USO DE GEOTECNOLOGIAS PARA O MAPEAMENTO INTEGRADO DE PAISAGENS NO SERTÃO PERNAMBUCANO (NE-BRASIL)

Marcos Wellausen Dias de FREITAS[1]
Vitor Celso de CARVALHO[2]

Resumo

No estudo do processo de desertificação é fundamental o uso de abordagens integradas da paisagem com a utilização conjunta de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e dados de Sensoriamento Remoto No contexto do sensoriamento remoto foram utilizadas imagens digitais CBERS 2 – CCD sobretudo na classificação da dinâmica da cobertura vegetal e dados SRTM no Modelo Digital de Elevação (MDE) e no mapeamento geomorfológico da área. O geoprocessamento foi utilizado principalmente para os mapeamentos integrados da paisagem, com a delimitação dos geossistemas e das geofácies. Foram, ainda, realizadas as análises integradas dos resultados com ênfase nos dados de campo, a partir da análise de agrupamentos. O mapeamento das unidades geossistêmicas foi gerado com ênfase nos aspectos físicos, ecológicos e antrópicos. A delimitação das geofácies foi baseada nos critérios da dinâmica da cobertura vegetal e da antropização das unidades de paisagem. A análise de agrupamento revelou alguns padrões que remetem a relações envolvendo a integração de variáveis paisagísticas com a distribuição fitogeográfica da área. Por fim, este trabalho avançou mais um passo na direção da aplicação mais efetiva dos produtos e metodologias de sensoriamento remoto e SIG em estudos paisagísticos e de desertificação com uma abordagem complexa e integrada.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto. Geoprocessamento. Ecologia da paisagem. Geossistemas.

Abstract

Geotechnologies uses in landscape integrated mapping at the "Sertão Pernambucano" (Northeast of Brasil).

The desertification problem presents as a research fundamental basis the integrated environmental studies with the use of Geographic Information Systems (GIS) and Remote Sensing. In the methodological approaches created for the integrated environmental studies can be highlighted the Landscape Ecology. The methodological approach had as principal steps: the digital image processing of CBERS 2 – CCD; the Digital Elevation Model (DEM) based in SRTM and the geomorphological mapping; the dynamic land cover classification; the landscape integrated mapping, with the delimitation of geosystems and geofacies; the evaluation and validation of the results at field work with the integrated results analysis using the cluster analysis. The landscape or geosystemic units mapped were based in the landscape hierarchy, with the physical, ecological and social description of geomorphic models and geosystems. The geofacies delimitation was based in the land cover dynamics and anthropization of landscape units. The Cluster Analysis showed some phytogeographic patterns of the area related with geomorphological, pedological and integrated variables. Finally, this study showed the potentiality of the application of products and methodologies of remote sensing and GIS in a complex and integrated approach on landscape studies.

Key words: Remote sensing. Geoprocessing. Landscape ecology. Geosystems.

[1] Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais; Mestre em Sensoriamento Remoto, Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil; E-mail: marcoswfreitas@gmail.com

[2] Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais; Pesquisador Sênior; Caixa Postal 515 - 12201-970 – São José dos Campos - SP, Brasil; E-mail: vitor@dsr.inpe.br

INTRODUÇÃO

A abordagem ambiental integrada, sobretudo em nível de geossistemas e geofácies (nível de observação local), é uma necessidade que se impõe à conservação e ao uso sustentável do meio ambiente. Ela está diretamente relacionada com as pesquisas e ações de planejamento e gestão ambientais. Muitos esforços neste sentido já foram realizados em níveis de observação regionais, como o Zoneamento Agroecológico do Nordeste brasileiro - ZANE (SILVA et al., 2000) e o Zoneamento Ecológico-Econômico – ZEE (BRASIL, 2004). Entretanto, o Brasil ainda carece de estudos semidetalhados deste tipo, sobretudo no bioma Caatinga do domínio semi-árido brasileiro. Único ambiente nacional submetido ao processo de desertificação, que leva à perda de terras cultiváveis pela degradação de terras secas.

Dentre as abordagens metodológicas desenvolvidas para estudos integrados da paisagem, pode-se destacar a metodologia da escola francesa da Ecologia da Paisagem, especialmente a proposta geossistêmica por Bertrand e Bertrand (2002). Esta se destaca pela busca de uma visão sistêmica interdisciplinar preocupada em captar as interações entre o potencial ecológico (combinação de variáveis do contexto físico), a exploração biológica (representando as comunidades bióticas ligadas aos primeiros) e a utilização antrópica (o impacto das atividades antrópicas sobre a combinação dos fatores físicos e ecológicos). No estudo desta problemática, é fundamental o uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e Sensoriamento Remoto, que ainda carecem de estudos mais detalhados de avaliação e desenvolvimento metodológico.

Neste contexto foi proposto este trabalho com o objetivo de avaliar, por intermédio de uma análise holística de uma paisagem semi-árida típica do bioma Caatinga, o uso integrado de imagens CBERS 2 - CCD (Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres) e dados topográficos da missão SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*), manipulados em Sistemas de Informações Geográficas – SIG, e a abordagem geossistêmica da paisagem em nível local (Escalas variáveis de 1:100.000 a 1:50.000) para a identificação e caracterização dos geossistemas e geofácies da área-teste de Quixaba, área-core do bioma no Sertão de Pernambuco (Brasil).

ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo corresponde a um quadrado de aproximadamente 190 km², definido cartograficamente pelas coordenadas geográficas de 8º00'00" a 8º07'30" de latitude sul e de 39º45'00'' a 39º53'30'' de longitude oeste. Ela esta situada numa posição central no interior da região Nordeste do Brasil e do seu bioma Caatinga, mais especificamente ao norte da Ecorregião da Depressão Sertaneja Meridional, uma das mais típicas deste bioma, no sertão centro-oeste do Estado de Pernambuco, como pode ser observado na figura 1. Localmente ela abrange pequenas áreas dos territórios dos municípios de Ouricuri, Parnamirim e Bodocó, inseridas na microbacia hidrográfica do rio Brígida, uma sub-bacia do médio vale do rio São Francisco. Foi denominada de Quixaba, como referência ao povoado deste nome situado na parte oeste no Município de Parnamirim, por ser o ponto de maior concentração populacional da área.

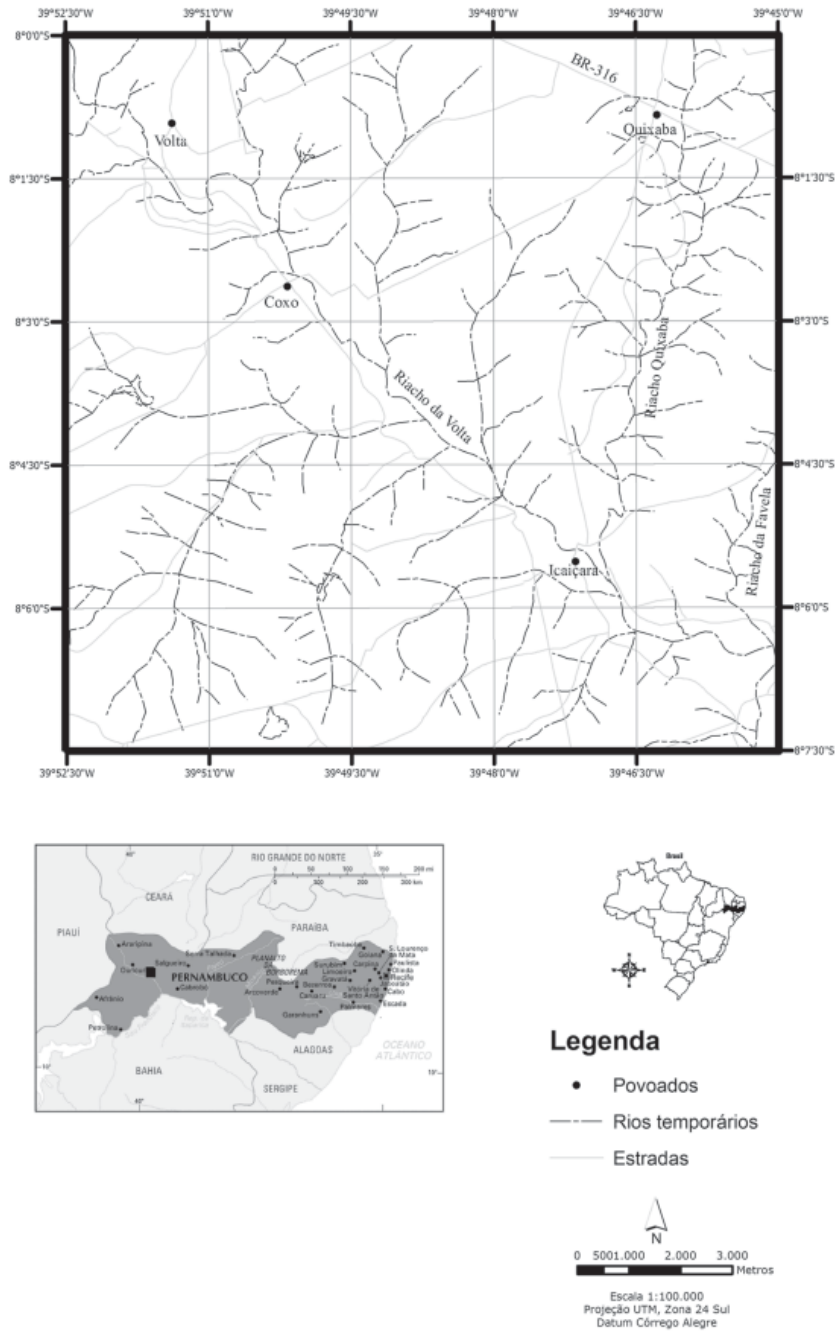

Figura 1 – Localização da área de estudo

MATERIAIS E MÉTODOS

Materiais

O *software* Spring 4.2 foi utilizado para a montagem do banco de dados principal do trabalho, pois permite uma boa organização dos dados e a continuação da pesquisa por outros usuários ou pesquisadores, sobretudo nacionais. Outros SIG como o Envi 4.0, Idrisi Kilimanjaro e Erdas 8.4 foram utilizados de forma conjugada e complementar, em operações de geoprocessamento e processamento digital de imagens não desenvolvidas no *software* acima mencionado.

