

ESTIMATIVA DA DIVERSIDADE FLORÍSTICA DA CAATINGA POR MEIO DA ANÁLISE MULTICRITÉRIO

THOMAZ CORRÊA E CASTRO DA COSTA¹
NESTOR CORBINIANO DE SOUZA NETO²
MARIA APARECIDA JOSÉ DE OLIVEIRA²
LUCIANO JOSÉ DE OLIVEIRA ACCIOLY²

¹EMBRAPA SOLOS

R. Jardim Botânico, 1024-Jardim Botânico CEP 22460-001 Rio de Janeiro-RJ, Brasil
thomaz@cnps.embrapa.br

²EMBRAPA SOLOS-UEP-Recife

R. Antônio Falcão, 402 CEP 51020-240 Recife-PE, Brasil
ncorbiniano@cnps.embrapa.br
Cidinha100@uol.com.br
oaccioly@cnps.embrapa.br

Abstract. The environmental conditions and the anthropic pressure interfere in the biodiversity. In this work we construct the hypothesis of the anthropic interference on species diversity in the caatinga biome and a methodological approach is presented for predicting the species diversity using the environmental and anthropic factors. The correlation of the diversity index with the number of shrub-tree species of the caatinga was not significant.

Keywords: biodiversity, AHP, semi-arid, anthropism.

1. Introdução

As condições ambientais são responsáveis pelo estabelecimento da biodiversidade potencial. Temperaturas médias favorecem a ocorrência de um maior número de espécies do que temperaturas extremas, assim como precipitações elevadas e bem distribuídas, e condições edáficas como boa fertilidade, maior teor de matéria orgânica e profundidade do solo. Assim, a geomorfologia, o solo e o clima determinam as condições naturais para a ocorrência de animais e plantas.

Uma experiência para simular a vegetação natural potencial foi desenvolvida por Brzeziecki et al. (1993), com fatores ambientais (temperatura, precipitação, elevação, declividade, aspecto, parâmetros físicos e Ph de solo), implementada em um SIG. O modelo utilizado foi o do teorema de Bayes, em que a tipologia vegetal de maior evidência é selecionada, de acordo com as características ambientais pertinentes.

Em contraposição, os fatores antrópicos exercem uma pressão sobre a diversidade vegetal, alterando sua composição e reduzindo sua abrangência. No ambiente urbano esta redução é drástica, e no ambiente rural ocorre a redução espacial, na forma de mosaico, com a perda de diversidade nos fragmentos de vegetação remanescente ou regenerada, devido a ação da vizinhança do uso da terra.

Tendo como enfoque o semi-árido nordestino, o desmatamento da caatinga hiperxerófila, para atender a demanda de lenha principalmente, reduz a diversidade florística, resultando na quebra do equilíbrio entre espécies, exposição do solo e perda do banco de sementes. A criação

de caprinos e ovinos é outra atividade de grande impacto sobre a biodiversidade, por geralmente exceder a capacidade suporte, prejudicando, principalmente, a regeneração de algumas espécies.

Fischer (1990), com o objetivo de simular a distribuição atual de comunidades de plantas, incorporou ao modelo probabilístico a variável “uso da terra”. A influência antrópica na degradação do ambiente foi abordada também para modelar a susceptibilidade a desertificação (Kazmierczak, 1998), em que foi utilizada uma função linear de fatores ambientais e antrópicos, a partir da transformação destas variáveis em notas, conforme a contribuição ou não para a susceptibilidade a desertificação.

Tendo como foco a biodiversidade, um indicador possível é a florística arbóreo-arbustiva, que pode ser extraída de inventários fitossociológicos divulgados em literatura. Assim, levantamos a hipótese de interação de dois grupos de fatores interferindo na diversidade de espécies arbóreo-arbustivas: as condições naturais e o antropismo.

Assim, este trabalho teve como objetivo gerar um mapa de favorecimento/pressão à diversidade florística da Caatinga do semi-árido, a partir de fatores ambientais (precipitação, solo e relevo), extraídos do Zoneamento Agroecológico do Nordeste (Embrapa Solos, 2000), e antrópicos, relacionados ao uso da terra (agricultura, pecuária e extração vegetal), extraídos do censo agropecuário de 1996 da FIBGE, disponível em <http://www.sidra.ibge.gov.br>.

2. Material e Métodos

A área de abrangência foi a região do semi-árido nordestino, incluindo o Norte de Minas.

