

## Relação entre tipos de vegetação e fluxo de CO<sub>2</sub> no Bioma Caatinga: Estudo de caso em Rio de Contas - Ba

David Brito de Cerqueira<sup>1</sup>  
Washington Franca-Rocha<sup>2</sup>

Programa de Pós-graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente –  
Universidade Estadual de Feira de Santana / UEFS, Mestrado,  
Km 03, BR-116, CEP: 40.170-110 – Feira de Santana – Bahia

<sup>1</sup> dbcerqueira@uefs.br

<sup>2</sup> wrocha@uefs.br

**Abstract.** We present the results of analysis of CO<sub>2</sub> fluxes over vegetation in the region of Rio de Contas - Ba. The work consisted of the following steps : a) Theoretical review; b) Generation of a vegetation map through supervised classification of satellite image; and c) Integration and analysis of data by means of a Geographic Information System - GIS. Remote sensing provides a feasible and economical means to estimate the spatial and temporal dynamics of CO<sub>2</sub> flux in vegetation cover. Vegetation indices derived from remotely sensed data, such as the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), have been correlated with CO<sub>2</sub> fluxes. The methodology allowed to establish the gradient of vegetation class contribution in relation to the CO<sub>2</sub> fluxes. The vegetation of caatinga answers for 65% of the biggest class of CO<sub>2</sub> fluxes, demonstrating its potential for carbon sequestration.

**Palavras-chave:** Carbon Flux, Vegetation, Spatial Analysis, Geotechnologies, Fluxo de Carbono, Vegetação, Análise Espacial, Geotecnologias

### 1. Introdução.

O ciclo global de carbono é composto de vários ciclos menores e complexos. A fotossíntese neste contexto vem a ser um dos ciclos mais importante. Este diz respeito à respiração e depende intimamente da presença de plantas, animais e bactérias. As plantas, aquáticas ou terrestres, absorvem gás carbônico e, usando água e luz solar, convertem o gás carbônico em tecido vivo liberando o oxigênio (O<sub>2</sub>) para a atmosfera.

A produção de massas vegetais, num povoamento florestal, origina-se da fotossíntese, ou assimilação do CO<sub>2</sub>, do índice de área foliar e do tipo de folha. A assimilação de CO<sub>2</sub>, que está intimamente relacionada com o consumo de água (transpiração), acontece por meio da entrada passiva através dos estômatos, cuja abertura é regulada principalmente pela intensidade da luz e o regime hídrico interno da planta. Desta maneira, o CO<sub>2</sub> é consumido predominantemente durante o dia e liberado durante os processos de respiração, formando-se um fluxo de CO<sub>2</sub> na planta e em torno dela. O fluxo de CO<sub>2</sub> ocorre na corrente que existe entre a planta viva (fixação), o ar (reservatório) e o solo (liberação de CO<sub>2</sub> a partir da matéria orgânica morta).

A quantidade de carbono a ser fixada varia em função da composição florística e da densidade populacional de cada estrato por comunidade vegetacional que compõe a biomassa.

Neste sentido a quantificação das frações raiz, tronco e folha se revestem de grande importância e metodologias de amostragem e modelagem para sua inferência, tornam-se prioritárias para embasar a tomada de decisões, (MAESTRI, 2003). Inúmeros estudos do conteúdo de carbono em florestas vêm sendo desenvolvidos recentemente e a maioria versa sobre amostragem destrutiva da biomassa e ajuste de modelos alométricos para sua estimativa.

Em linhas gerais as medições de carbono seguem o seguinte protocolo: 1. Amostragem, direta (destrutiva, derrubada da vegetação) ou indireta; 2. Composição de equações

alométricas com base nos dados da composição florística; 3. Mapeamento da vegetação e 4. Extrapolação da amostragem para a tipologia vegetacional.

Este trabalho teve por objetivo entender o comportamento dos diferentes tipos de vegetação da região de Rio de Contas-Ba no processo do fluxo de carbono e confrontar com o método de quantificação convencional. A porção do fluxo que diz respeito à planta viva, foi abordada e os resultados obtidos através deste método foram investigados.

## 2. Área de Estudo

A área de trabalho, compreendida entre as coordenadas UTM 167476 E, 8528819 S e 221504 E 8485678 S, localiza-se na região do município de Rio de Contas – Ba, recobrando parte dos municípios de Rio do Pires a NW, Érico Cardoso a W, Abaíra a N, Mucugê a NE, Jussiape e Ibicoara E, Ituaçu a SE, Livramento de Nossa Senhora a S e Paramirim a SW (**Figura 1**).