Como base cartográfica utilizou-se: Carta topográfica de Parnamirim-PE (IBGE - MIR 1362) na escala 1:100.000 com eqüidistância entre as curvas de nível de 50 metros; Carta do levantamento de reconhecimento de baixa intensidade dos solos (Folha Parnamirim SC-24-C-I - Zoneamento Agro-ecológico do Estado de Pernambuco, 1997) na escala 1:100.000; Carta dos tipos estruturais da vegetação de caatinga da área de Quixaba para o ano de 1983 (CARVALHO, 1986) na escala 1:100.000; Esboço morfopedológico de Ouricuri-PE (EMBRAPA-ORSTOM, 1986) na escala aproximada de 1:70.000; e Mapa geológico do Estado de Pernambuco (CPRM, 2001) na escala 1:500.000.

Os produtos de sensoriamento remoto explorados neste trabalho foram: imagem CBERS 2 – CCD (Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres), cena 151/109, com data de 31/08/2004, resolução espacial de 20m e espectral de 4 bandas representando o azul (0,45 – 0,52 µm), verde (0,52 – 0,59 µm), vermelho (0,63 – 0,69) e infravermelho próximo (0,77 – 0,89 µm); e dados topográficos da missão SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*), que permitiram a elaboração de Modelo Digital de Elevação (MDE) com resolução espacial original de 90m.

Metodologia

Os procedimentos metodológicos utilizados podem ser divididos em cinco fases complementares principais, conforme apresentados no texto a seguir.

1ª Fase: consistiu na montagem do banco de dados geográfico, em ambiente computacional Spring 4.2, reunindo as informações temáticas já existentes. Os dados foram devidamente organizados em planos de informação temáticos, numéricos, imagens e cadastrais, além de georreferenciados no sistema de projeção UTM, Datum Córrego Alegre e Zona 24 Sul.

2ª Fase: aqui foi realizado o processamento digital de imagens CBERS 2 – CCD para geração de produtos que serviram de base para os mapeamentos temáticos e sintéticos adicionais, como a classificação e mapeamento da dinâmica da cobertura vegetal entre os anos de 1983 e 2004. Primeiramente, procedeu-se a pré-calibração dos dados CBERS 2-CCD foi realizado para um ajuste dos dados originais em relação ao georreferenciamento (polinômio de primeiro grau) e calibração atmosférica (subtração do pixel escuro), conforme recomendado por Salinero (2002). Utilizaram-se as técnicas de modelagem em sensoriamento remoto utilizadas do Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME), com o intuito de realçar classes de cobertura vegetal e uso do solo, e da Análise de Componentes Principais (ACP) para homogeneizar mosaicos paisagísticos existentes na área (SALINERO, 2002; MALDONADO, 2005; FREITAS, 2006). O mapeamento da dinâmica da cobertura vegetal e do uso do solo foi gerado através de um processo semi-automático e individualizado para cada classe de interesse. Este processo foi realizado com o uso de imagens CBERS 2-CCD e do mapeamento da cobertura vegetal da área de 1983 (CARVALHO, 1986). A classificação da cobertura vegetal foi realizada com diferentes procedimentos, conforme as clas-

ses de interesse, usando técnicas de segmentação, classificação não-supervisionada, além de edição topológica e matricial conforme apresentado em detalhes por Freitas (2006).

3ª Fase: teve como objetivo específico a geração do Modelo Digital de Elevação (MDE), de seus produtos derivados e do mapeamento geomorfológico da área. O MDE baseou-se nos dados topográficos do SRTM que sofreram os processos de correção de valores negativos e transformação da resolução original de aproximadamente 90 metros para resoluções mais finas através de tratamento geoestatístico (interpolação por krigagem), além de produtos derivados do MDE transformado (VALERIANO, 2004). Os produtos derivados principais do MDE foram hipsometria, declividade, orientação de vertentes, curvas de nível com intervalos de 10 metros, curvaturas horizontal e vertical. Em relação ao mapeamento geomorfológico foram delimitados os diferentes modelados morfológicos (de denudação planar e tabular) e os segmentos de vertente (topos convexizados, vertentes côncavo-convexas, patamares aplainados e patamares em rampa), e também a rede de drenagem. Ainda foram calculados aspectos morfométricos como declividade, amplitude altimétrica, amplitude interfluvial e densidade de drenagem (CREPANI et al., 2001).

4ª Fase: refere-se aos mapeamentos de cunho integrado, com a delimitação dos geossistemas e das geofácies através da integração de variáveis ambientais com o uso de ferramentas de geoprocessamento. O mapeamento dos geossistemas seguiu os princípios de Bertrand e Bertrand (2002), metodologia também adotada em outros estudos integrados da paisagem no domínio semi-árido brasileiro (MONTEIRO, 1988; CARVALHO; FREITAS, 2005) e que se caracteriza pela complexidade e integração no tratamento das variáveis ambientais. Dentre elas, passaram por processo de integração a geologia, a geomorfologia, a pedologia, a cobertura vegetal e o uso do solo, além da variável climática. A delimitação dos geossistemas envolveu a integração semi-automática dos dados cartográficos das diferentes variáveis ambientais mencionadas com o uso inicial de sobreposição automática de planos de informação e refinamento através de edições manuais baseadas na interpretação visual das composições coloridas R(B4)G(B3)B(B2) e R(CP3)G(CP2)B(B3); da imagem-fração vegetação fotossinteticamente ativa do CBERS 2 – CCD; do MDE; e outros produtos derivados do MDE, como a declividade e curvas de nível (FREITAS, 2006).

Os geossistemas delimitados anteriormente foram integrados com a classificação da dinâmica da cobertura vegetal, permitindo a subdivisão dos mesmos em nível de geofácies que caracterizam a dinâmica da paisagem pelos mosaicos com diferentes estágios sucessionais da cobertura vegetal (recuperação, degradação ou conservação) e pelas fácies culturais de cunho antrópico. Esta integração foi realizada através de operação pontual lógica (booleana) de álgebra de mapas que permite o cruzamento entre os planos de informação, sendo realizada por programação em LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico).

5ª Fase: esta fase envolveu a avaliação e validação com trabalho de campo dos resultados obtidos. Este levantamento de campo foi baseado em técnicas de amostragem já utilizadas tanto na área de estudo como em outras áreas do semi-árido brasileiro. Ela se baseia no uso combinado de técnicas de amostragem por transeção, por levantamentos fitofisionômicos e por pontos de observação (MALDONADO, 2005). Para a amostragem por transeção foram utilizadas planilhas de transectos em linha de 50 metros. Seu processamento permite a realização de diagramas com dados estruturais, fisionômicos, dinâmicos e florísticos referentes à cobertura vegetal, além de informações referentes aos indicadores de antropização, processos geomorfológicos e formação superficial (MALDONADO, 2005).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Banco de Dados Geográficos

O resultado da fase de organização das informações temáticas foi um banco de dados geográficos com os materiais cartográficos e produtos de sensoriamento remoto em formato digital apropriado. Estes foram hierarquizados, de acordo com as características dos dados, em planos de informação de acordo com as categorias do ambiente Spring (temático, imagem, numérico e cadastral), que apresenta arquitetura orientada a objetos (CÂMARA et al., 2001) que se mostrou compatível com estudos da paisagem de natureza integrada.

Mapeamento temático de base

As variáveis ambientais escolhidas neste estudo para integração na geração dos mapeamentos integrados da paisagem foram representadas em mapeamentos temáticos. Entre estes, destacam-se: o **mapeamento da dinâmica da cobertura vegetal e uso do solo** (Figura 2) gerado através do processamento digital de imagem CBERS 2-CCD (segunda fase metodológica); o **mapeamento geomorfológico** (Figura 3) baseado no MDE e produtos derivados do SRTM (terceira fase metodológica); o **mapeamento geológico** (Figura 4) e o **mapeamento pedológico** (Figura 5) gerados através do refinamento e ajuste, baseado na interpretação dos dados de sensoriamento remoto, de mapeamentos anteriormente existentes (EMBRAPA, 1997; CPRM, 2001).

