

Áreas para conservação no bioma Caatinga por meio da análise de fatores biofísicos e antrópicos com a diversidade florística

Thomaz Corrêa e Castro da Costa¹
Luciano José de Oliveira Accioly²
Maria Aparecida José de Oliveira³
Luciana Mara Temponi Oliveira⁴
Daniel Pereira Guimarães⁵

^{1,5} Embrapa Milho e Sorgo - CNPMS
Rodovia MG 424, km 45 - 35701-970 Sete Lagoas – MG, Brasil
{thomaz, daniel}@cnpms.embrapa.br

² Embrapa Solos UEP/Recife
Rua Antônio Falcão, 402 - Boa Viagem - 51020-240 Recife, PE
luciano@uep.cnps.embrapa.br

³ Universidade Federal da Bahia - UFBA
Rua Barão de Jeremoabo, s/n - Campus Universitário de Ondina - 40170-115 Salvador, BA
cidinhaba@hotmail.com

⁴ Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE
Av. República do Chile, 500, 15º andar, Centro - 20031-170 Rio de Janeiro, RJ
temponi@ibge.gov.br

Abstract: The flora diversity of caatinga biome was related to biophysical and human factors as an indication of conservation areas. Multicriteria analysis was used to indicate regions with favorable conditions for greater diversity, through biophysical factors, and regions with less human pressure, based on socio-economic variables extracted from agricultural census. The results were compared with inventories of flora, phyto-sociology and biomass. Some biophysical factors showed significant relationships with the diversity of flora in the caatinga. The areas indicated by these factors were analyzed in conjunction with anthropic factors, thus allowing for the identification of potential areas for conservation in the Caatinga biome.

Palavras-chave: decision support, biodiversity, conservation unit, suporte a decisão, biodiversidade, unidade de conservação.

1. Introdução

Estudos recentes têm demonstrado a importância da vegetação de caatinga para a conservação da biodiversidade brasileira, devido ao alto nível de endemismo de espécies. No entanto, a Caatinga tem o menor número e a menor extensão protegida dentre todos os biomas brasileiros (Leal et al., 2005).

Os fatores físicos interferem no estabelecimento, permanência e dinâmica de táxons que constituem a flora potencial de um local, e no ritmo biológico das plantas do bioma, sobretudo no crescimento e na época de reprodução das espécies (Machado e Lopes, 2002; Araújo e Ferraz, 2003). A precipitação pluviométrica influencia a distribuição das espécies e a produção de biomassa, assim como a localização geográfica, a configuração do relevo e as condições edáficas (fertilidade, teor de matéria orgânica e profundidade do solo) (Sampaio, 2003).

As variações da biomassa, vigor, bem como a estrutura da vegetação, são possíveis de serem estimadas em larga escala por meio de sensoriamento remoto (SR). O índice de

vegetação da diferença normalizada (NDVI) tem relação com a biomassa arbóreo - arbustiva da Caatinga de forma que, quanto maior o vigor e a área foliar maior o valor do NDVI. Em tipologias florestais dos biomas Floresta Amazônica e Mata Atlântica, o NDVI satura em vegetações mais densas, mas no bioma Caatinga, com índice de área foliar geralmente abaixo de $4 \text{ m}^2/\text{m}^2$, é possível utilizá-lo para discriminar estados da vegetação, juntamente com outras variáveis biofísicas (Costa et al. 2002).

Outra variável de SR, a FAPAR, mede a fração da radiação disponível em comprimentos de onda fotossinteticamente ativos (400 a 700 nm) que a copa absorve, caracterizando o padrão de funcionamento da vegetação e a capacidade de absorver energia, podendo ser utilizada como estimador dos processos de fotossíntese e transpiração do dossel. Maiores valores de FAPAR indicam maior atividade fotossintética da vegetação e maior produção de biomassa (Oliveira, 2008).