## 2. Materiais e Métodos

Para alcançar os objetivos propostos foram desenvolvidas as seguintes etapas metodológicas: **a)** Composição do Mapa de Vegetação através da Classificação Supervisionada de imagem de satélite; **b)** Integração e análise de dados por meio de um SIG; e **C)** Análise estatística através da tabulação cruzada. Para tanto foi utilizada a Cena 217/69 de 15/10/2002 do sensor LANDSAT 7 ETM+, Mapa do Fluxo de CO<sub>2</sub> desenvolvido por CERQUEIRA (2005), Mapas de Vegetação, Solo e Geologia (SRH, 2004) e o Modelo Digital de Terreno (SRTM/NASA).

### 2.1. O Mapa do Fluxo de Carbono

O seqüestro de carbono pela vegetação depende da integração do NDVI e do PRI (Rahman et al 2000). Esta integração pode ser medida pelo índice *CO<sub>2</sub>Flux*, que resulta da razão entre aqueles dois índices. O índice NDVI expressa a diferença de reflectância entre a feição de absorção do vermelho (660 nm) e o aumento de albedo que ocorre nos espectros de vegetação após o início do infravermelho próximo (800 nm) e o PRI expressa a diferença entre a feição de absorção no azul (531nm)

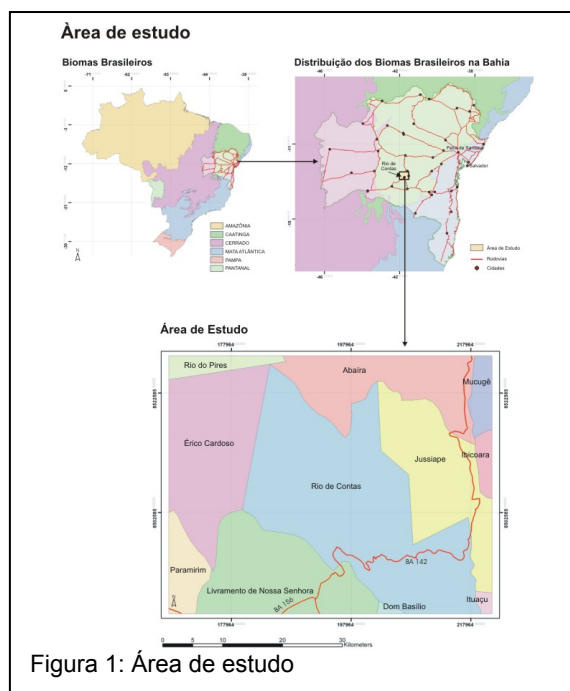


Figura 1: Área de estudo

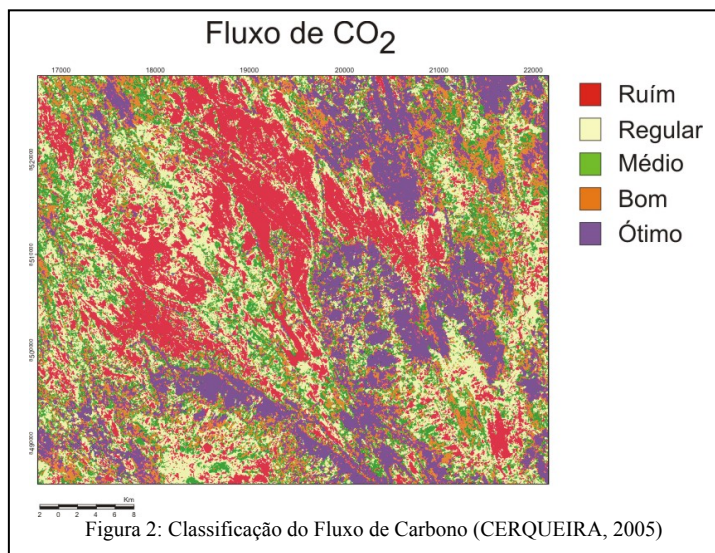


Figura 2: Classificação do Fluxo de Carbono (CERQUEIRA, 2005)

e o pico de reflectância do verde (570 nm). O PRI e o NDVI podem ser correlacionado com as taxas de fotossíntese e o  $CO_2$  Flux com o seqüestro de carbono. Isso é explicado pelo fato de que, quanto maior for a atividade fotossintética, maiores serão as feições de absorção nas faixas do azul e do vermelho e mais expressivos serão os valores (Baptista, 2004). Logo, quanto maior for a diferença de contraste entre a região do visível e o infravermelho próximo, maior será a biomassa da vegetação na área imageada, (Moreira, 2001 in Baptista, 2004 ) e maior o potencial de fixação de carbono.