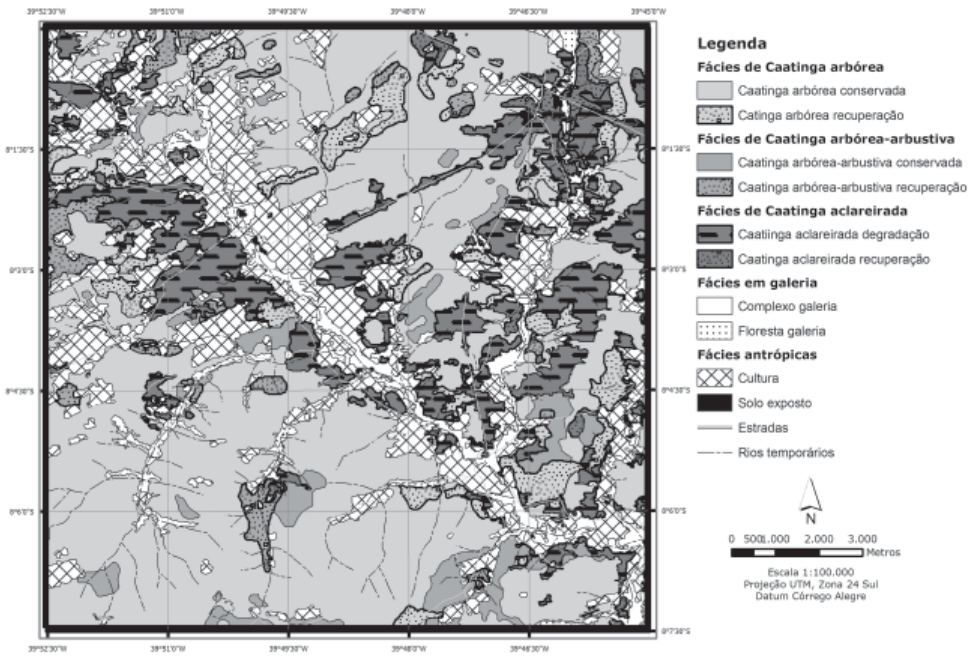

Figura 2 - Mapa da dinâmica da cobertura vegetal e uso do solo

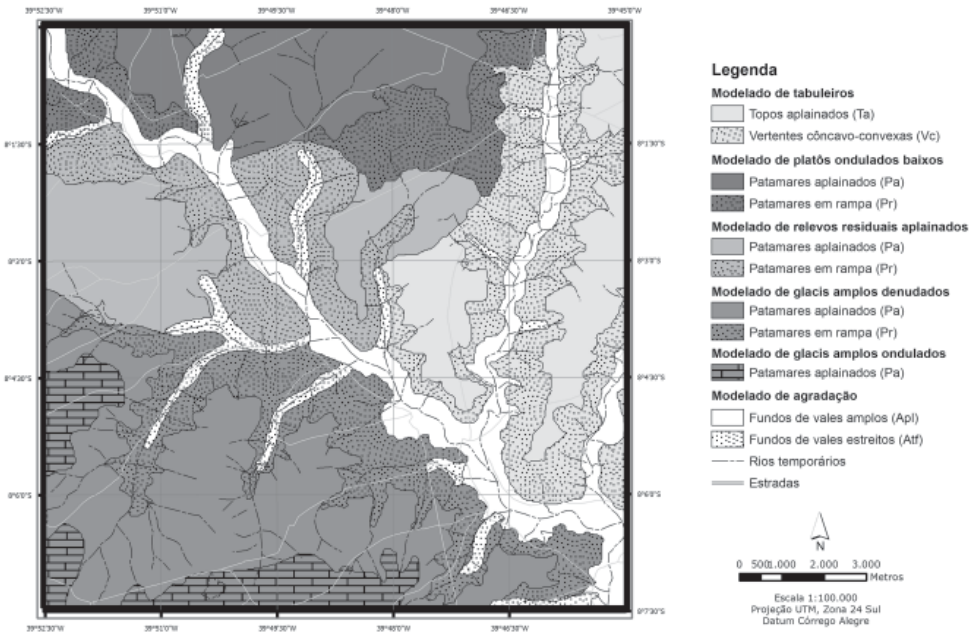

Figura 3 - Mapa geomorfológico

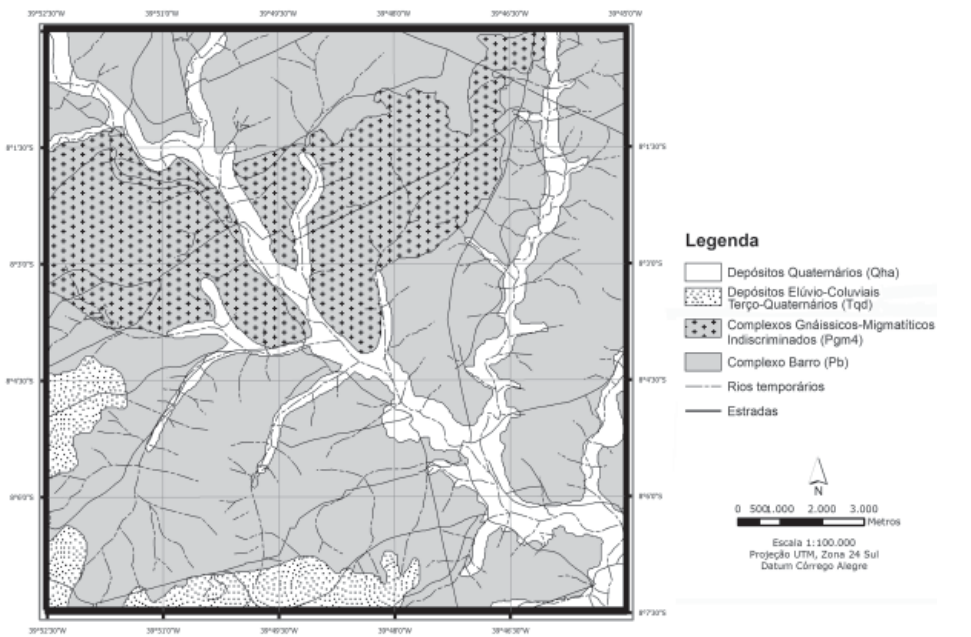

Figura 4 - Mapa geológico

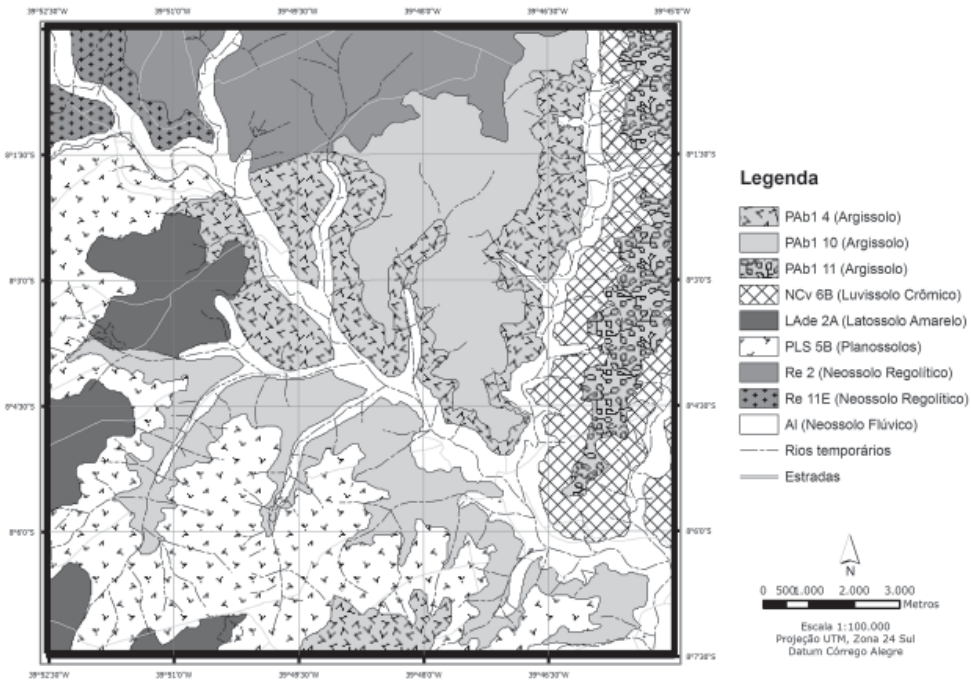

Figura 5 - Mapa pedológico

Mapeamento integrado da paisagem

Para reforçar o conceito de geossistema, cabe lembrar que o estudo integrado da paisagem na abordagem geossistêmica (BERTRAND; BERTRAND, 2002) busca a interpretação da interação entre variáveis físicas, ecológicas e sociais. Esta análise é baseada em três elementos fundamentais: a taxo-corologia com a hierarquização escalar da paisagem, a dinâmica dos geossistemas com a subdivisão baseada na teoria bioresistática de Erhart (1962 e 1966) e a tipologia com a classificação em nível de geofácies que representam a dinâmica sucessional da cobertura vegetal e a ocupação antrópica da paisagem.

