

ESTRUTURA E DINÂMICA DA VEGETAÇÃO EM MEIO TROPICAL SEMI-ÁRIDO.
A CAATINGA DE QUIXABÁ (PE): DO TERRENO À ANÁLISE DE DADOS MSS/LANDSAT.

Vitor Celso de Carvalho
Instituto de Pesquisas Espaciais
Ministério da Ciência e Tecnologia
Caixa Postal 515, 12.201 - São José dos Campos, SP, Brasil.

RESUMO

Avaliação dos limites e as possibilidades das imagens MSS/LANDSAT para o levantamento e o controle dos ambientes tropicais semi-áridos a partir de uma área piloto do Nordeste brasileiro, situado ao norte de Petrolina-PE (Quixabá) e da sua cobertura vegetal. Primeiramente, um sistema de classificação estrutural da vegetação é estabelecido e aplicado. Depois, cartografias a 1:100.000 efetuadas a partir de missões aéreas de 1955, 1965 e 1983, permitiram uma caracterização estrutural e avaliação dinâmica da Caatinga de Quixabá. Enfim, o poder de discriminação das imagens, a partir do tratamento numérico de quatro cenas (1973, 1974 e 1983-2) é avaliado por comparação com as cartografias precedentes: ao máximo somente 7 classes (contra 15) são distinguíveis.

ABSTRACT

Estimating of practicability and limits of MSS/LANDSAT data for monitoring and the control of the tropical semi-arid ecosystems from a test region of Brazilian Nordeste, north of Petrolina-PE (Quixabá) and their vegetal couvert. In this first part a structural classification of the vegetation is developed and applied here. Then, a 1:100,000 scale structural mapping, drawn from the 1955, 1965 and 1983 aerial photographs, allows to structural characterization and dynamic evaluation of the Quixabás Caatinga. At last, the power discrimination of the images from four MSS/LANDSAT scenes (1973, 1974 e 1983-2) numerical processing, are estimated, by comparison to vegetation structure maps: while in these maps, 15 thematic classes are distinguished, only 7 are available on the classified picture (maximum).

1. INTRODUÇÃO

Dentro do grande domínio de aplicações de dados de sensoriamento remoto espacial no Brasil, verificamos ainda uma grande lacuna quando se trata da sua região Nordeste, principalmente quanto à sua cobertura vegetal, a Caatinga. Esta classe de formação vegetal cobre em efeito a maior parte do trópico semi-árido brasileiro, sob a forma de uma cobertura vegetal onde dominam as formações do tipo floresta baixa, seca e espinhosa, classificada por alguns autores como uma Estepe (VELOSO, JAPIASSU e GOES-FILHO, 1983). Como todos os meios francamente semi-áridos, a Caatinga é frágil, submetida a frequentes sérias de anos secos e sob o peso contínuo da pressão antrópica, agrícola e pastoral, responsáveis pela degradação da cobertura vegetal, da erosão dos solos e, em definitivo, de um empobrecimento sensível dos recursos naturais locais já limitados, primeira etapa de uma desertificação onde certos indícios podem ser já notados localmente (LOMBARDO & CARVALHO, 1980).

Dentre os meios disponíveis para o levantamento e controle desses espaços frágeis, o sensoriamento remoto espacial aparece, sem dúvida, como uma ferramenta privilegiada para assegurar um controle regular da Caatinga, identificar os setores mais sensíveis e fornecer assim um auxílio à decisão, por ocasião de operações eventuais de manejo e de recuperação

(ROBINSON, COINER e BARRINGE, 1982). Paralelamente, ele pode ser igualmente utilizado para o controle e avaliação dos resultados dos programas de ocupação, proteção e restauração, porventura estabelecidos.

Assim, apresentamos neste trabalho as linhas gerais e os principais resultados e conclusões de um trabalho de tese, cujo objetivo primordial consistia numa avaliação das possibilidades e dos limites do sensoriamento remoto orbital para a identificação e a cartografia da Caatinga, a partir de uma área teste limitada e para apreender as tendências da evolução recente dessas formações vegetais, primeira etapa para o estabelecimento de um sistema de avaliação e controle contínuo desta vegetação. (CARVALHO, 1986).

2. IMPOSIÇÕES METODOLÓGICAS

Uma avaliação suficientemente séria das possibilidades e dos limites do sensoriamento remoto da Caatinga implica obrigatoriamente num bom conhecimento de base desta vegetação, ao menos dentro do setor escolhido, ou seja, essencialmente uma cartografia da Caatinga numa escala suficientemente detalhada para permitir a avaliação em questão e adaptada a análise das imagens orbitais. No entanto, estudos bibliográficos revelaram a ausência desta base cartográfica de referência a que nos obrigou a executá-la preliminarmente.

Entretanto, para estabelecer esta cartografia, seria necessário um sistema de classificação da vegetação que repousasse essencialmente sobre os seus critérios estruturais, aspectos fundamentais, capazes de serem apreendidos em sensoriamento remoto. Como no momento em que iniciamos esta pesquisa não dispunhamos de um tal sistema de classificação, nos foi também imposto o seu desenvolvimento.

Para isto era imprescindível um bom conhecimento fisionômico e florístico da Caatinga, que nos permitisse estabelecer os princípios diretores para a sua classificação estrutural. Entretanto, salvo alguns estudos, seja muito pontuais, seja ao contrário muito geral, nós não dispunhamos naquele momento, de nenhum elemento objetivo que nos permitisse estabelecer racionalmente estes critérios estruturais. Assim, nos foi também exigido efetuar uma análise fitogeográfica da Caatinga de Quixabã.