Com relação aos fatores físicos, modelos probabilísticos de predição de tipologias florestais usando a temperatura, precipitação, elevação, declividade, aspecto e condições edáficas, para simular a vegetação potencial em florestas temperadas da Suíça (Brzeziecki et al. 1993) vem sendo experimentados. À antítese da modelagem para simulações da vegetação natural, está a pressão por atividades antrópicas, reduzindo a biomassa, a composição florística e alterando a estrutura da vegetação.

No semi-árido, as atividades que contribuem para a diminuição da diversidade potencial são: (1) corte raso da caatinga hiperxerófito, para atender a demanda de lenha; (2) cortes seletivos; (3) supressão para uso agrícola; (4) queima para limpeza da área; (5) predação de espécies vegetais pela pecuária (caprinos e bovinos).

Com o objetivo de medir a interferência da componente antrópica na simulação da distribuição atual de comunidades de plantas, Fischer (1990) incorporou ao modelo probabilístico a variável “uso da terra” e Kazmierczak (1998) abordou a influência antrópica na degradação do ambiente, ensaiando uma modelagem da susceptibilidade à desertificação a partir da transformação de fatores ambientais e antrópicos por notas.

Para estimar o estado de conservação da vegetação de uma região, dentre vários parâmetros, como o vigor, biomassa e sua estrutura, um indicador é a diversidade em tipologias vegetais, no caso a florística, pois, além de fornecer o número e as espécies da área em foco, pode ser extraída facilmente de inventários florestais. Na Caatinga há inúmeros inventários realizados, quer para estabelecer relações entre solo e a tipologia vegetal, quer para levantamento fitossociológico e da florística, quer para comparação da diversidade por similaridade, ou ainda, para inventariar as caatingas arbóreo - arbustivas, de acordo com diretrizes da SUDENE.

Estes inventários constituem uma base de dados valiosa que, relacionada com variáveis do meio físico, e com indicadores socioeconômicos, os quais refletem a pressão antrópica que contribui na perda de diversidade potencial, pode auxiliar na indicação de áreas para manutenção da diversidade potencial do Bioma Caatinga.

O objetivo deste trabalho foi indicar áreas para conservação no Bioma Caatinga, usando os fatores biofísicos, a diversidade florística arbóreo-arbustiva da caatinga e os fatores antrópicos (agricultura, pecuária e extração vegetal).

2. Metodologia de Trabalho

A área de estudo é o bioma Caatinga, que abrange a região semi-árida nordestina (IBGE, 1992). As variáveis biofísicas consideradas indicadoras de diversidade florística potencial da Caatinga do semi-árido nordestino foram:

Precipitação anual (mm): normais climatológicas calculadas a partir dos dados diários de precipitação, criticados e consistidos, com séries mínimas de 15 anos, dos postos

pluviométricos da ANA. A espacialização foi realizada pela análise geoestatística para dados anisotrópicos, no Gstat, incorporado ao Idrisi (Pebema, 1998), com semivariogramas nas direções de maior e menor variabilidade, e interpolação por kriging ordinário.

Temperatura média anual (°C): as normais de temperatura foram obtidas de séries temporais com mínimo de cinco anos de dados de estações climatológicas do INMET. A temperatura média anual foi obtida a partir das normais de temperatura máxima, mínima e medida às 12 h, e às 24h (Equação 1): $T_{med} = (T_{12h} + T_{max} + T_{min} + 2 \cdot T_{24h}) / 5$ (1)

A espacialização da temperatura media anual foi obtida por meio de equação de regressão linear múltipla, tendo como variáveis explicativas a longitude, latitude e altitude.

Índice de vegetação normalizado pela diferença (NDVI): foram utilizados dados médios anuais da série de dados EFAI-NDVI (“European Fourier-Adjusted and Interpolated NDVI”) (Stöckli, 2004), provenientes de filtragem e correção dos dados “Pathfinder” NDVI do sensor AVHRR do satélite NOAA, com resolução temporal de 10 dias e espacial de 0,1°x 0,1°, período de 1982 a 1999, cedida por Oliveira (2008).