A apresentação dos resultados do mapeamento integrado da paisagem foi relacionada com a definição dos mosaicos paisagísticos da área a partir de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. A caracterização das unidades de paisagem aqui apresentada salientou a hierarquização taxo-corológica em nível mais detalhado da paisagem, com a divisão hierárquica em modelados, geossistemas e geofácies. Os modelados correspondem às morfologias principais do relevo. Eles foram definidos pelo mapeamento geomorfológico com a caracterização do tipo de modelado, e identificados pelos seus tipos e características morfogenéticas e fisiográficas. Os geossistemas são resultados da divisão dos primeiros em compartimentos que apresentam certa homogeneidade em suas variáveis ambientais e formam um complexo geográfico. Já as geofácies correspondem à subdivisão dos geossistemas em unidades que representam a sua dinâmica, com a definição de áreas degradadas, em recuperação e conservadas, e também a antropização com as áreas de cultura formando agroecossistemas. (BERTRAND; BERTRAND, 2002)

Critérios de mapeamento dos modelados, geossistemas e geofácies

A apresentação das unidades geossistêmicas mapeadas se baseou na hierarquia paisagística da área através da descrição dos modelados e geossistemas com ênfase nos fatores paisagísticos de cunho físico (geologia, geomorfologia e pedologia), ecológico (cobertura vegetal) e antrópico (espaços de agropecuária). A caracterização e delimitação dos modelados e geossistemas seguiram os critérios qualitativos apontados na metodologia a partir das classes ou unidades geológicas, geomorfológicas e pedológicas em cada unidade de paisagem. Estes primeiros foram associados a critérios morfométricos ou quantitativos (orientação de vertentes, hipsometria, densidade de drenagem, amplitude interfluvial e declividade), em sua maioria divididos em classes representativas de qualidades, que foram classificados para fins comparativos na sua descrição. Entre os aspectos quantitativos está a hipsometria, onde as altitudes dos geossistemas foram classificadas localmente em baixas (380-400m), médias (400-450m) e altas (450-470m). A densidade de drenagem também foi dividida em baixa (0-1 km/km²), média (1-1,5 km/km²) e alta (acima de 1,5 km/km²). A amplitude interfluvial foi interpretada como curta (menor de 1200m), média (entre 1200 e 1500m) e longa (acima de 1500m). E, finalmente, a declividade foi relacionada como baixa (0 a 3,5%), média (0 a 8%) e alta (0 a 13%), relacionando com as maiores declividades que os geossistemas atingem, conforme adaptação às declividades predominantes da área de estudo.

As geofácies mapeadas retratam a dinâmica dos geossistemas delimitados através da distinção entre sistemas de evolução global da paisagem, segundo Bertrand e Bertrand (2002). Tais sistemas exprimem áreas com quatro diferentes características em relação à dinâmica da paisagem: a de equilíbrio ou conservação das características naturais; a de recuperação de áreas antropizadas através da sucessão secundária progressiva; a de degradação com rarefação ou regressão da cobertura vegetal; além de geofácies antrópicas de uso atual por práticas agropecuárias. Tais geofácies são descritas com ênfase nas características fitofisionômicas, florísticas e dinâmicas da cobertura vegetal e nos processos geomorfogenéticos da paisagem associados.

Ou seja, a delimitação das geofácies foi baseada nos critérios da dinâmica da cobertura vegetal e da antropização das unidades de paisagem em seus níveis hierárquicos mais elevados (modelados e geossistemas). Com isto, o principal elemento diferenciador das geofácies foi a cobertura vegetal e suas classes de mapeamento (critério qualitativo). Esta variável foi escolhida pela melhor interpretação do estado dinâmico das geofácies e do nível de antropização destas, possibilitando uma tipologia dos geossistemas.

Apresentação dos modelados e geossistemas

Foram identificados na área de estudo um total de seis modelados que foram subdivididos em dezenove geossistemas. A seguir esta divisão é apresentada com ênfase nos critérios de decisão tomados em sua delimitação que revelam as características principais destas unidades de paisagem. Os modelados foram denominados a partir do mapeamento geomorfológico da área, já os geossistemas foram identificados pela combinação de letras e dígitos romanos, como pode ser visto no seu mapeamento final (Figura 6). As características principais dos modelados e geossistemas da área de estudo podem ser vistas na Tabela 1 com informações a respeito da geologia, geomorfologia, pedologia e cobertura vegetal das unidades de paisagem.

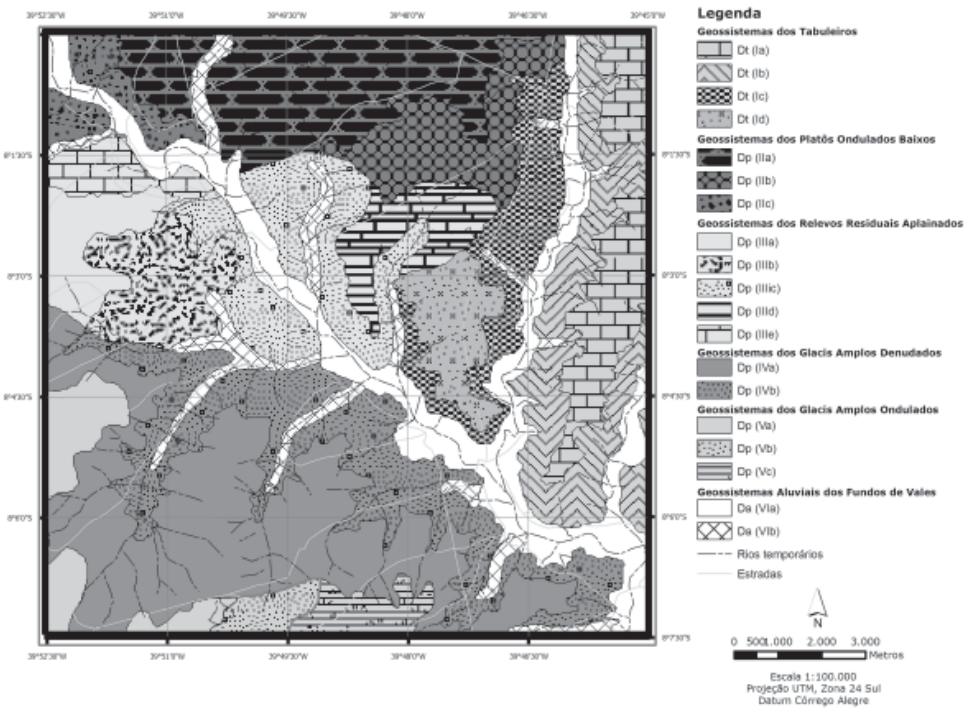

Figura 6 - Mapa dos geossistemas

Tabela 1 - Características paisagísticas dos modelados e geossistemas da área de estudo

MODELADO	GEOSSISTE-MAS	SEGMENTO DE VERTENTE	DECLI-VIDADE (%)	DENSIDADE DRENAGEM (km/km²)	AMPLITUDE INTERFLUVIAL (m)	HIPSO-METRIA (m)	ORIEN-TAÇÃO	PEDO-LOGIA	GEOLO-GIA
Tabuleiros (Dt)	Dt(Ia)	Ta	0 a 8%	1,40	1220	420-440	SW	PAb1 11	Pb
	Dt(Ib)	Vc	0 a 13%	Idem	Idem	400-420	Idem	Ncv	Idem
	Dt(Ic)	Vc	0 a 8%	Idem	Idem	Idem	SE	PAb1 4	Idem
	Dt(Id)	Ta	Idem	Idem	Idem	420-440	SE-SW	PAb1 10	Idem
Platôs ondulados baixos (Dp)	Dp(IIa)	Pa	0 a 6%	0,80	1772	420-430/440-450	S	Re2	Pb
	Dp(IIb)	Pr	0 a 8%	Idem	Idem	400-420/420-440	SW	PAb1 4	Idem
	Dp(IIc)	Pr	Idem	Idem		Idem	SE e NW	Re11E	Idem
Relevos residuais aplainados (Dp)	Dp(IIIa)	Pa	0 a 3,5%	0,86	1600	410-430	W	PLS 5B	Pgm4
	Dp(IIIb)	Pa	0 a 6%	Idem	Idem	Idem	Idem	LA2de	Idem
	Dp(IIIc)	Pr	Idem	Idem	Idem	400-420/390-410 390-420	S	PAb1 10	Idem
	Dp(IIId)	Pr	Idem	Idem	Idem	Idem	S	PAb1 4	Idem
	Dp(IIIe)	Pr	0 a 8%	Idem	Idem	Idem	NE	PLS 5B	Idem
Glacis amplos denudados (Dp)	Dp(IVa)	Pa	0 a 6%	1,50	1465	410-430	N	PLS 5B	Pb
	Dp(IVb)	Pr	0 a 8%	Idem	Idem	390-410	Idem	PAb1 10	Idem
Glacis amplos ondulados (Dp)	Dp(Va)	Pr	0 a 3,5%	0	0	430-470	N	LA2de	Tqd
	Dp(Vb)	Pr	0 a 6%	Idem	Idem	Idem	Idem	PLS 5B	Idem
	Dp(Vc)	Pr	0 a 13%	Idem	Idem	Idem	NE	PAb1 4	Idem
Fundos de vales (Da)	Da(VIa)	Apl	0 a 3,5%	2,00	-	380-400		Al	Aluvial
	Da(VIb)	Atf	Idem	Idem	Idem	Idem		Idem	Idem

Geossistemas dos tabuleiros

O modelado dos tabuleiros (Dt) se localiza na parte NE da área de estudo. Desenvolvido sobre suporte geológico do Complexo Barro (Pb) constituído por granada-biotita xistos, por vezes com estaurolita e cianita, contendo intercalações de paragnaisses, calcários cristalinos, rochas calcissilicáticas, formações ferríferas, silimanita quartzitos, muscovita xistos e anfibolitos, de morfocronologia do Arqueano e Paleoproterozóico (tectogênese) ao Holoceno (morfogênese) (CPRM, 2001). Têm relevo dissecado caracterizado por encostas de altitudes medianas (entre 400-440m) compartimentadas em topos aplainados (420-440m) e vertentes côncavo-convexas (400-420m), com média densidade de drenagem (1,40 km/km²) e a menor amplitude interfluvial da área (1220m).