A técnica escolhida para medir os efeitos dos fatores ambientais e antrópicos sobre a diversidade florística, permitindo uma modelagem espacial, foi a análise multicritério (MCE) associada a AHP (Analytical Hierarchy Process) (Eastman et al., 1995; Triantaphyllou E Mann, 1994), utilizando o software IDRISI 3.2.

Para gerar o mapa de favorecimento à diversidade florística da Caatinga do semi-árido nordestino por meio da análise multicritério, foram extraídos dados ambientais das unidades geoambientais (UG's), do Zoneamento Agroecológico do Nordeste-ZANE. Os dados de atividade antrópica foram extraídos por município, da Base de Dados SIDRA da FIBGE.

A verdade de campo para validação, o número de espécies (NE), foi obtida dos inventários fitossociológicos realizados na caatinga. Inventários fitossociológicos foram realizados na Caatinga, com finalidade de estabelecer relações entre solo e planta (Santos, 1987; Silva, 1991; Rodal, 1992), de conhecimento florístico (Araújo et al., 1995), de comparação entre levantamentos florísticos na Caatinga, segundo condições edafoclimáticas (Figueiredo, 1987; Rodal, 1992, Alcoforado Filho, 1993), e de inventariar as caatingas arbustivo-arbóreas, de acordo com diretrizes da SUDENE (Tavares et al., 1970, 1974).

2.1. Fatores Ambientais

Os dados extraídos do ZANE foram precipitação anual (mm), Classes de solo, altitude, em metros, e tipos de relevo das UG's. Como classes de solo e tipos de relevo não são variáveis quantitativas, atribuímos notas de favorecimento a diversidade florística, utilizando a experiência de pesquisadores da Embrapa Solos UEP-Recife, na correlação entre características das classes de solo e o favorecimento à diversidade florística. Os atributos relativos ao solo e ao relevo para a unidade geoambiental, que fazem parte da estrutura de dados do ZANE, são organizados em quatro hierarquias para solo, e duas para relevo subordinadas a classe de solo, conforme as abrangências da unidade de mapeamento de solo e a predominância do relevo na unidade geoambiental.

Assim, a transformação das variáveis “classe de solo” e “tipo de relevo” para variáveis quantitativas, executada pelos especialistas, de acordo com o objetivo de favorecimento para a diversidade florística arbóreo-arbustiva da Caatinga, produziu atributos que foram integrados em dois fatores, da seguinte forma:

$$\text{SOLO} = 4 * \text{CLSOLOPRIM} + 3 * \text{CLSOLOSECUN} + 2 * \text{CLSOLOTERC} + 1 * \text{CLSOLOQUAT}$$

$$\text{RELEVO} = 4 * (2 * \text{RELEVPRIM} + \text{RELEVSECUN}) + 3 * (2 * \text{RELEVPRIM} + \text{RELEVSECUN}) + 2 * (2 * \text{RELEVPRIM} + \text{RELEVSECUN}) + 1 * (2 * \text{RELEVPRIM} + \text{RELEVSECUN})$$

2.2. Fatores Antrópicos

Os atributos antrópicos extraídos das tabelas do SIDRA/IBGE e uniformizados pelas respectivas áreas dos municípios foram: Arados por km²; Outros implementos por km²; Tratores por km²; Pessoal ocupado na zona rural por ha; Extração de madeira em m³ por ha; Extração de lenha em m³ por ha; Produção de carvão vegetal em tonelada por ha; Caprinos por ha; Ovinos por ha; Bovinos por ha; Área de mata e floresta natural por área do município; Área de pastagem plantada por área do município; Área de pastagem natural por área do município; Área de lavoura temporária em descanso por área do município; Área de lavoura temporária por área do município; e Área de lavoura permanente por área do município.

A seleção dos fatores com relação de causa na diversidade florística foi realizada com base na correlação de Pearson entre o número de espécies (NE), e os fatores ambientais e antrópicos, apoiando-se também no conhecimento do uso da terra predominante na região.

2.3. Análise Multicritério

O procedimento utilizado para avaliação multicritério foi o da combinação linear de pesos (Voogd, 1983, citado por Eastman et al., 1995), em que fatores (x_i) são ponderados por pesos (w_i), conforme seu grau de importância, e que são integrados, gerando um resultado do grau de favorecimento para um determinado objetivo (S), dado pela expressão:

$$S = \sum w_i * x_i$$

Os fatores devem ser transformados de acordo com a natureza de sua distribuição em relação ao objetivo (S), para que os mesmos sejam correlacionados positivamente com o favorecimento do objetivo pretendido. Por causa das diferentes escalas em que cada fator é mensurado, é necessária também a padronização ou normalização destes fatores para uma mesma amplitude.