Fração da radiação fotossinteticamente ativa absorvida pela vegetação (FAPAR): foram utilizados dados médios anuais de FAPAR calculados por Oliveira (2008), baseado em Stockli (2004).

Altitude (m) e declividade (%): foram utilizados os dados SRTM corrigidos (NASA, 2005), e calculada a declividade percentual. Ambos foram reamostrados para a resolução espacial de 1440 x 1440m.

Localização geográfica: as coordenadas geográficas latitude e longitude foram transportadas para atributos de pixels na resolução 1440 x 1440 m.

Para agregar os fatores físicos e obter um índice de favorecimento à diversidade florística (S_1), foi adotada a análise multicritério (MCE), associada à AHP (Analytical Hierarchy Process) (Eastman et al., 1995; Triantaphyllou e Mann, 1994), utilizando o software IDRISI.

Para o objetivo S , os fatores (x_i) foram selecionados pela significância da correlação do número de espécies com os fatores biofísicos. Os pesos (w_i) foram calculados pela técnica AHP. Os fatores foram transformados e normalizados pela função *fuzzy* linear ascendente ou descendente na escala de 0-255 (byte), conforme a relação de pertinência com o número de espécies.

Na combinação linear da análise multicritério, o resultado é dado pela Equação 2:

$$S = \sum w_i * x_i. \quad (2)$$

As variáveis antrópicas consideradas como pressão para a redução da diversidade florística foram extraídas das tabelas do SIDRA/IBGE, referentes ao Censo Agropecuário 1995-96, e da Base de Informação Municipal do IBGE (BIM), e resultaram em 18 índices de atividade agropecuária normalizados pela área do município (Tabela 1).

Tabela 1. Índices da Atividade Agropecuária

| Variável original | Índice | Descrição |
|-------------------|-------------|--|
| LAVPERM | DLavPerm | Área de lavoura (permanente) / área municipal (ha) |
| LAVTEMP | DLavTemp | Área de lavoura (temporária) / área municipal (ha) |
| LAVTEMPD | DLavTempD | Área de lavoura em descanso (temporária) / área municipal (ha) |
| TERPRNUTIL | DTerPrNUtil | Terras produtivas não utilizadas / área municipal (ha) |
| PASTNAT | DPastNat | Área de pastagem (natural) / área municipal (ha) |
| PASTPLAN | DPastPlan | Área de pastagem (plantada) / área municipal (ha) |
| PESSOAL | DOcupRural | Pessoal ocupado na zona rural / área municipal (ha) |
| TRATOR | | |
| PLANTIO | Maquin | Número de equipamentos (para plantio, para colheita, tratores, caminhões, utilitários) na zona rural / área municipal (ha) |
| COLHEITA | | |

| | | |
|--|-----------|---|
| CAMINHAO | | |
| UTILIT | | |
| Bov | Dbov | Número de cabeças bovinas / área municipal (km ²) |
| LEI_VAC | Leivac | Litros de leite de vaca / área municipal (ha) |
| Cap | DCap | Número de caprinos / área municipal (km ²) |
| LEI_CAB | Leicap | Litros de leite de cabra / área municipal (ha) |
| CAVE(m ³)=CAVE(ton) *1000*3,33*0,001175 | | |
| LENH(m ³) | DExVe | =(Cave+Lenh+Made)/ área municipal (ha): |
| MADE(m ³) | | Índice de extração vegetal de carvão, lenha e madeira serrada |
| VEGETAL | ValPrVeg | Valor da produção vegetal / área municipal (ha) |
| ANIMAL | ValPrAnim | Valor da produção animal / área municipal (ha) |
| VRINV | ValInvest | Valor dos investimentos / área municipal (ha) |
| VRFIN | ValFinanc | Valor dos financiamentos / área municipal (ha) |
| VRREC | | [VRREC (valor das receitas) – VRDES (valor das despesas)] / |
| VRDES | Saldo | área municipal (há) |

Estes índices foram integrados para gerar o índice de intensidade da atividade agropecuária (S₂), a média aritmética entre os fatores. Os atributos antrópicos foram normalizados pela função *fuzzy* linear ascendente.