Tal modelado foi compartimentado em quatro diferentes geossistemas, apresentados a seguir.

a) O **Geossistema dos topos aplainados a leste de Quixaba - Dt(Ia)** que é caracterizado por declividades de 0 a 8%, orientação das vertentes no quadrante SW e cobertura pedológica dominada por Argissolos Amarelos e Vermelho-Amarelos em associação com Luvissolos Crômicos e Neossolos Litólicos (PAb1 11) (EMBRAPA, 1997, 1999).

b) No segmento de encosta mais baixo está o **Geossistema das vertentes a leste de Quixaba - Dt(Ib)** com a mesma orientação das vertentes no quadrante SW, declives maiores chegando até 13% e o desenvolvimento de solos como as associações de Luvissolos Crômicos, Planossolos Nátricos e Neossolos Litólicos (Ncv) (EMBRAPA, 1997, 1999).

c) Ainda no segmento inferior está o **Geossistema das vertentes a oeste de Quixaba - Dt(Ic)** com orientação no quadrante SE, declividade mediana entre 0 e 8% e uma cobertura de solos que incluem as associações de grupos indiferenciados de Argissolos Amarelos e Vermelho-Amarelos, Latossolos Amarelos e Vermelho-Amarelos e Planossolos Háplicos (PAb1 4) (EMBRAPA, 1997, 1999).

d) Por último, posicionado no compartimento superior ao sul do anterior, está o **Geossistema dos topos aplainados a oeste de Quixaba** - **Dt(Id)** com orientação das vertentes no quadrante SE-SW e declividade mediana que também chega a 8%, diferenciado principalmente pela cobertura pedológica relacionada com associações de Argissolos Amarelos e Vermelho-Amarelos, Luvissolos Crômicos e Planossolos Háplicos (PAb1 10) (EMBRAPA, 1997, 1999).

Geossistemas dos platôs ondulados baixos

O modelado de platôs ondulados baixos (Dp), encontrado na porção N e NW da área de estudo, apresenta a mesma base geológica de rochas cristalinas do Complexo Barro (Pb) do modelado anterior (CPRM, 2001). São representados por níveis de aplainamento compartimentados em segmentos de vertente identificados com o patamar superior aplainado (Pa) nos níveis 440-450 e 420-430m e patamar inferior em rampa (Pr) nos compartimentos de 400-420 e 410-430m. Diferenciam-se pela mais baixa densidade de drenagem (0,80 km/km²) e amplitude interfluvial mais longa (1772 m) da área de estudo.

Este modelado foi subdividido em três geossistemas com base em suas características paisagísticas.

a) Nos níveis mais altos, orientados no quadrante S, está o **Geossistema dos altos platôs da Volta - Dp(IIa)** que é caracterizado por declividades medianas entre 0 a 6% e pavimentos detríticos ou rudáceos (Passos e Bigarella, 2001)

que correspondem à associação de Neossolos Litólicos com Argissolos Amarelos e Vermelho-Amarelos (Re2) (EMBRAPA, 1997, 1999).

b) No patamar inferior com orientação no quadrante SW está o **Geossistema dos baixos platôs de Quixaba** - **Dp(IIb)** caracterizado por maior dissecação fluvial em relação ao segmento superior, com declividades entre 0 e 8% e superfície coberta por associações de Argissolos Amarelos e Vermelho-Amarelos, Latossolos Amarelos e Vermelho-Amarelos e Planossolos Háplicos (PAb1 4) (EMBRAPA, 1997, 1999).

c) No mesmo patamar inferior ainda se delimitou o **Geossistema dos baixos platôs da Volta - Dp(IIc)** com orientação de vertentes nos quadrantes SE e NW, declividades também entre 0 a 8%, sendo diferenciado em relação ao anterior em especial pela cobertura pedológica com associação de Neossolos Litólicos e Planossolos Háplicos (Re11E) (EMBRAPA, 1997, 1999).

Geossistemas dos relevos residuais aplainados

O modelado dos relevos residuais aplainados (Dp) se localiza no setor centro-oeste da área de estudo e são setorizados em patamares aplainados superiores (Pa) de 410-430m e patamares em rampa inferiores (Pr) entre 390-420m. Apresentam baixa densidade de drenagem (0,86 km/km²) e longa dimensão interfluvial (1600m). A sua litologia corresponde ao Complexo Gnáissico-Migmatítico Indiscriminados (Pgm4) que compreende biotita *augengnaisses* calcialcalinos de composição granodiorítica a monzogranítica com morfocronologia do Arqueano e Paleoproterozóico (tectogênese) ao Holoceno (morfogênese), conforme CPRM (2001).

Este modelado foi subdividido em cinco geossistemas.

a) Nos patamares superiores aplainados orientados no quadrante W está o **Geossistema dos altos relevos residuais do Coxo com Planossolos - Dp(IIIa)** que apresenta declividade baixa entre 0 e 3,5% e associações de Planossolos Háplicos e Nátricos, Argissolos Amarelos e Vermelho-Amarelos, e Neossolos Litólicos (PLS 5B) (EMBRAPA, 1997, 1999).

b) Nos mesmos patamares superiores, ainda foi delimitado o **Geossistema dos altos relevos residuais do Coxo com Latossolos - Dp(IIIb)** que diferencia-se pelas declividades relativamente maiores (de 0 a 6%) e pela formação superficial com maior manto de intemperismo relacionada com a presença da associação de Latossolos Amarelos e Vermelho-Amarelos distróficos e eutróficos (LA2de) (EMBRAPA, 1997, 1999).

c) Já nos patamares inferiores em rampa orientados no quadrante S, com maior dissecação e rugosidade topográfica em relação aos patamares superiores, foi definido o **Geossistema dos baixos relevos residuais do Coxo com Argissolos - Dp(IIIc)** que apresenta declividades medianas abaixo de 6% e cobertura pedológica formada pelas associações de Argissolos Amarelos e Vermelho-Amarelos, Luvissolos Crômicos e Planossolos Háplicos (PAb1 10) (EMBRAPA, 1997, 1999).

d) No mesmo patamar inferior foi delimitado o **Geossistema dos baixos relevos residuais do Coxo com Argissolos e Latossolos** - **Dp(IIId)**, diferenciado pelo desenvolvimento de associações de grupos indiferenciados de Argissolos Amarelos e Vermelho-Amarelos, Latossolos Amarelos e Vermelho-Amarelos e Planossolos Háplicos (PAb1 4) (EMBRAPA, 1997, 1999).

e) Também no patamar inferior, porém com orientação das vertentes no quadrante NE e declividade relativamente maior chegando a 8%, foi ainda definido o **Geossistema dos baixos relevos residuais do Coxo com Planossolos** - **Dp(IIIe)** que apresenta cobertura pedológica de associações de Planossolos

Háplicos e Nátricos, Argissolos Amarelos e Vermelho-Amarelos, e Neossolos Litólicos (PLS 5B) (EMBRAPA, 1997, 1999).

Geossistemas dos glacis amplos denudados

Os pedimentos em forma de glacis amplos denudados (Dp) se localizam na porção centro-sul da área de estudo e apresentam a mesma litologia dos dois primeiros modelados apresentados do Complexo Barro (Pb) (CPRM, 2001). Foram compartimentados em patamar superior aplainado (Pa) entre 410-430m e patamar inferior em rampa no nível de 390-410m, com média amplitude interfluvial (1465m) e alta densidade de drenagem para a área (1,50 km/km²), mostrando relevo suave ondulado a ondulado com formação de padrão de drenagem paralelo.

Dividiu-se tal modelado em dois geossistemas relacionados diretamente aos setores de vertente definidos no mapeamento geomorfológico.

a) No patamar superior aplainado, com orientação de vertentes no quadrante N e declividades dominantes de 0 a 6%, definiu-se o **Geossistema dos altos glacis de Icaiçara** - **Dp(IVa)** caracterizado por fraca dissecação fluvial e conseqüente déficit hídrico que são fatores para a dominância de Planossolos Háplicos e Nátricos em associação com Argissolos Amarelos e Vermelho-Amarelos e Neossolos Litólicos (PLS 5B) (EMBRAPA, 1997, 1999).

b) Já no patamar inferior em rampa, também orientado no quadrante N, foi delimitado o **Geossistema dos baixos glacis de Icaiçara** - **Dp(IVb)** com declives pouco maiores de 0 a 8%, maior dissecação fluvial e associações de Argissolos Amarelos e Vermelho-Amarelos, Luvissolos Crômicos e Planossolos Háplicos e Nátricos (PAb1 10) (EMBRAPA, 1997, 1999).

Geossistemas dos glacis amplos ondulados

O modelado de glacis amplos ondulados (Dp) está localizado na porção S-SW da área de estudo e é geologicamente diferenciado pela presença de Depósitos Elúvio-coluviais Terço-quaternários (Tqd), compostos de sedimentos detríticos areno-sílticos e areno-argilosos inconsolidados ou pouco consolidados, com morfocronologia entre o Terciário (Tectogênese) ao Pleistoceno - Holoceno (Esculturação) (CPRM, 2001). Atinge as posições mais altas entre 430-470m e se apresenta, na área de estudo, apenas o segmento de vertente dos patamares aplainados superiores (Pa) com orientação no quadrante N-NE, não apresentando dissecação significativa retratada nas variáveis morfométricas fluviais com valores nulos devido ao posicionamento de cabeceira de drenagem.

