5 \times \rho_{\text{blue}} + 1)] \quad (3)$$

Onde:

$\rho_{\text{blue}}$  = Valores de reflectância para a banda azul, banda 1.

Os índices gerados foram então abertos no software Arcview 3.2, onde foram plotados os pontos centrais das parcelas coletadas no fragmento principal, e criado um buffer de 50 metros de raio, dentro do qual foram calculados os valores médios para cada índice.

## 2.4 Análise Estatística

Com o programa STATISTICA 6, foi realizada uma regressão linear de forma a investigar a relação entre o índice espectral e o carbono medido em campo, e gerar um modelo para estimar o carbono a partir do NDVI.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As regressões lineares do Carbono Total em relação aos índices de vegetação, fazendo o papel de medidores da ANPP foram significativas, no entanto, o  $r^2$  da regressão se mostrou demasiadamente baixo: 0,14 (NDVI SPOT); 0,24 (NDVI LANDSAT); 0,20 (SAVI LANDSAT); 0,28 (EVI LANDSAT) de acordo com a figura 2. Isto sugere que a variável ANPP provavelmente participaria de um modelo multivariado que explicasse o carbono total de uma área, mas não isoladamente. Estudos relacionando a biodiversidade com processos ecossistêmicos indicam que a composição da comunidade e especialmente a riqueza de grupos funcionais podem influenciar significativamente o valor total da biomassa de um local, e conseqüentemente o carbono (Diaz e Cabido 2001). Buscando um modelo para a estimação remota de carbono, é possível que outras metodologias espectrais como a remoção do

contínuo (Mutanga e Skidmore 2003), ou medidas remotas de fatores abióticos, edáficos e topográficos (Ustin et al. 1993) possam aumentar sensivelmente a precisão em um modelo multivariado.

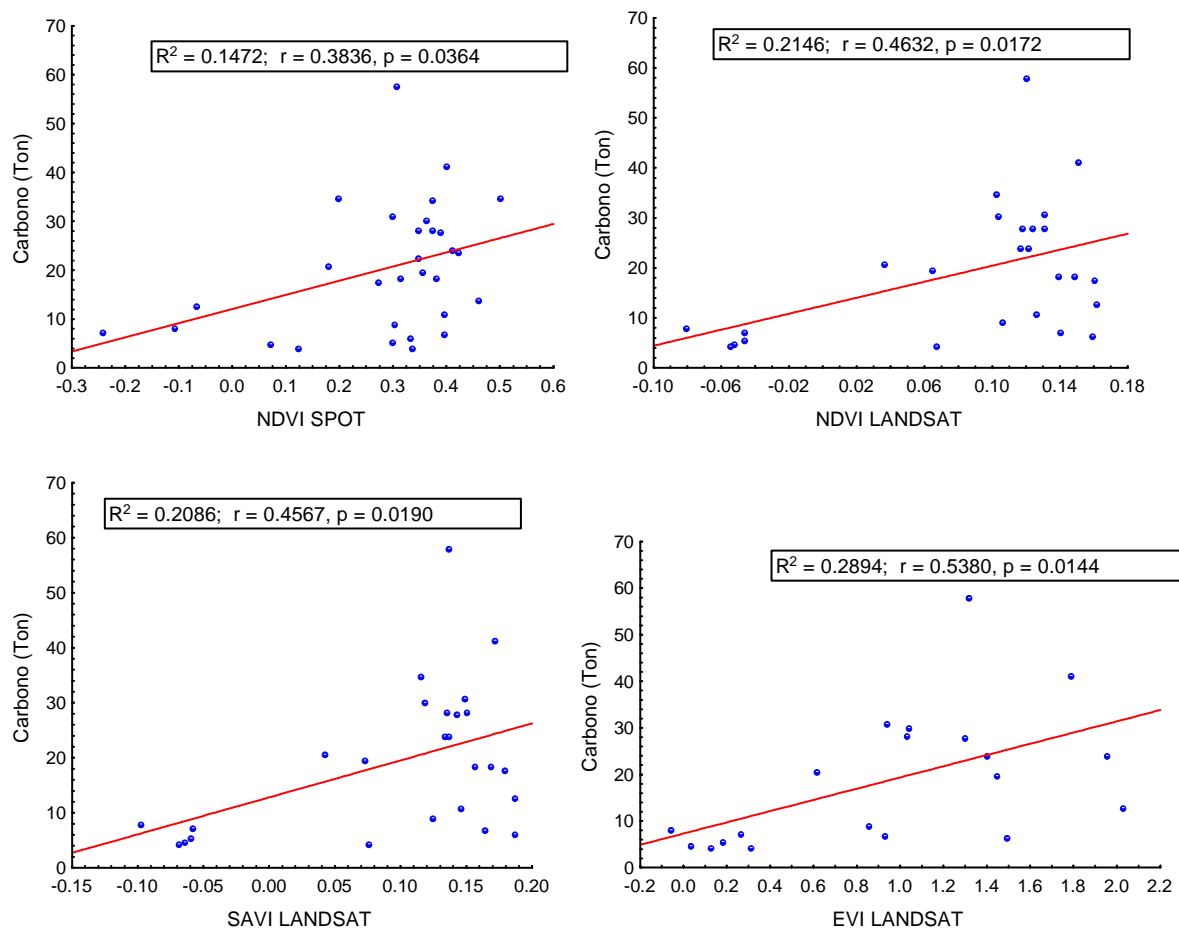


Figura 2. Regressões lineares do carbono total das parcelas em relação aos índices de vegetação.