Para a validação, o número de espécies foi a variável indicadora da diversidade florística do Bioma Caatinga, por ser viável sua obtenção em todos os levantamentos. Esta variável é menos sensível as diferentes abordagens dos inventários, que variam o diâmetro e a altura mínima coletada da planta, o método de amostragem, a intensidade da amostra, dentre outros.

Consultou-se 137 inventários, extraindo-se as seguintes informações: localização, temperatura média anual, precipitação anual, número de espécies arbóreo-arbustivas e outras características dos fragmentos. Para os levantamentos sem coordenadas geográficas e sem informação da localidade, utilizou-se a sede do município.

Inventários com a mesma localização foram listados com seus respectivos números de espécies, dando origem a duas listas: número mínimo e máximo de espécies, incorporando a fonte de variação da região e do grau de antropização.

Para validar os fatores físicos e agropecuários e calibrar os indicadores, as relações de S₁ com a variável “número de espécies arbóreo – arbustivas” foram analisadas pelo coeficiente de correlação de postos de Spearman (Siegel, 1956) com níveis de probabilidade de rejeição, p < 0,05, não paramétrico, evitando as pressuposições de normalidade dos dados.

Mesmo no caso de correlações significativas, optou-se pela análise multicriterial ao invés da regressão múltipla, pelo fato dos dados não atenderem as pressuposições para análise de regressão, como normalidade e ausência de multicolinearidade.

Por fim foram combinados os objetivos S₁ e S₂ para o zoneamento de áreas de conservação no Bioma Caatinga.

3. Resultados e Discussão

As correlações do número de espécies arbóreo - arbustivas com os fatores biofísicos são apresentadas na Tabela 2. NDVI, FAPAR, precipitação anual e localização geográfica (latitude e longitude) correlacionaram-se significativamente com o número de espécies.

O NDVI obteve o maior índice, de 0,76, com maiores valores próximos à transição do bioma caatinga para outros biomas. A FAPAR obteve menor correlação quando comparada com o NDVI, o que era esperado, pois diferente do NDVI, este parâmetro é maior quando as características ambientais são ideais (insolação, ausência de fortes ventos, disponibilidade de água em concentrações ótimas e temperaturas médias).

E a precipitação, de grande importância para a diversidade florística, mesmo com correlação significativa, não obteve alto índice, possível pela erraticidade deste fenômeno, o grau de incerteza no processo de interpolação e pela distribuição das estações.

Tabela 2 - Correlações de Spearman entre o número máximo de espécies e os Fatores físicos listados, n=84

| Fatores Físicos | Spearman | t(N-2) | p-level |
|-----------------|------------|----------|----------|
| NDVI | 0.745378* | 10.12491 | 0.000000 |
| FAPAR | 0.417224* | 4.15725 | 0.000079 |
| PPTANA | 0.458526* | 4.67224 | 0.000012 |
| TMED | -0.113707 | -1.03638 | 0.303073 |
| ALT | 0.137468 | 1.25676 | 0.212409 |
| DECL | -0.161932 | -1.48597 | 0.141121 |
| LAT | -0.528861* | -5.64274 | 0.000000 |
| LON | -0.533477* | -5.71146 | 0.000000 |

*correlações significativas ($p < .05$).

O fator temperatura média não foi significativo, mas os fatores de localização geográfica (latitude e longitude) obtiveram correlação com o número de espécies, indicando que a exposição, insolação, fatores térmicos, a maritimidade influenciam a diversidade florística.