Este modelado foi dividido em três geossistemas conforme as diferenças nas variáveis componentes dos mosaicos paisagísticos em questão.

a) Inicialmente, foi delimitado o **Geossistema dos glacis ondulados com Latossolos** - **Dp(Va)** que foi diferenciado pelos baixos declives (0 a 3,5%) e pelas condições biostáticas relacionadas com a de associação de Latossolos Amarelos e Vermelho-Amarelos distróficos e eutróficos (LA2de) (EMBRAPA, 1997, 1999).

b) Outra unidade mapeada foi o **Geossistema dos glacis ondulados com Planossolos** - **Dp(Vb)** que se diferencia pela declividade que pode atingir valores medianos variando de 0 a 6% e pela cobertura pedológica formada por associações de Planossolos Háplicos e Nátricos, Argissolos Amarelos e Vermelho-Amarelos e Neossolos Litólicos (PLS 5B) (EMBRAPA, 1997, 1999).

c) Por último foi diferenciado o **Geossistema dos glacis ondulados com Argissolos - Dp(Vc)** pela maior declividade, que chega a 13%, e pela associação de grupos indiferenciados de Argissolos Amarelos e Vermelho-Amarelos, Latossolos Amarelos e Vermelho-Amarelos e Planossolos (PAb1 4) (EMBRAPA, 1997, 1999).

Geossistemas aluviais dos fundos de vales

O modelado de agradação com planícies de inundação e terraços fluviais corresponde às áreas onde a dinâmica fluvial domina os processos morfogenéticos. De morfocronologia recente, entre o Pleistoceno e o Holoceno, relacionada aos Depósitos Quaternários (Qha) representados por sedimentos de origem aluvial (CPRM, 2001). Este modelado se localiza nos fundos de vales amplos e estreitos, de acordo com divisão proposta por EMBRAPA-ORSTOM (1986), e se caracteriza por baixas altitudes entre 380-400m, baixa declividade (0 a 3,5%) e mais alta densidade de drenagem da área de estudo (2,0 km/km²). Apresenta grande importância em relação aos recursos hídricos e uma tipologia relacionada aos processos de biostasia com a dominância da pedogênese e favorecimento do desenvolvimento da cobertura vegetal de fácies em galeria, como indicado por Carvalho (1986). Esta cobertura vegetal que se mantém fotossinteticamente ativa durante a estação seca é um importante elemento diferenciador em relação aos outros modelados da área, caracterizados por ambientes de encosta onde se desenvolvem fácies de caatinga arbórea e arbórea-arbustiva (Freitas, 2006). São áreas preferenciais ao uso antrópico com atividades agropecuárias e concentração de povoados, apresentando dominância de Neossolos Flúvicos associados com Luvissolos Crômicos e Planossolos Nátricos (Al) (EMBRAPA, 1997, 1999).

As unidades geomorfológicas deste modelado serviram como base para a subdivisão em dois geossistemas aluviais.

a) Em primeiro lugar, foi delimitado o **Geossistema aluvial dos riachos da Volta, Quixaba e da Favela - Da(Vla)**, localizado nos fundos de vales amplos que apresentam a formação de planícies de inundação ocupadas por rios intermitentes com interrupção do fluxo superficial na longa estação seca.

b) Também foi mapeado o **Geossistema aluvial dos "riachos de caatinga" - Da(Vlb)** diferenciado pela posição nos fundos de vales estreitos, denominados popularmente de "riachos de caatinga", que são áreas nos patamares e vertentes inferiores dos pedimentos que apresentam a formação de terraços fluviais gerados a partir das fortes enxurradas nos períodos chuvosos.

Apresentação das geofácies

Os geossistemas acima mencionados foram subdivididos em geofácies relacionadas com a dinâmica da paisagem expressa essencialmente na cobertura vegetal e no uso do solo. Em relação à legenda do mapeamento das geofácies, aos geossistemas foram adicionados a denominação da dinâmica da paisagem, como pode ser visto no mapa apresentado na figura 7. As áreas absolutas e relativas de cada unidade de mapeamento são apresentadas na tabela 2.

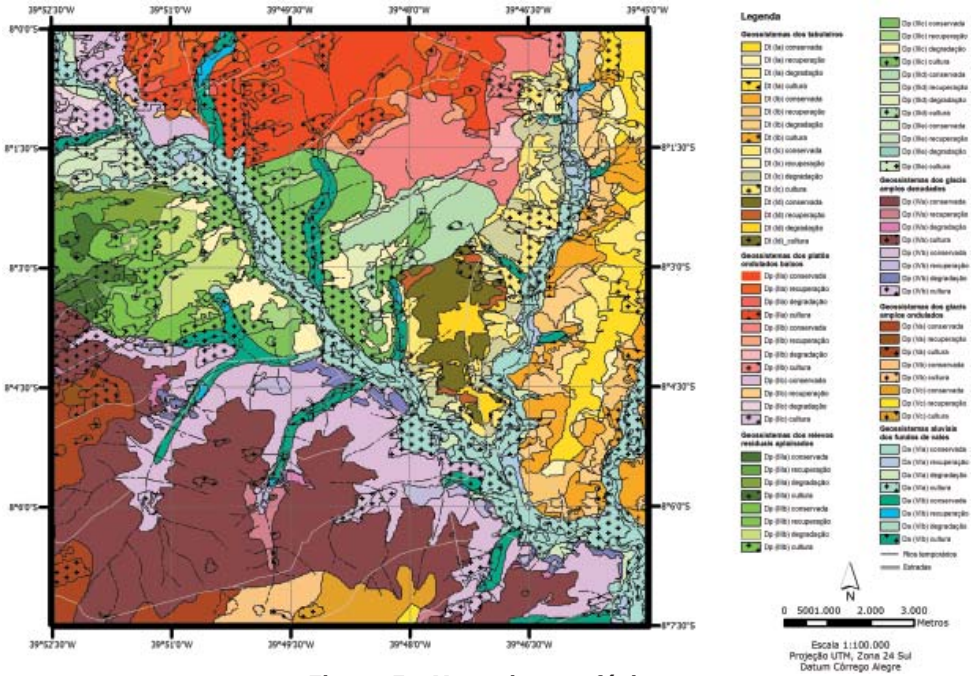

Figura 7 - Mapa das geofácies

GEOSSISTEMA	CONSERVADO		RECUPERAÇÃO		DEGRADAÇÃO		CULTURA	
	%	KM²	%	KM²	%	KM²	%	KM²
Dt(Ia)	46,7	4,32	11,9	1,10	31,7	2,93	9,74	0,90
Dt(Ib)	36,7	4,91	25,16	3,36	27,41	3,67	10,48	1,40
Dt(Ic)	26,94	2,29	15,52	1,32	31,76	2,70	25,64	2,18
Dt(Id)	57,22	3,05	9,38	0,50	25,32	1,35	7,87	0,42
Dp(IIa)	57,8	10,66	17,95	3,31	2,33	0,43	21,58	3,98
Dp(IIb)	73,64	6,23	10,16	0,86	9,1	0,77	6,97	0,59
Dp(IIc)	42,78	1,72	4,72	0,19	15,92	0,64	36,06	1,45
Dp(IIIa)	20,5	0,98	31,3	1,50	28,4	1,36	19,2	0,92
Dp(IIIb)	26,2	1,90	10,7	0,78	39,9	2,89	22,9	1,66
Dp(IIIc)	29,2	3,51	7,2	0,87	22,8	2,75	40,5	4,87
Dp(IIId)	70,4	3,81	1,6	0,09	19,2	1,04	8,5	0,46
Dp(IIIe)	19,8	0,60	23,4	0,71	13,2	0,40	42,9	1,30
Dp(IVa)	90,4	28,76	2,8	0,90	1,1	0,37	5,4	1,74
Dp(IVb)	70,7	13,68	6,6	1,29	6,8	1,33	15,8	3,06
Dp(Va)	77,1	4,32	3,3	0,19	0	0	19,2	1,08
Dp(Vb)	94,7	1,81	0	0	0	0	5,2	0,10
Dp(Vc)	88,9	2,49	6,4	0,18	0	0	4,6	0,13
Da(VIa)	35,2	7,27	6,8	1,42	9,7	2,00	48,4	9,98
Da(VIb)	42,2	3,34	8,3	0,66	4,9	0,39	42,4	3,36
TOTAL	62,68	119,6	10,18	19,4	13,62	26	20,43	39

Tabela 2 - Áreas das geofácies absolutas (km²), em relação aos geossistemas (%) e total em relação à área de estudo

Geofácies conservadas

As geofácies conservadas são representadas por cobertura vegetal de fácies de caatinga arbórea e arbórea-arbustiva e fácies em galeria em estágios avançados de desenvolvimento sucessional com os três estratos verticais densamente ocupados e altura do dossel entre 8 e 15m, representando alto grau de cobertura do solo (Figura 8). Dentre as espécies de porte arbóreo principais amostradas nestas geofácies se destacam: braúna, aroeira, facheiro, angicos, pau-branco, cascudo ou sete cascas, imburana de cheiro, imburana de cambão, imbuzeiro e outras. O estrato arbustivo é dominado por marmeleiro preto, quebra faca, candeia, pinhão brabo, jurema-branca e outras. E dentre as espécies herbáceas se podem mencionar as malvas, o caroá e a macambira.

Estas geofácies representam a maior parte da área de estudo (119,6 km² ou 62,68%) o que mostra o bom estado de conservação da caatinga nesta área, confirmando dados de Carvalho (1986) e Maldonado (2005). Os geossistemas mais conservados, acima de 75%, foram os do modelado dos glacis amplos ondulados como o Dp(Va) com 77,1%, o Dp(Vb) com 94,7% e o Dp(Vc) com 88,9%. Já os geossistemas menos conservados, em torno de 20%, foram os do modelado de relevos residuais aplainados como o Dp(IIIa) com 20,5% e o Dp(IIIe) com 19,8%.