Baseado nestes conceitos CERQUEIRA (2005) estabeleceu para a região de Rio de Contas-Ba um mapa imagem representado um gradiente que varia do Ruim ao Ótimo, quanto ao fluxo de  $CO_2$  (figura 2).

## 2.2. Classificação para Composição do Mapa de cobertura Vegetação e Uso do Solo.

No processo de classificação de imagens para o mapa de vegetação foi aplicado o método automático supervisionado. Foi implementado o classificador Maxver e o número de classes definido com base na interpretação visual da imagem, em trabalho de campo e no mapa de vegetação (SRH, 2004). Foram definidas oito classes: Campo Limpo, Cerrado, Carrasco, Campo Rupestre, Caatinga, Solo Exposto, Agropecuária, Vegetação Secundária, (figura 3).

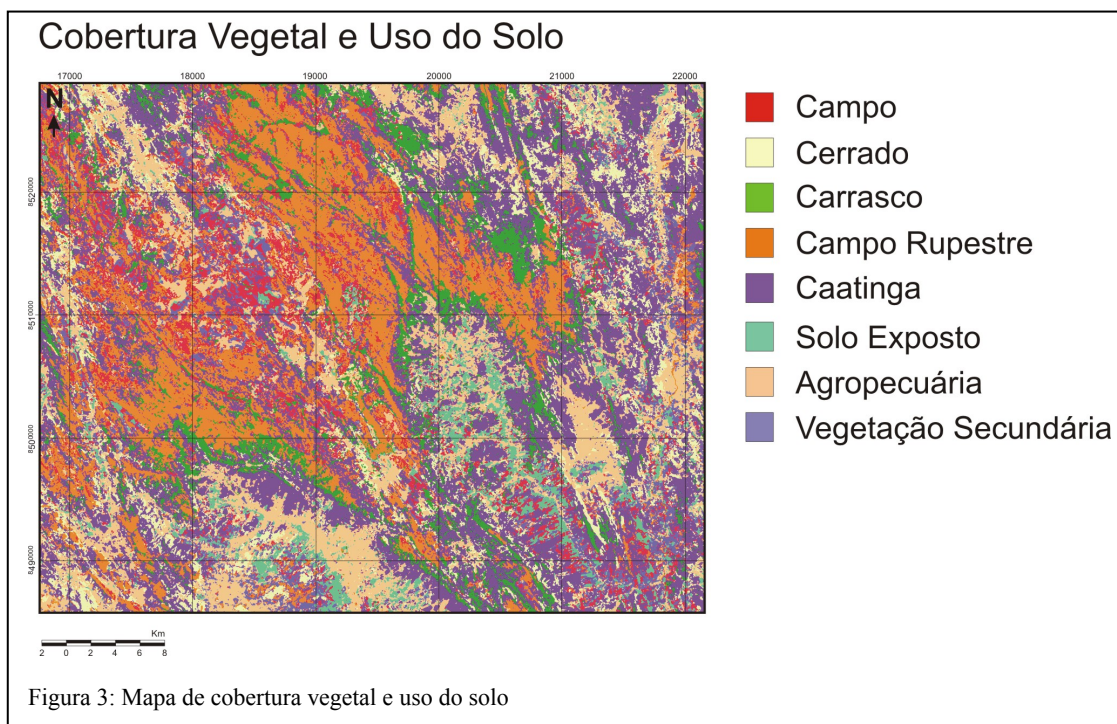


Figura 3: Mapa de cobertura vegetal e uso do solo

## 3. Integração e análise de dados por meio de SIG: análise estatística.

A primeira etapa a ser cumprida quando da constituição do SIG foi o preparo dos mapas imagens para compor a base cartográfica. Nestes foi aplicado o filtro de moda com kernel 3X3 para evitar o efeito de píxel isolado. Em seguida foram integrados os mapas de Vegetação e do Fluxo de Carbono, o MDT, e pontos de campo levantados com GPS.

A integração dos mapas de vegetação e de fluxo de carbono foi feita aplicando a tabulação cruzada. A vantagem de se usar a tabulação cruzada se deve ao fato de que, através dela, obtém-se subsídios para entender a relação entre as classes que compõe a análise.