Os maiores valores do índice de favorecimento à diversidade florística da caatinga pela integração dos fatores físicos significativos, pela análise multicritério, com um grau de importância para NDVI e precipitação maior, em relação aos demais fatores estão nos limites extremos do bioma caatinga, ao noroeste do estado do Piauí, na Chapada da Diamantina, na Bahia, Chapada do Araripe, entre Pernambuco, Ceará e Paraíba, e no Norte de Minas, e os menores valores são, em grande parte, coincidentes com as áreas susceptíveis a desertificação.

Na correlação dos fatores agropecuários com o número mínimo de espécies (Tabela 3), coeficientes negativos significativos indicam que a maior magnitude da variável agropecuária está associada ao menor número de espécies, o que pode ser observado para Lavoura permanente, pastagem natural, leite de vaca e máquinas. A baixa significância e relações inversas nas demais variáveis demonstram que as variáveis agropecuárias, na escala municipal, não foram sensíveis para indicar a perda de diversidade florística, sendo ainda que muitos processos antrópicos foram iniciados antes do registro do primeiro censo agropecuário de 1940.

Grandes regiões que indicaram menor intensidade de atividades agropecuárias estão situadas no noroeste do Estado da Bahia, centro do Estado do Piauí, e nordeste do Maranhão. A maior atividade agropecuária está concentrada na parte leste da região semi-árida, fronteira com o agreste.

Tabela 3- Correlações de Spearman entre o número mínimo de espécies e os fatores agropecuários, n=84

| Fatores Agropecuários | Spearman | t(N-2) | p-level |
|-----------------------|------------|----------|----------|
| DLAVPERM | -0.315101* | -3.00652 | 0.003507 |
| DLAVTEMP | -0.093268 | -0.84827 | 0.398755 |
| DLAVTEMD | -0.177422 | -1.63252 | 0.106404 |
| DTENUTIL | -0.177239 | -1.63079 | 0.106770 |
| DPASTNAT | -0.325524* | -3.11754 | 0.002515 |
| DPASPLAN | 0.413274* | 4.10974 | 0.000093 |
| BOVKM2 | -0.143557 | -1.31357 | 0.192656 |
| CAPKM2 | -0.047101 | -0.42699 | 0.670506 |

| | | | |
|----------|------------|----------|----------|
| LEIVAC | -0.240513* | -2.24380 | 0.027541 |
| LEICAB | 0.153222 | 1.40406 | 0.164077 |
| MAQUIN | -0.258727* | -2.42545 | 0.017485 |
| DENSEXVE | -0.051526 | -0.46721 | 0.641592 |
| OCPRURAL | 0.078858 | 0.71632 | 0.475826 |
| VALPRVEG | 0.058229 | 0.52819 | 0.598797 |
| VALPRANI | -0.188864 | -1.74158 | 0.085333 |
| VALFINAN | 0.116936 | 1.06622 | 0.289455 |
| VALINVES | -0.088265 | -0.80240 | 0.424639 |
| SALDO | 0.153552 | 1.40716 | 0.163160 |

*correlações significativas ($p < .05$)

Na Figura 1 é apresentado o resultado do favorecimento à diversidade florística com a intensidade da atividade agropecuária. Áreas com menor intensidade e maior favorecimento podem ser indicadas em políticas de criação de unidades de conservação. Embora as grandes manchas situem-se na parte ocidental do bioma caatinga, pequenas manchas ocorrem por todo o bioma. A Serra dos Quintos, situada no Seridó, no Estado do Rio Grande do Norte, é uma das áreas selecionadas por esta metodologia.