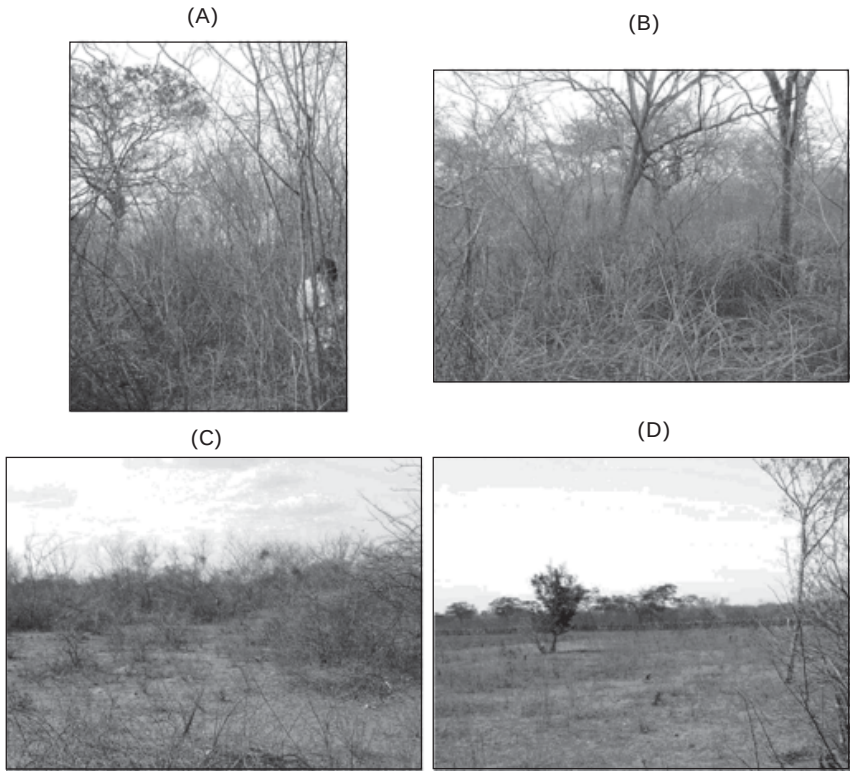

Figura 8 – Fotos de campo representativas de geofácies da área de estudo: A) Geofácies conservada com caatinga arbórea; B) Geofácies de recuperação com caatinga arbórea-arbustiva; C) Geofácies de degradação com caatinga aclareirada; D) Geofácies de cultura com pastagem

Geofácies de recuperação

As áreas que apresentaram dinâmica de sucessão secundária no intervalo de tempo estudado (20 anos) são caracterizadas por fácies de caatinga arbórea-arbustiva e caatinga aclareirada, caracterizados por dosséis fechados ou abertos com alturas entre 4 e 8 metros com o domínio de espécies secundárias e pioneiras arbóreas e arbustivas como marmeleiro, juremas, favelas, mandacaru e herbáceas como as malvas (Figura 8). Tais geofácies representam áreas que já foram usadas por atividades de plantio e pecuária, desmatamento, queimadas, produção de carvão vegetal e outras. Estas geofácies cobrem 19,4 km² ou 10,18% da área de estudo e os geossistemas com maior porcentagem em recuperação, acima de 25%, foram o Dt(Ib) com 25,16% e o Dp(IIIa) com 31,3%.

Geofácies de degradação

Os processos de degradação da cobertura vegetal na área de estudo provêm do uso insustentável pela sociedade em relação aos recursos naturais com atividades agropecuárias e práticas de desmatamento com a rarefação da cobertura vegetal especialmente na formação de fácies de caatinga aclareirada (Figura 8). Estas atividades antrópicas desencadeiam processos muitas vezes irreversíveis de degradação do meio físico e biótico com a aceleração e intensificação da erosão dos solos (GUERRA, 2003) e a diminuição do poder de regeneração da caatinga, relacionada com a resiliência de tais ecossistemas em condições climáticas semi-áridas (MONTEIRO, 1988). As geofácies de degradação correspondem a aproximadamente 26 km² ou 13,62% da área de estudo e englobam as áreas onde ocorreram processos de antropização da cobertura vegetal ou áreas que continuaram degradadas no intervalo de tempo estudado. Os geossistemas com maior parte degradada, acima de 30%, foram o Dp(IIIb) com 39,9%, o Dt(Ic) com 31,76% e o Dt(Ia) com 31,7%.

Geofácies de cultura

As principais atividades na área de estudo são a pecuária, especialmente a caprinocultura, e agriculturas de subsistência (milho, feijão, mandioca e outras) pouco mecanizadas e com poucos tratos culturais (irrigação, aradura, etc.), relacionadas diretamente em seu ritmo anual de produção pelas condições climáticas da área (Figura 8). Estas atividades são diferenciadas conforme a área em que se situam entre as culturas nos espaços colinosos intermontanos, que são popularmente conhecidas como “culturas de sequeiro”, e nos fundos de vale com características aluviais, denominadas “culturas de vazante” (AB’SÁBER, 2002). As geofácies de cultura equivalem a aproximadamente 39 km² ou 20,43% da área de estudo, sendo predominantemente caracterizadas por atividades agropecuárias tradicionais de subsistência. Os geossistemas mais utilizados em práticas de agricultura, acima de 40%, são o Da(VIa) com 48,4%, o Dp(IIIe) com 42,9%, o Da(VIb) com 42,4% e o Dp(IIIc) com 40,5%.

Análise integrada dos resultados

A análise integrada dos resultados se relaciona com a validação dos resultados dos mapeamentos integrados através da análise estatística com base nos dados florísticos amostrados em campo (quinta fase metodológica). Esta análise partiu da premissa geral de que as unidades de paisagem são diretamente relacionadas com a distribuição espacial da vegetação de caatinga, como defende Silva et al. (2003), e foi realizada através uma

análise estatística multivariada de agrupamento (ANDERBERG, 1973) aplicada às geofácies dos geossistemas, buscando a definição de padrões em tais unidades com base na similaridade florística. O resultado do agrupamento das comunidades vegetais amostradas em campo, através de um dendrograma baseado na distância 1-Pearson r (Figura 9), não corroborou inteiramente a hipótese de predição dos geossistemas na distribuição fitogeográfica, o que pode ser atribuído à limitação do levantamento florístico realizado, bem como pela especifidade da ação antrópica local. Porém, alguns agrupamentos sugerem a existência de tal relação, apresentando alguns padrões que remetem a relações envolvendo fatores geomorfológicos, pedológicos e também da integração de variáveis de um mosaico paisagístico específico.

A principal relação da integração de variáveis paisagísticas em nível de geossistemas observada a partir da análise de agrupamento das geofácies conservadas (Figura 9) ocorreu em relação aos geossistemas aluviais que se diferenciaram dos outros agrupamentos a partir do limite de significância de 0,8. Esta diferenciação reflete a diversidade de condições paisagísticas nestes geossistemas de fundo de vale, com solos aluviais e cobertura vegetal de fácies em galeria, em relação aos outros geossistemas elúvio-coluviais com fácies de caatinga arbórea. Com limite de significância abaixo de 0,8, ocorreu a formação de três grandes grupos com os geossistemas de cunho elúvio-coluvial e de fácies de caatinga arbórea, indicando a participação da geomorfologia, da pedologia e da cobertura vegetal na distribuição florística.

A análise de agrupamento com todas as geofácies amostradas, que pode ser vista no dendrograma da Figura 9, apresentou boa relação entre os estágios da dinâmica de evolução global da paisagem, definidos de acordo com Bertrand e Bertrand (2002), com a similaridade florística entre as geofácies. A premissa geral levada em consideração para esta análise foi a de que a distribuição florística das geofácies responde diretamente ao estágio de sucessão vegetacional. Entre os principais apresentaram-se agrupamentos de geofácies conservadas com algumas geofácies de recuperação, representando fácies de cobertura de caatinga arbórea e arbórea-arbustiva em recuperação. Outros agrupamentos corresponderam às geofácies de degradação em relação com geofácies em recuperação o que retrata a cobertura vegetal de fácies de caatinga aclareirada. A inclusão de algumas geofácies representativas de caatingas aclareiradas em sub-grupos de geofácies conservadas ocorreu devido à presença de espécies arbóreas isoladas em fácies aclareiradas explicada por tipos estruturais de caatinga aclareirada com porte arbóreo (CARVALHO, 1986).