#### 4. Resultados e Discussão

As análises estatísticas foram realizadas com base nos resultados da tabulação cruzada com objetivo de avaliar o quanto cada classe de vegetação contribui para o fluxo de carbono. A área de estudo possui 2.589.838 pixels de 30m que equivale a aproximadamente 234 km<sup>2</sup>. Para facilitar as análises os valores das áreas das classes foram transformados em percentual (**Gráfico 1**).

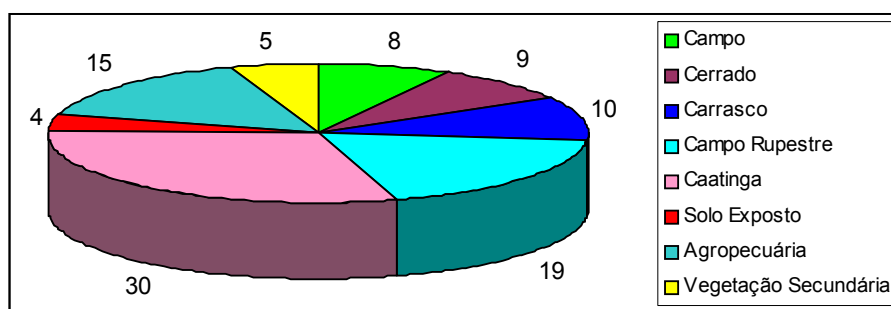


Gráfico 1: Percentual das classes de vegetação em relação ao total da área de estudo

O **gráfico 1** representa a distribuição das classes de vegetação no total da área de estudo. Nota-se que a caatinga e o campo rupestre representam juntas 49% da área de estudo com 30% e 19% respectivamente.

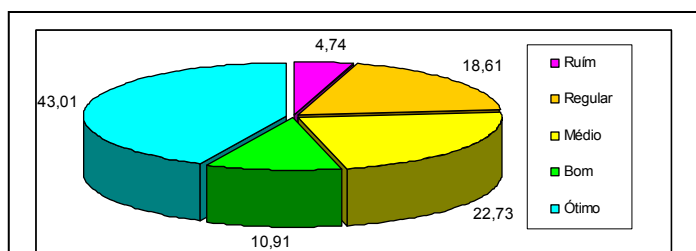


Gráfico 2: Percentual das classes de CO<sub>2</sub> na vegetação caatinga

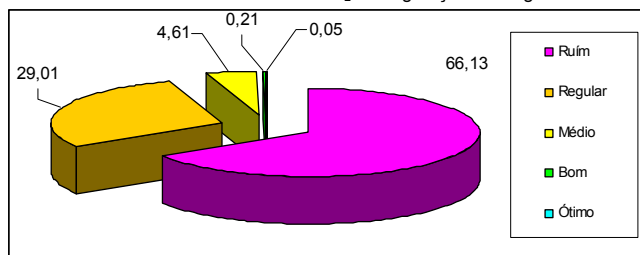


Gráfico 3: Percentual das classes de CO<sub>2</sub> na vegetação Campo Rupestre

Dos 30% da caatinga 43,01% corresponde à classe ótimo do fluxo de carbono, 10,91% se encontra na classe bom e 22,73 na classe médio conforme mostrado no **gráfico 2**. Vale ressaltar que apenas 4,74% da área da caatinga se encontra na classe ruim e 18,61% na regular. Já no campo rupestre, gráfico 3, a relação é oposta, 66% da área está classificada como ruim, 29% como regular e apenas 0,05% como ótimo.

Quanto à distribuição das classes do mapa de fluxo de carbono na área de estudo a pesquisa concluiu que 21,61% da área de estudo se encontra

na classe ruim, 25,9% na regular, 18,71% na média, 13,89% na bom e 19,88% na ótima.

Observou-se ainda o comportamento de cada classe de vegetação no fluxo de carbono. Os números apontaram a caatinga como a vegetação onde ocorre maior fluxo de carbono, uma vez que dos 19,88% da classe ótimo 65% corresponde à caatinga. Em seguida o carrasco com 19%, a agropecuária 8,79%, o cerrado com 5,9%, e as demais classes com valores menores que 1%. O **gráfico 4** abaixo representa o percentual de cada classe de vegetação na classe ótima do fluxo de carbono.