Após a triagem para escolha dos fatores, a etapa seqüente foi a sua transformação e normalização. Precipitação anual foi apenas normalizada, pois sua relação é diretamente proporcional ao favorecimento à diversidade florística, assim como SOLO. Já os atributos antrópicos sofreram transformação linear inversa, pois quanto maior a intensidade, menos favorável é para a diversidade. Todos os atributos foram então reescalados para o formato byte (0-255), para processamento da Análise Multicritério.

Uma etapa preliminar a esta análise é atribuir diferentes pesos aos fatores, de acordo com seu grau de influência ou efeito na diversidade florística. O algoritmo que auxilia nesta atribuição é conhecido como AHP (Analytical Hierarchy Process), permitindo uma convergência de peso para cada fator, com base na ponderação de fatores dois a dois, gerando assim um índice de consistência, aceitável ou não conforme os pesos atribuídos par a par. Estes pesos foram atribuídos de acordo com os resultados de correlação entre o número de espécies e os fatores causais.

A MCE foi executada para gerar um mapa de favorecimento à diversidade florística, que validado com os dados de NE, seria calibrado por função de regressão para estimar o número de espécies atual para a caatinga do semi-árido. O fluxograma que esquematiza as operações descritas na metodologia é apresentado na **Figura 1**.

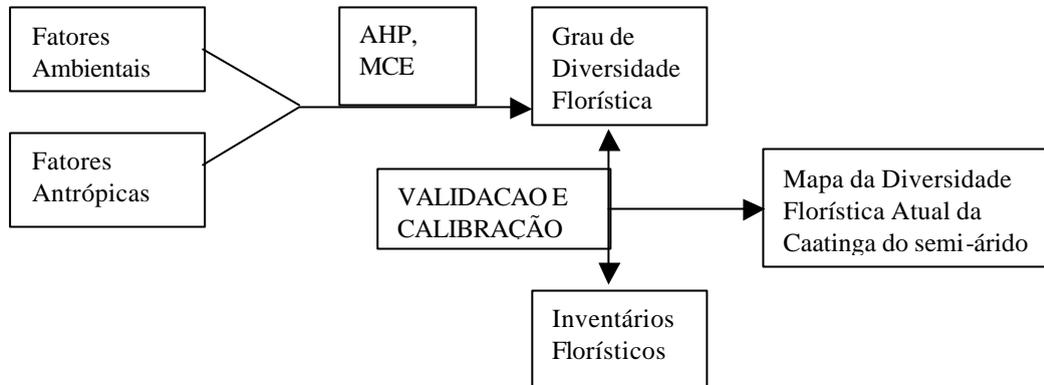


Figura 1. Fluxograma de Operações para o Mapa de Diversidade Florística da Caatinga do Semi-árido

3. Resultados e Discussão

Ao relacionar o número de espécies arbóreo-arbustivas da caatinga (NE) dos inventários florísticos com a razão entre a precipitação anual (P, mm) e a temperatura média anual (T, °C), levantamos a hipótese de interação de dois grupos de fatores interferindo na diversidade de espécies arbóreo-arbustivas: as condições naturais e o antropismo, conforme a **Figura 2**.