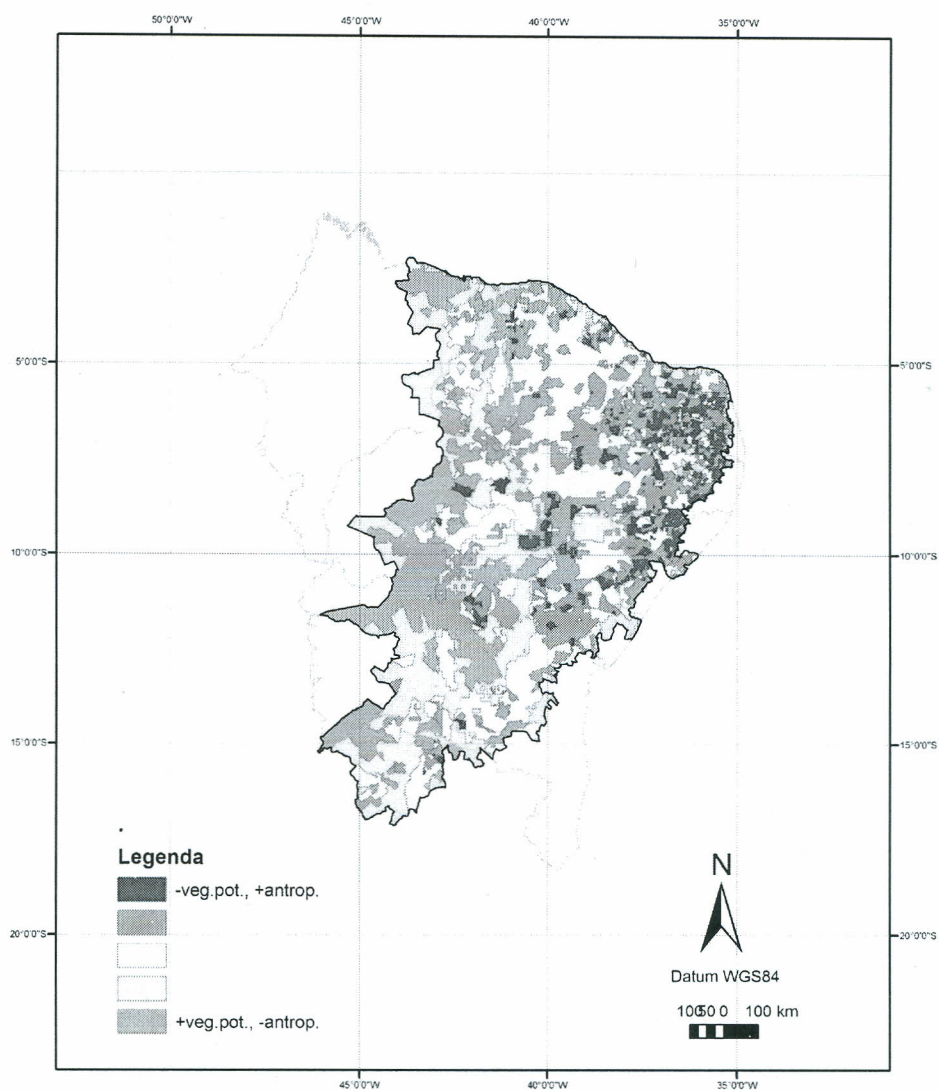


Figura 1. Indicação de áreas para conservação para o bioma Caatinga (Favorab.Diversid.-Intensid. Agropec.)/ (Favorab.Diversid.+ Intensid. Agropec.). Polígonos em branco correspondem às áreas com mínima favorabilidade à diversidade e máxima intensidade agropecuária ou ao leito de rios.

4. Conclusões

Foram encontradas relações empíricas significativas entre fatores físicos e características espectrais da vegetação com a diversidade florística no Bioma Caatinga.

A maior porção de áreas favoráveis para a criação de unidades de conservação encontra-se na extremidade ocidental do bioma Caatinga.

A modelagem da diversidade florística a partir de efeitos de favorecimento do ambiente e efeitos de pressão antrópica em escala regional, abre uma perspectiva para a sondagem de áreas com maior riqueza biológica para uma futura proteção legal, e a sondagem de áreas com

maior degradação biológica para futuras intervenções de recuperação. O refinamento desta pesquisa propõe a melhoria da qualidade e a densidade espacial da informação disponibilizada, visando uma melhor correlação com os dados ambientais.