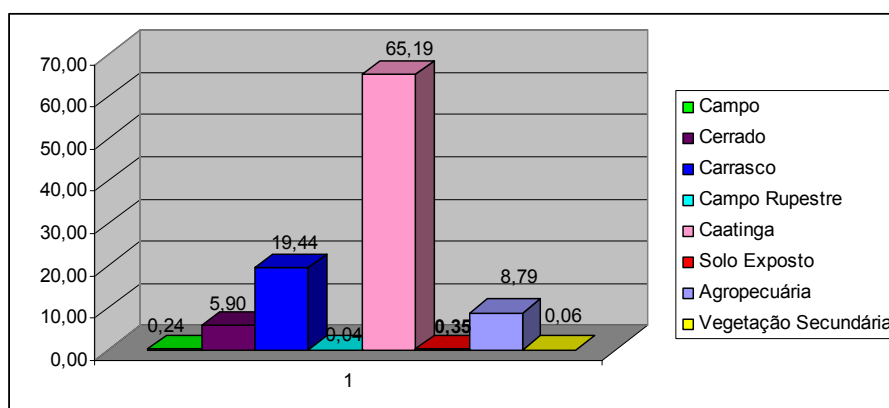


Gráfico 4: Percentual das classes de vegetação na classe ótima de CO<sub>2</sub>.

Para comparar os resultados deste trabalho com os métodos convencionais de estimativa de fixação de carbono, os quais homogeneizam as classes de vegetação e aplicam o resultado do levantamento amostral para toda a área, propomos o seguinte exercício hipotético:

Na área de estudo foi feita uma amostragem direta com o lançamento de 3 parcelas 50m x 50m nas vegetações caatinga e campo rupestre. A amostragem apontou que a vegetação caatinga possui 2Ton/ha e que o campo rupestre apresentou 0,1Ton/ha.

Considerando os valores de área para as referidas classes de vegetação demonstradas neste trabalho teríamos a caatinga com 14,24 toneladas de carbono fixado já que a mesma possui 7,14ha da área. O campo rupestre teria 0,44 toneladas uma vez que possui 4,4ha da área estudada.

Para confrontar estes números com o gradiente encontrado neste trabalho vamos dividir o resultado da amostragem pelo número de classes exposta no gradiente. Em seguida vamos calcular o quanto de carbono é fixado por classe dentro da vegetação, e por fim achamos o total de carbono para a vegetação. Este exercício pode ser observado nos **quadros 1 e 2** abaixo.

Gradiente C	Intervalo Ton	Caatinga %	Área ha	Total p/ Classe Ton/ha
Ruim	0,4	5	0,366	0,146
Regular	0,8	19	1,437	1,150
Médio	1,2	23	1,755	2,106
Bom	1,6	11	0,843	1,348
Ótimo	2	43	3,344	6,688
<b>Totais</b>		100	7,72	11,44

Quadro 1: Totalização da quantidade de carbono na área de caatinga por classe do gradiente de carbono (Gradiente C)

Gradiente C	Intervalo Ton	Caatinga %	Área ha	Total p/ Classe Ton/ha
Ruim	0,02	66,13	2,939	0,059
Regular	0,04	29	1,289	0,052
Médio	0,06	4,61	0,205	0,012
Bom	0,08	0,21	0,009	0,001
Ótimo	0,1	0,05	0,002	0,000
<b>Totais</b>		100	4,444	0,124

Quadro 2: Totalização da quantidade de carbono na área de campo rupestre por classe do gradiente de carbono (Gradiente C)

A diferença entre os dois métodos podem ser observados no **quadro 3** ao lado. Nele notamos que há uma diferença para menos nos dois exemplos abordados. Esta diferença pode ser fruto da composição florística e da densidade populacional de cada estrato por comunidade dentro da área de vegetação analisada. Cada vegetação possui espécies que possuem maior biomassa, conseqüentemente fixadoras mais eficientes de carbono, dentro de sua estrutura fitossociológica. Estas espécies se distribuem espacialmente em função de muitas variáveis e tendem a se concentrar em microambientes onde encontram condições favoráveis.

Método	Vegetação	
	Caatinga	Carrasco
Tradicional	14,28	0,44
Proposto	11,44	0,124
<b>Diferença</b>	- 2,84	- 0,316

Quadro 3: Diferença entre o método tradicional e o proposto

## 5. Considerações finais

Entender o comportamento dos diferentes tipos de vegetação da região de Rio de Contas-Ba no processo do fluxo de carbono e confrontar com o método de quantificação convencional foi o objetivo principal desta pesquisa. Os resultados obtidos demonstraram claramente que existem diferenças significativas entre os tipos de vegetação estudados no que tange ao fluxo de carbono, bem como apontou fragilidades no método convencional de quantificação do carbono na vegetação.