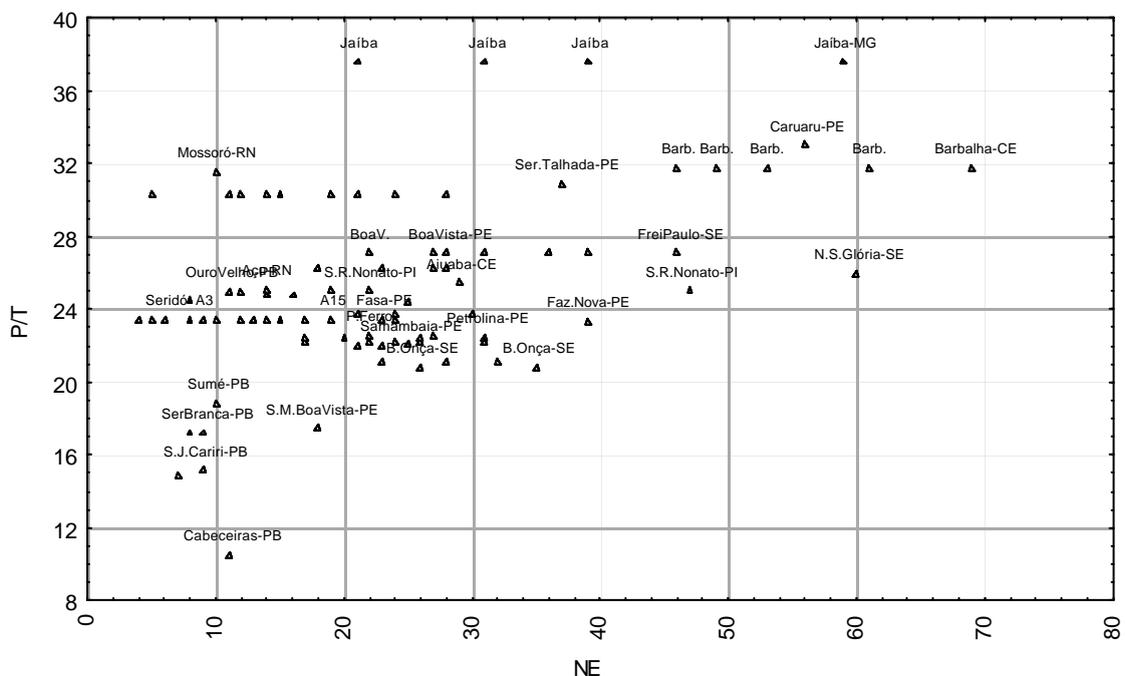


Figura 2. Scattergrama entre a razão "Precipitação Anual/Temperatura Média Anual" (P/T) e o Número de Espécies (NE) obtido de Inventários Fitossociológicos.

Imaginando uma linha divisória com inclinação de 45⁰, verificamos que, na região superior esquerda do gráfico, ocorrem diversos pontos, que significam a ocorrência de uma baixa diversidade florística para condições favoráveis de precipitação e temperatura, o que não ocorre na região inferior direita do gráfico. Em condições favoráveis alguns inventários registraram, para a mesma região, como o Seridó, Jaíba, Barbalha, dentre outros, poucas espécies. Esta tendência indica que o componente antrópico pode estar influenciando na redução da diversidade florística em regiões naturalmente favoráveis.

As correlações entre as variáveis ambientais e antrópicas e o número de espécies (NE), são apresentadas na **Tabela 1**, assim como os fatores selecionados (em negrito). Verificamos a baixa correlação no geral. Os fatores selecionados (em negrito), preservaram relação de causa, apesar da baixa correlação, e representam os principais efeitos do uso da terra sobre a diversidade florística, pois Bovinocultura, extração de madeira em tora, e produção de carvão vegetal não são atividades predominantes no semi-árido. Pessoal ocupado não se relaciona com a diversidade, mas sim com a distância do litoral, área de mata e floresta natural é uma informação instável devido ao fato de ser obtida via questionário, e atividade agrícola no semi-árido é incipiente em áreas não irrigadas.

Tabela 1. Fatores Ambientais e Antrópicos e suas respectivas correlações com o número de espécies (NE)

Fatores	r (Variável x NE)	Fatores	r (Variável x NE)
precipitação anual (mm)	0,23	Produção de carvão vegetal (ton/ha)	0,01
solo (notas)	0,08	Caprinos/ha	-0,08
Altitude (m)	0,06	Ovinos/ha	-0,52
Relevo (notas)	-0,08	Bovinos/ha	0,12
Arados/km ²	0,35	Área de mata e floresta natural por área do município	-0,41
Outros implementos/km ²	0,126	Área de pastagem plantada por área do município	0,46
Tratores/km ²	-0,08	Área de pastagem natural por área do município	-0,19
Pessoal ocupado na zona rural/ha	0,21	Área de lavoura temporária em descanso por área do município	0,06
Extração de madeira (m ³ /ha)	0,07	Área de lavoura temporária por área do município	0,17
Extração de lenha (m³/ha)	-0,02	Área de lavoura permanente por área do município.	-0,10

Na validação do mapa de um índice de diversidade florística da caatinga (**Figura 3**), com o número de espécies (NE) a correlação obtida foi de 0,20, não significativa. Este resultado inviabilizou a etapa final da metodologia, que consistia na geração do mapa de NE estimado para o semi-árido nordestino, por meio de uma função de regressão com o índice de diversidade.