Mesmo com valor baixo de  $r^2$ , achamos que seria interessante criar o mapa de carbono para o fragmento de Coimbra, usando a função que relaciona o NDVI da imagem SPOT 4 e a Tonelada de Carbono encontrada na regressão linear (Foi usada a regressão da imagem SPOT 4 por esta possuir resolução mais alta que a LANDSAT 5):

$$\text{Carbono} = (90.9484529 + 366.49671 * \text{NDVI}) * 0.4 \quad (4)$$

Com esta equação (4), podemos transformar o mapa de NDVI em um mapa de carbono (Figura 3), onde cada pixel de imagem (20x20m ou 400m<sup>2</sup>) contém o total de carbono dentro daquela unidade de imagem. O carbono total estimado na equação precisa ser multiplicado por 0,4, pois o valor em campo é equivalente a uma área de 1000m<sup>2</sup>.



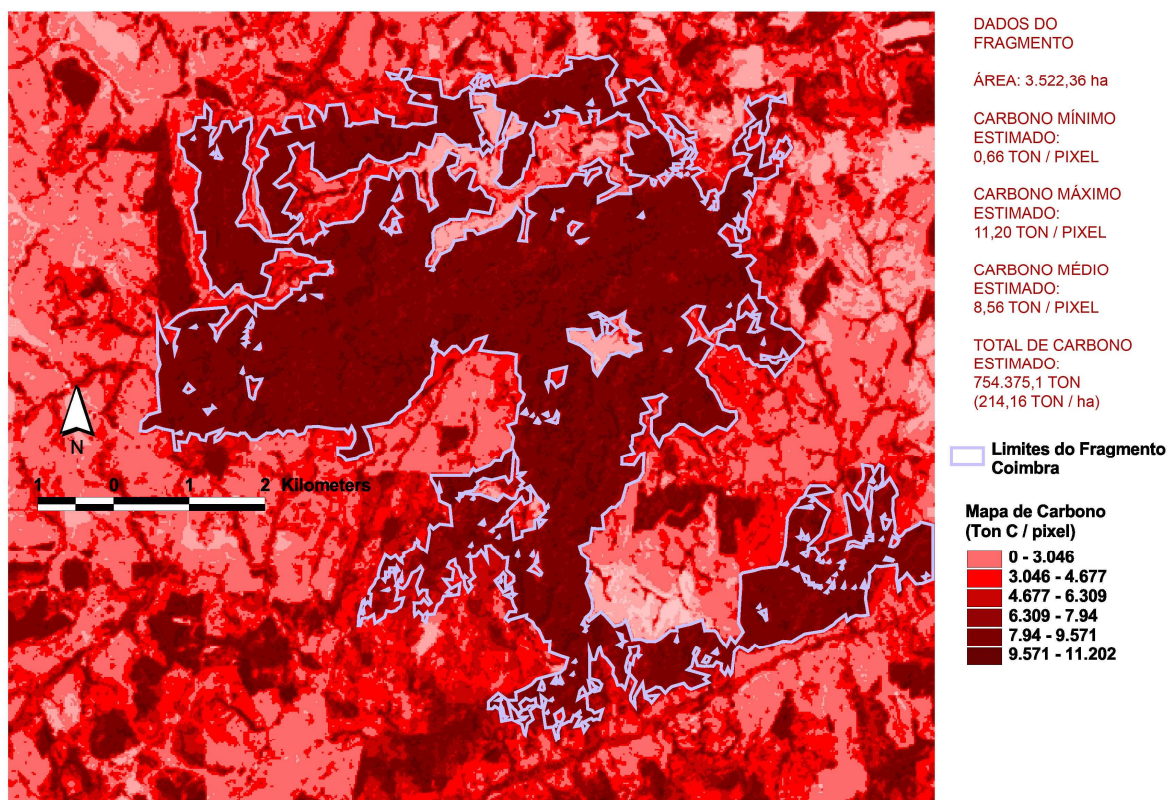


Figura 3. Mapa de carbono gerado a partir da regressão linear do carbono total por parcela e o índice NDVI da imagem SPOT 4.

A figura 3 também mostra os atributos do mapa de carbono. O valor da tonelada de carbono por hectare calculado no mapa (214,16 TC/ha) é semelhante ao encontrado em estudos de campo para florestas ombrófilas densas com estado avançando de regeneração (Alves et. al 1997).

#### 4. CONCLUSÕES

-A regressão linear do carbono a partir de índices espectrais se mostrou significativa, mas com um poder de predição muito baixo, o que torna improvável o uso deste modelo na forma atual.

- Provavelmente a variável ANPP (produtividade primária líquida acima do solo) possui papel significativo na predição do carbono de uma região, mas não isoladamente.