Cada vegetação possui características fitossociológicas específicas que a diferencia das demais. Estas são complexas, geralmente difíceis de serem mensuradas e dizem respeito às espécies que a compõe. Estas características se classificadas com exatidão representariam fidedignamente a real diferença existente entre os diversos tipos de vegetação em relação ao fluxo de carbono. Contudo, os métodos conhecidos para o mapeamento destas características tendem a discretizá-las provocando generalizações que podem gerar resultados diferenciados a depender das técnicas utilizadas para tanto.

Nesta perspectiva o resultado deste trabalho não permite afirmar qual dos dois métodos representa melhor a realidade, uma vez que é fruto de um exercício hipotético. Contudo, ele oferece pistas para melhorar os trabalhos de quantificação de carbono na vegetação, uma vez que ele apresenta um mecanismo que minimiza os efeitos das generalizações comuns aos trabalhos de mapeamento em geral. Acredita-se que com dados reais pode-se apontar com maior precisão as diferenças existentes entre estes.

Este trabalho será continuado sobre a forma de projeto de mestrado a ser desenvolvido na Universidade Estadual de Feira de Santana no Programa de Pós-Graduação em Modelagem da Terra e Ciências do Ambiente.

## 6. BIBLIOGRAFIA

BAPTISTA, G. M. M. . **Mapeamento do Seqüestro de Carbono e de Domos Urbanos de CO<sub>2</sub> em Ambientes Tropicais, por meio de Sensoriamento Remoto Hiperespectral.** Geografia, 2004.

BAPTISTA, Gustavo Macedo de Mello. **Validação da modelagem de seqüestro de carbono para ambientes tropicais de cerrado, por meio de dados aviris e hyperion.** Anais XI SBSR, Belo Horizonte, Brasil, 05- 10 abril 2003, INPE, p. 1037-1044.

CERQUEIRA, D. B. de; Franca-Rocha W. de J. S. **Modelagem do fluxo de co<sub>2</sub> na vegetação em rio de contas com base em sensoriamento remoto.** II Seminário de Geotecnologias. Anais. CDROM. Salvador 2005.

CRÓSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto.** Campinas, SP:IG/Unicamp, 1992

EASTMAN, J. R. Idrisi for Windows versão 2. **Manual do usuário.** 1998.

HARLEY, R. M. Introduction. In: STANNARD, B. (ed.). **Flora of the Pico das Almas, Chapada Diamantina, Bahia, Brazil.** Kew: Royal Botanic Gardens, Kew, 1995.

IBGE. **Mapa de Vegetação do Brasil.** Rio de Janeiro, IBGE. 1993.

OLIVEIRA-FILHO, A. T. & FLUMINHAN-FILHO, Miguel. **Ecologia da vegetação do Parque Florestal Quedas do Rio Bonito.** CERNE, V.5, N.2, P.051-064, 1999.

OLIVEIRA-FILHO, A. T.; RATTER, J. A. A study of the origin of central Brazilian forests by the analysis of plant species distribution patterns. **Edinburgh Journal of Botany**, Edinburgh, v. 52, n. 2, p. 141-194, 1995.

Rahman, A.F.; Gamon, J.A.; Fuentes, D.A.; Roberts, D.; Prentiss, D.; Qiu, H. **Modeling CO<sub>2</sub> flux of boreal forests using narrow-band indices from AVIRIS imagery.** *AVIRIS Workshop*, JPL/NASA, Pasadena, Califórnia, 2000.

SAMPAIO, E.V.S.B.; GIULIETTI, A.M. VIRGÍNIO, J.; GAMARA-ROJA, C.F.L. **Vegetação e flora da caatinga.** Recife. Associação Plantas do Nordeste – APNE; Centro Nordestino de Informações Sobre Plantas – CNIP, 2002.

SCHOWENGERDT, R.A. **Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing.** Academic Press. London. Second Edition. 1997. 522 p.

SRH. **Plano Estadual de Recursos Hídricos da Bahia.** CD1. Salvador. Secretaria de Recursos Hídricos – SRH. 2004

TABARELLI, M.; Silva, J.M.C.; Santos, A.M.M.; Vincente, A. **Análise de representatividade das unidades de conservação de uso direto e indireto na caatinga: análise preliminar.** [www.biodiversidade.org.br/caatinga](http://www.biodiversidade.org.br/caatinga). 2000.

VELOSO, H.P.; RANGEL-FILHO, A.L.R.; LIMA, J.C.A. **Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal.** Rio de Janeiro, IBGE. 1991