Uma hipótese para os resultados não esperados é justificada pela própria natureza da verdade de campo, o número de espécies. Considerando as diferentes finalidades dos inventários, a maioria seguiu o objetivo de amostrar fragmentos não perturbados, com exceção dos inventários para aferir níveis de degradação, como o do Seridó-RN, e os inventários para levantamento madeireiro, como os conduzidos por Tavares et al. (1970, 1974).

Considerando desta forma, a maioria dos inventários fitossociológicos podem ter amostrado exceções não representativas de matas remanescentes perturbadas pelas atividades antrópicas, no entorno. Supõe-se que a amostra para validação e calibração disponível não seja adequada para este propósito. Assim, não invalidamos a construção do mapa do Índice de Diversidade Florística no Semi-árido nordestino, conforme apresentado na **Figura 3**, pois é resultado do processamento de favorecimento à diversidade florística pelos fatores ambientais, e da pressão antrópica, registrada nos censos da FIBGE, devendo-se utilizar novas fontes para validação do resultado.

Avaliando-se visualmente a **Figura 3**, constatamos o resultado esperado de maior índice de diversidade no sul do Ceará, onde encontra-se a Chapada do Araripe, no interior da Bahia, na região da Chapada da Diamantina e no Norte de Minas. A tipologia vegetal ocorrente nestes locais não é estritamente de Caatinga, encontrando-se até a formação “Floresta Subperenifolia”, pois as condições climáticas são favoráveis, devido a altitude.

Menores índices de diversidade florística ocorreram no Sudoeste do Estado de Pernambuco, na Paraíba e no Nordeste da Bahia.

4. Considerações Finais

A modelagem da diversidade florística atual 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. Distorções neste processo, como a qualidade e a densidade espacial da informação devem ser verificadas, visando uma melhor correlação entre os dados ambientais. Quanto as informações socio-econômicas, temos como sugestão para o futuro, que os dados estejam disponibilizados por distrito ou até mesmo por setor censitário, possibilitando melhor acurácia espacial.

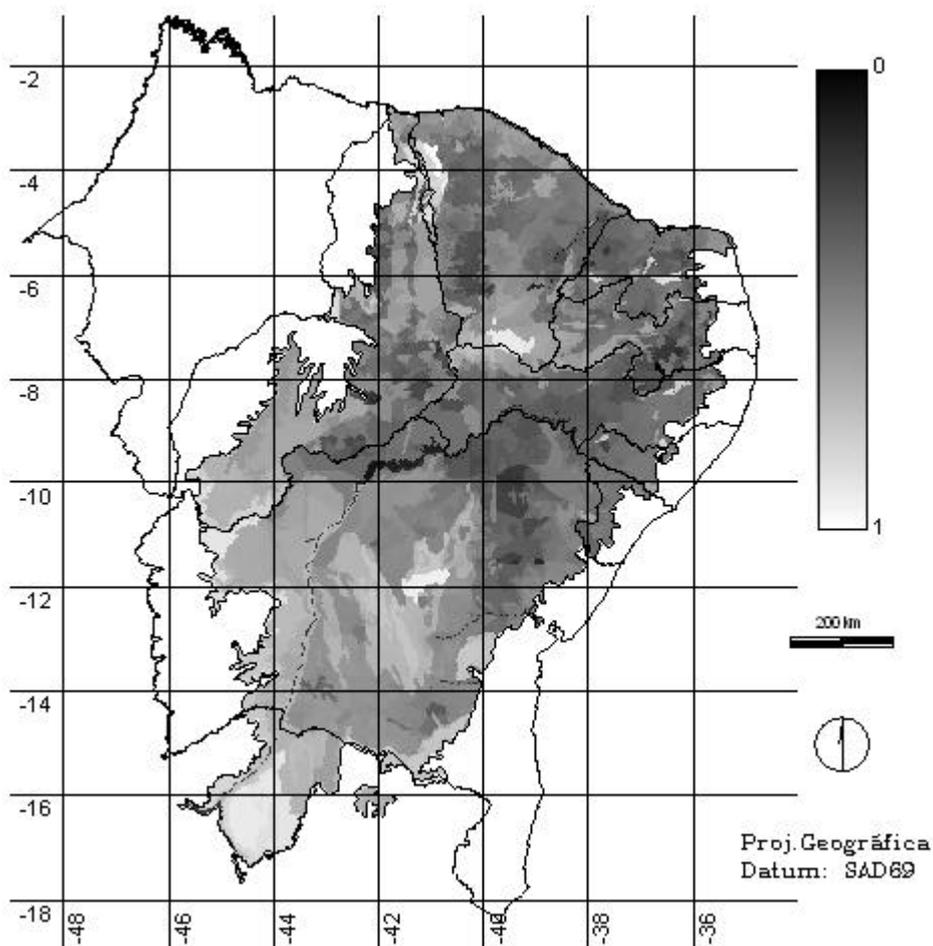


Figura 3. Mapa do índice de diversidade florística atual para o Semi-árido nordestino

5. Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pelo apoio dado a esta pesquisa, e aos pesquisadores da Embrapa Solos UEP-Recife, Ademar Barros da Silva, Antônio Cabral, Fernando Barreto Rodrigues e Silva, Flavio Hugo Barreto da Silva, Jose Carlos Pereira dos Santos, Nivaldo Burgos, Osvaldo Ferreira Lopes e Paulo Cardoso De Lima, pela contribuição na quantificação de variáveis qualitativas usadas no modelo.

6. Referencias

ALCOFORADO FILHO, F.G. **Composição florística e fitossociologia de uma área de Caatinga arbórea no Município de Caruaru, PE** 1993. Dissertação (Mestrado em em Botânica)-Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

ARAÚJO, E.L.; SAMPAIO, E.V.S.B.; RODAL, M.J.N. Composição florística e fitossociologia de três áreas de Caatinga de Pernambuco. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 55, n.4, p.595-607, 1995.

BRZEZIECKI, B.; KIENAST, F.; WILDI, O. A simulated map of the potential natural forest vegetation of Switzerland. **Journal of vegetation Science**. n.4, p. 499-508, 1993.

EASTMAN, J.R., JIN, W., KYEM, P.A.K., TOLEDANO, J. Raster procedures for multi-criteria, multi-objective decisions. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 61, n.5, p.539-547, 1995.

EMBRAPA SOLOS. **Zoneamento agroecológico do Nordeste do Brasil: diagnóstico e prognóstico**. Recife: Embrapa Solos - Escritório Regional de Pesquisa e Desenvolvimento Nordeste; Petrolina: Embrapa Semi Arido, 2000. 1 CD-ROM. (Embrapa Solos. Documentos, 14).

FIGUEIREDO, M.A. A microrregião salineira Norte-Rio Grandense no domínio das Caatingas. **Coleção Mossoroense**. Mossoró, 1987.

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

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.

Repositório da UOLib:

<sid.inpe.br/deise/1999/02.08.09.43>. Disponível em:

<http://lagavulin.ltid.inpe.br:1905/col/dpi.inpe.br/lise/2002/03.25.17.22.28/doc/mirror.cgi>

RODAL, M.J.N. **Fitosociologia da vegetação arbustivo-arbórea em quatro áreas de Caatinga em Pernambuco**. 1992. Tese (Doutorado em Ciências)-Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

SANTOS, M.F.A.V. **Características dos solos e da vegetação em sete áreas de Parnamirim-Pernambuco**. 1987. Dissertação (Mestrado em Botânica)-Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

SILVA, I.H. **Correlações entre a vegetação e tipos distintos de solos do Baixo de Irecê, Bahia**. 1991. Dissertação (Mestrado em Botânica)-Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

TAVARES, S.; PAIVA, F.A.F.; SOUZA TAVARES, E.J.; CARVALHO, G.H.; LIMA, J.L.S. Inventário florestal de Pernambuco. Estudo preliminar das matas remanescentes dos Municípios de Ouricuri, Bodocó, Santa Maria da Boa Vista e Petrolina. **Boletim de Recursos Naturais da SUDENE**, Recife, v.8, p. 149-194, 1970.

TAVARES, S.; PAIVA, F.A.F.; SOUZA TAVARES, E.J.; LIMA, J.L.S. Inventário florestal do Ceará. II-Estudo preliminar das matas remanescentes do Município de Tauá. **Boletim de Recursos Naturais da SUDENE**, Recife v.12, n.2, p.5-19, 1974.

TAVARES, S.; PAIVA, F.A.F.; SOUZA TAVARES, E.J.; LIMA, J.L.S. Inventário florestal do Ceará. III-Estudo preliminar das matas remanescentes do Município de Barbalha. **Boletim de Recursos Naturais da SUDENE**, Recife v.12, n.2, p. 20-46, 1974.

TRIANANTAPHYLLOU, 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.