-Possivelmente outros fatores medidos remotamente como umidade, solos, e topografia entrariam em um modelo multivariado mais preciso, assim como testar outras abordagens espectrais como a remoção do contínuo.

- Um mapa gerado a partir do modelo, no entanto resultou em valores coerentes de carbono por hectare, mostrando que o conceito de mapas de carbono possui um bom potencial.

## 5. REFERÊNCIAS

- Alves, D.S., Soares, J.V., Amaral, S., Mello, E.M.K., Almeida, S.A.S., Silva, O.F., Silveira, A.M. Biomass of Primary and Secondary Vegetation in Rondônia, Western Brazil. **Global Change Biology** v.3, pp.451-461. 1997.
- CBD 1992, Convention on Biological Diversity, Nações Unidas, Rio de Janeiro.
- CDIAC, Carbon Dioxide Information Analysis Center, 2005. Top 20 Emitting Countries by Total Fossil-Fuel CO<sub>2</sub> Emissions for 2005. Oak Ridge National Laboratory, EUA
- Chave, J.C., Muller Landau, H.C., Baker, T.R., Easdale, T.A., ter Steege, H., Webb, C.O. (Regional and phylogenetic variation of wood density across 2,456 neotropical tree species. **Ecological Applications**, v. 16, pp.2356-2367. 2006.
- CI, 2008. Harnessing Nature as a Solution to Climate Change. Conservation International's Climate Change Business Plan.
- Diaz, S. Cabido, M.. Vive la différence: plant functional diversity matters to ecosystem processes. **TRENDS in Ecology & Evolution** v.16, n.11, pp.646-655. 2001.
- Flombaum, P., Sala, O.E., A non-destructive and rapid method to estimate biomass and aboveground net primary production in arid environments. **Journal of Arid Environments** v.69 pp. 352–358. 2007.
- Global Carbon Project (2008) Carbon budget and trends 2007. Disponível em <[www.globalcarbonproject.org](http://www.globalcarbonproject.org)>. Acesso em 13 de Novembro 2008
- Houghton, R.A., Lawrence, K.T., Hackler, J.L., Brown, S. The spatial distribution of forest biomass in the Brazilian Amazon: a comparison of estimates. **Global Change Biology** v.7, pp.731-746. 2001.
- Huete, A.R., A soil-adjusted vegetation index (SAVI), **Remote Sens. Environ.** v.25, pp.295-309. 1988.
- Moreira-Burger, D., Delliti, W.B.C., Fitomassa epigéa da mata ciliar do rio Mogi-Guaçu, Itapira – SP. **Revista brasil. Bot.**, São Paulo, v.22, n.3, p.429-435. 1999.
- Myneni, R.B., Williams, D.L., On the Relationship between FAPAR and NDVI. **Remote Sensing of the Environment**. v.49, pp.200-211. 1994.
- Mutanga, O. Skidmore, A.K. Continuum-removed absorption features estimate tropical savanna grass quality in situ. EARSEL Workshop on Imaging Spectroscopy, Herrsching. 2003.
- Phillips, O. L., Malhi, Y., Vinceti, B., Baker, T., Lewis, S.L., Higuchi, N., Laurance, W.F., Nuñez Vargas, P., Vázquez Martínez, R., Laurance, S., Ferreira, L.V., Stern, M., Brown, S., Grace, J., Changes in Growth of Tropical Forests: Evaluating Potential Biases. **Ecological Applications**, v.12, n.2, pp. 576–587. 2002.
- Santos, B.A., Peres, C.A., Oliveira, M.A., Grillo, A., Alves-Costa, C.P., Tabarelli, M. Drastic erosion in functional attributes of tree assemblages in Atlantic forest fragments of northeastern Brazil. **Biological Conservation** v.141, pp.249-260. 2008.

Schimel, D.S., House, J.I., Hibbard, K.A., Bousquet, P., Ciais, P., Peylin, P., Braswell, B.H., Apps, M.J., Baker, D., Bondeau, A., Canadell, J., Churkina, G., Cramer, W., Denning, A.S., Field, C.B., Friedlingstein, P., Goodale, C., Heimann, M., Houghton, R.A., Melillo, J.M., Moore, B., Murdiyarso, D., Noble, I., Pacala, S.W., Prentice, I.C., Raupach, M.R., Rayner, P.J., Scholes, R.J., Steffen, W.L., Wirth, C., Recent patterns and mechanism of carbon exchange by terrestrial ecosystems. **Nature** v. 414, p. 169–172. 2001.

Stern N. The Stern Review on the economics of Climate Change. Cambridge University Press. 2006.

Ustin, S.L., Smith, M.O. and Adams, J.B. Remote sensing of ecological processes: A strategy for developing and testing ecological models using spectral mixture analysis. **Scaling Physiological Processes: Leaf to Globe**. pp. 339–357. 1993.

Waring, R.H., Coops, N.C., Fan, W., Nightingale, J.M., MODIS enhanced vegetation index predicts tree species richness across forested ecoregions in the contiguous U.S.A. **Remote sensing of environment**, v.103, n.2, pp.218-226. 2006.