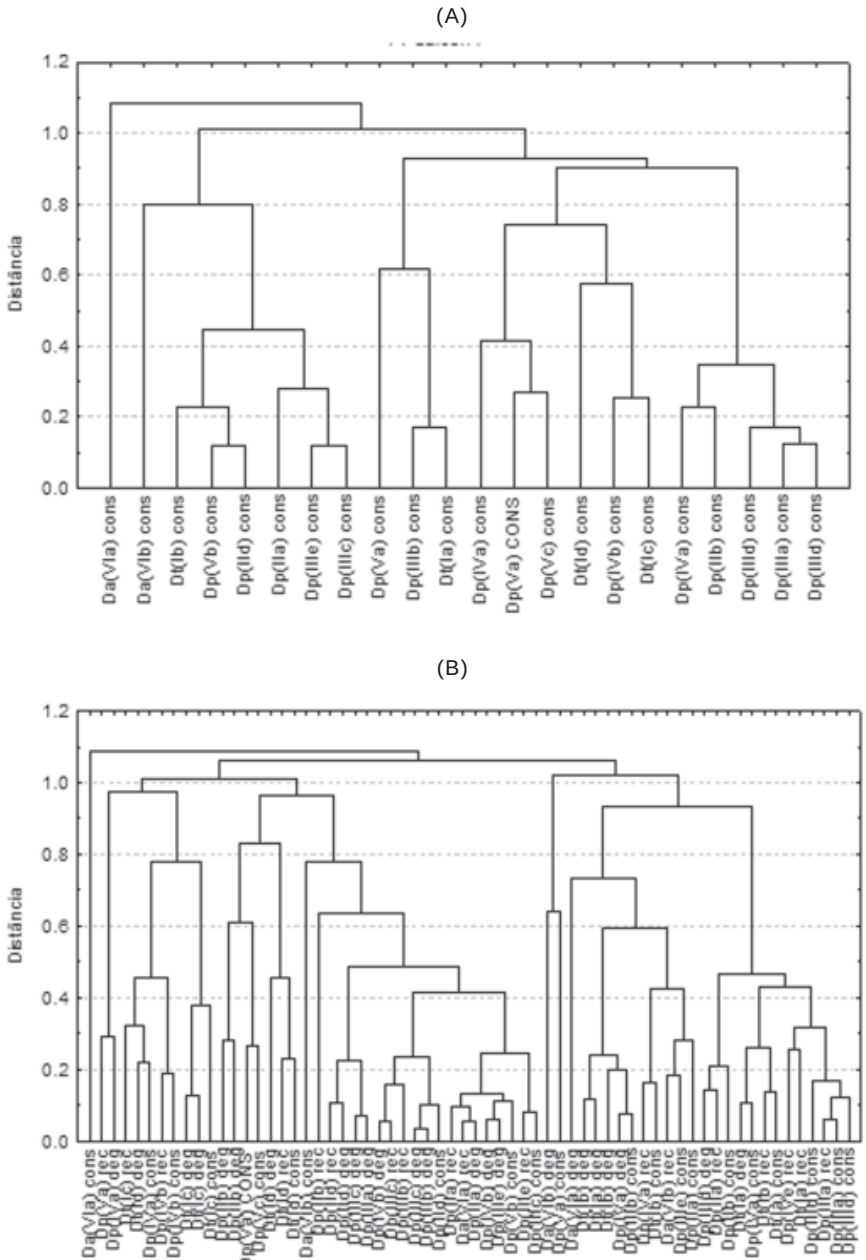

Figura 9 – Dendrogramas da análise estatística multivariada de agrupamento: A) agrupamento das geofácies conservadas dos geossistemas; B) agrupamento das geofácies

CONCLUSÕES

Os resultados desta pesquisa reafirmam as potencialidades do uso de produtos e metodologias de Sensoriamento Remoto e de SIG, aliados ao trabalho de campo, em estudos integrados da paisagem. A utilização conjugada destas geotecnologias possibilitou uma análise integrada e complexa da paisagem e suas variáveis físicas, ecológicas e antrópicas, com o apoio fundamental dos materiais cartográficos e bibliográficos já existentes. Como elementos fundamentais da pesquisa, devem ser ressaltados:

1) Em termos de sensoriamento remoto, o uso das técnicas tratamento geoestatístico de MDE do SRTM (aliado às metodologias de mapeamento geomorfológico) e o processamento digital de imagem CBERS 2 – CCD (combinando os métodos do MLME, da ACP, da interpretação visual e da classificação da dinâmica da cobertura vegetal) foram fundamentais para os mapeamentos temáticos e integrados deste estudo.
2) As técnicas e metodologias de geoprocessamento com o uso da ferramenta SPRING foram fundamentais para a integração dos dados temáticos e de campo utilizados na pesquisa, característica muito importante para a realização de estudos integrados da paisagem de cunho essencialmente interdisciplinar. Estas permitiram a delimitação das unidades geossistêmicas, através de um processo semi-automático de integração de dados temáticos, e a sobreposição dos mapeamentos dos geossistemas e da dinâmica da cobertura vegetal que gerou o mapeamento no nível de geofácies.
3) Para a avaliação dos seus resultados, com a ajuda da verificação de campo, a técnica de análise estatística multivariada de agrupamento mostrou-se bastante promissora, possibilitando uma boa interpretação da distribuição espacial dos dados florísticos levantados em relação às unidades geossistêmicas mapeadas.

Considera-se, portanto, como a principal contribuição desta pesquisa o desenvolvimento de um enfoque integrado e sintético da paisagem, baseado na teoria dos geossistemas, a partir do conhecimento da interação entre as variáveis físicas, ecológicas e sociais para a análise dos processos de degradação ambiental em terras secas. Esta abordagem integrada apresenta ainda importantes resultados para a aplicação no planejamento territorial e gestão ambiental das áreas do Bioma Caatinga suscetíveis ao processo de desertificação.

REFERÊNCIAS

AB'SÁBER, A. N.. Bases conceptuais e papel do conhecimento na previsão de impactos. In: MULLER-PLANTENBERG, C.; AB'SÁBER, A. N. (Org.). **Previsão de impactos:** O estudo de impacto ambiental no Leste, Oeste e Sul. Experiências no Brasil, na Rússia e na Alemanha. São Paulo: Edusp, 2002, p.27-49.

ANDERBERG, M. R. **Cluster Analysis for Applications**. New York: Academic Press, 1973, 326p.

BERTRAND, C; BERTRAND, G. **Une geographie traversière:** l'environment à travers territoires et temporalités. Paris: Éditions Arguments, 2002, 311p.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. (Ed.). **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001. (INPE-8568- PRE/4312). Disponível em: <goto-/sid.inpe.br/sergio/2004/04.19.15.08>. Acesso em: 23 abr. 2004.

BRASIL (CONSELHO NACIONAL DA RESERVA DA BIOSFERA DA CAATINGA). **Cenários para o Bioma Caatinga**. Recife: SECTMA, 2004. 283p.

CARVALHO, V.C. **Structure et dynamique de la vegetation en milieu tropical semi-aride.** La Caatinga de Quixaba (Pernambouc, Brésil) du terrain a l'analyse des données MSS/Landsat. (INPE-4049-RPE/524). Tese (Doutorado) - Université de Toulouse-Le Mirail. São José dos Campos, INPE, 1986, 332p.

CARVALHO, V. C.; FREITAS, M. W. D. Mapeamento das paisagens em nível de geossistema de três áreas representativas do bioma Caatinga. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12. Goiânia, 2005. **Anais...**, Goiânia: SBSR, 2005, p. 2087-2099.

CPRM (Serviço Geológico do Brasil). **Geologia e recursos naturais do Estado de Pernambuco**. Recife: CPRM/Governo do Estado de Pernambuco/AD-DIPER, 2001, 215p.

EMBRAPA. **Zoneamento agroecológico do Estado do Pernambuco** - levantamento de reconhecimento de baixa intensidade de solos. Recife: EMBRAPA, 1997.

_____. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1999. 180p.

EMBRAPA/ORSTOM. **Esboço morfopedológico da Região de Ouricuri – PE**. Petrolina: EMBRAPA/ORSTOM, 1986.

FREITAS, M. W. D. de. **Estudo integrado da paisagem no sertão pernambucano (NE – Brasil) com o uso de Sistemas de Informação Geográfica e Sensoriamento Remoto**. Dissertação (Mestrado). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos: INPE, 2006, 192 p.

GUERRA, A. J. T. Encostas e questão ambiental. In: CUNHA, S. B. da; GUERRA, A. J. T. (Orgs.). **A questão ambiental:** diferentes abordagens. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003, p.191-218.

MALDONADO, F. D. **Desenvolvimento e avaliação de uma metodologia de detecção de mudanças na cobertura vegetal do semi-árido**. (INPE-12679-TDI/1007). Tese (Doutorado). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos: INPE, 2005, 311p.

MONTEIRO, C. A. de F. On the 'desertification' in Northeast Brazil and man's role in this process. **Latin American Studies**, Tsukuba, n.9, p. 1-40, 1988.

SALINERO, E. C. **Teledetcción ambiental:** la observación de la Tierra desde el Espacio. Barcelona: Editorial Ariel, 2002, 586p.

SILVA, F.B.R.; RICHÉ, G.R.; TONNEAU, J.P.; SOUZA NETO, N.C. de; BRITO, L.T.L.; CORREIA, R.C.; CAVALCANTI, A.C.; SILVA, F.H.B.B. da; SILVA, A.B. da; ARAÚJO FILHO, J.C. de; LEITE, A.P. **Zoneamento Agroecológico do Nordeste:** diagnóstico e prognóstico. Recife: EMBRAPA Solos Escritório Regional de Pesquisa e Desenvolvimento Nordeste ERP/NE; Petrolina: EMBRAPA Semi-Árido, 2000. (EMBRAPA Solos, Documentos, 14). em CD ROM.

SILVA, R. A. da; SANTOS, A. M. M.; TABARELLI, M. Riqueza e diversidade de plantas lenhosas em cinco unidades de paisagem da caatinga. In: LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. C. M. da. (Ed.). **Ecologia e conservação da caatinga**. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2003, p.337-365.

VALERIANO, M. M. **Modelo digital de elevação com dados SRTM disponíveis para a América do Sul**. (INPE-10550-RPQ/756). São José dos Campos: INPE, 2004, 72p.

Recebido em setembro de 2008

Aceito em janeiro de 2009