Agradecimentos

Esta pesquisa recebeu apoio dos projetos "Adaptação de métodos de geoinformação para avaliação do processo de desertificação do sertão do Seridó (RN/PB)" financiado pela Embrapa e "Adaptação de uma metodologia para a avaliação e o monitoramento de fragmentos de florestas com base na análise de misturas espectrais" financiado pelo CNPq.

Referências Bibliográficas

Araújo, E.L.; Ferraz, E.M.N. **Processos ecológicos mantenedores da diversidade vegetal na caatinga: estado atual do conhecimento**. V. Claudino-Sales (ed.). Ecossistemas brasileiros: manejo e conservação. Fortaleza, Expressão Gráfica e Editora, p. 115-128, 2003.

Brzeziecki, B.; Kienast, F.; Wildi, O. A simulated map of the potential natural forest vegetation of Switzerland. **Journal of Vegetation Science**, Grangã, n.4, p. 499-508, 1993.

Costa, T.C.C.; Accioly, L.J.O.; Oliveira, M.A.J.; Burgos, N. & Silva, F.H.B.B. Phytomass mapping of the "Seridó caatinga" vegetation by the plant area and the normalized difference vegetation indices. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, p. 707-715, 2002.

Eastman, J.R., Jin, W., Kyem, P.A.K., Toledano, J. Raster procedures for multi-criteria, multi-objective decisions. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 61, n.5, p.539-547, 1995.

Fischer, H.S. Simulating the distribution of plant communities in an Alpine landscape. **Coenoses**, v.5, n.1, p. 37-43, 1990.

Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE, 1992. 92 p.

Kazmierczak, M.L. Desenvolvimento de um algoritmo para modelar a susceptibilidade de desertificação no nordeste do Brasil: Algoritmo ISD[NEB] In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO-SBSR, 9., 1998, Santos. **Anais...**São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1998. (CD-ROM).

Leal, I. R.; Silva, J. M.; Tabarelli, M.; Lacher Jr.; T. E. Mudando o curso da conservação da biodiversidade na Caatinga do Nordeste do Brasil. In: **Conservação Internacional do Brasil** (ed.). Megadiversidade. Belo Horizonte, 2005. Vol. 1, p. 139-146. Disponível em: http://www.conservacao.org/publicacoes/files/19_Leal_et_al.pdf

Machado, I.C.; Lopes, A.V. A polinização em ecossistemas de Pernambuco: uma revisão do estado atual do conhecimento. In: M. Tabarelli; J.M.C. Silva (orgs.). **Diagnóstico da Biodiversidade de Pernambuco**. Recife: Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio-Ambiente, Fundação Joaquim Nabuco e Editora Massangana. p. 583-596, 2002.

NASA homepage <https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/mrsid.pl> Acesso em 01 de março de 2005.

Oliveira, L. M. T. **Estudo das regiões fitoecológicas brasileiras pela FAPAR/NDVI e relações com séries temporais de dados pluviométricos**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 208 p. 2008.

Pebesma, E. J. **Gstat, a program for geostatistical modelling, prediction and simulation**. Copyright 1992,1998 ©

Sampaio, E.V.S.B. 2003. Caracterização da caatinga e fatores ambientais que afetam a ecologia das plantas lenhosas. p. 129-142. In: V.C. Sales (ed.). Ecossistemas brasileiros: manejo e conservação. Fortaleza, Expressão Gráfica e Editora.

Siegel, S. **Nonparametric statistics for the behavioral sciences**. New York: McGraw-Hill, 1956. 350 p.

Stöckli, R., 2004, **Modeling and observation of seasonal land – surface heat and water exchanges at local and catchments scales over Europe**. Thesis (Doctor in Natural Sciences). Swiss Federal Institute of Technology, ETH. 155p.

Triantaphyllou, E.; Mann, S.H. A computational evaluation of the original and revised analytic hierarchy process. **Computers and industrial engineering**. V. 26, n.3, p.609-618,1994.