Por outro lado, nosso trabalho tinha igualmente por objetivo apreciar a evolução desta vegetação, tomando como base a análise de fotografias aéreas obtidas em 1955, 1965 e 1983, e as imagens orbitais de 1973, 1974 e 1983, a partir de comparações cartográficas dos resultados obtidos. Esta análise nos permitiu estabelecer uma tipologia das estruturas e texturas fotográficas, que determinam o poder de separação ou discriminação maior ou menor entre as classes estruturais estabelecidas.

Assim, aquilo que no início do nosso trabalho parecia ser bem delimitado e consagrado quando se exclusivamente ao sensoriamento remoto orbital da Caatinga, foi pouco a pouco se ampliando chegando finalmente a uma análise do meio vegetal, no solo e por fotointerpretação.

3. APRESENTAÇÃO DA ÁREA TESTE

A área de estudo, denominada Quixabã corresponde a uma superfície quadrada de aproximadamente 760 km² (27,6 x 27,6 km) definida pelas coordenadas geográficas de 8°00' a 8°15' de latitude sul e de 39°45' a 40°00' de longitude Oeste de Greenwich (Figura 1). Ela está situada no centro do grande domínio tropical semi-árido brasileiro e de rochas cristalinas do Escudo do Guiano-Brasileiro. As condições climáticas são de transição entre a semi-aridez média (P de 500 a 750mm e 7 a 8 meses secos) e acentuada (P menos de 500mm e mais de 9 meses secos), onde a precipitação média para a área é de 580mm e a temperatura é de 25°C (MOLINIER & MAGALHÃES, 1985). As rochas do tipo granito-gnaisses, pertencem à Província Geológica da Borborema (Complexos Monteiro e Presidente Juscelino), associadas ao Pediplano Sertanejo, caracterizado localmente por altitudes médias de 300 a 500 m, que dão origem a solos rasos e pedregosos, com grande susceptibilidade à erosão (RADAMBRASIL, 1983). Estes terrenos são utilizados predominantemente para uma pecuária extensiva de bovinos e caprinos, associada ainda a uma agricultura de subsistência (feijão preto, milho e mandioca), itinerante e de vazante. A maior parte da área é recoberta por uma vegetação de porte arbóreo baixo e densa, sendo que, no seu quadrante SF

ela se apresenta com uma estrutura arbóreo-arbustiva aberta (condições mais áridas).

4. APRESENTAÇÃO DO SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO ESTRUTURAL DA VEGETAÇÃO DA CAATINGA.

A partir de um estudo local sobre o terreno das principais características fisionômicas e florísticas de sua cobertura vegetal e tendo como base o sistema de classificação proposto por HOWARD & SCHADE (1982), foi estabelecida uma metodologia de classificação ao nível de formação vegetal, adaptada às características próprias e complexas da Caatinga. O sistema proposto é estritamente estrutural, hierárquico e aberto. Para a definição da formação vegetal são analisados: (1) o seu padrão de distribuição horizontal; (2) a sua estratificação; e (3) o grau de recobrimento do solo. Para completar esta análise foram incluídos os conceitos de continuidade e discontinuidade da cobertura vegetal como um todo. Este procedimento metodológico é apresentado sumariamente na Figura 2.

Primeiramente deve-se determinar o tipo do padrão da cobertura vegetal; em seguida, definir o estrato dominante e o seu grau de recobrimento; depois, em função deste recobrimento, deve-se ou não considerar o estrato co-dominante e o seu grau respectivo de recobrimento (estrato dominante esparsa ou aberta); finalmente, no caso de coberturas densas, deve-se determinar a sua continuidade ou discontinuidade, considerando-se a cobertura vegetal como um todo. A nomenclatura utilizada reflete diretamente o resultado desta análise, segundo determinadas regras.

5. CARTOGRAFIAS DE REFERÊNCIA E AVALIAÇÃO DE ÁREAS.

De forma a dispor de uma base de referência segura para a avaliação das imagens MSS7 LANDSAT, foi necessária uma etapa cartográfica da área de Quixabã na escala de 1:100.000. Três cartas estruturais da cobertura vegetal atual e pretérita, utilizando o sistema de classificação proposto, foram obtidas a partir da interpretação das fotografias aéreas obtidas em 1954/56 pela CRUZEIRO na escala de 1:25.000 (pancromáticas), em 1966 pela USAF na escala de 1:70.000 (pancromáticas) e em 1983 por um acordo entre o INPE e a FAB, na escala de 1:20.000 (infravermelhas coloridas). A partir da superposição e comparação dessas cartas foi possível obter uma quarta carta representando a evolução da cobertura vegetal de Quixabã no período de 1955-1983.

Uma avaliação de áreas ocupadas por cada classe estrutural (de um total de 15) classes foi realizada, sobretudo para a carta de 1983. Seus resultados mostram que quase a metade (44%) da área de Quixabã é coberta por formações vegetais arbóreas densas como a Estepe Arbórea. Uma grande parte (quase 20%) é coberta por uma formação Arbórea-arbustiva aberta, como a Estepe Arbórea-arbustiva. A porcentagem de superfície apresentando sinais evidentes de degradação (alta porcentagem de solo nu: > 40%) já é considerável (8%).

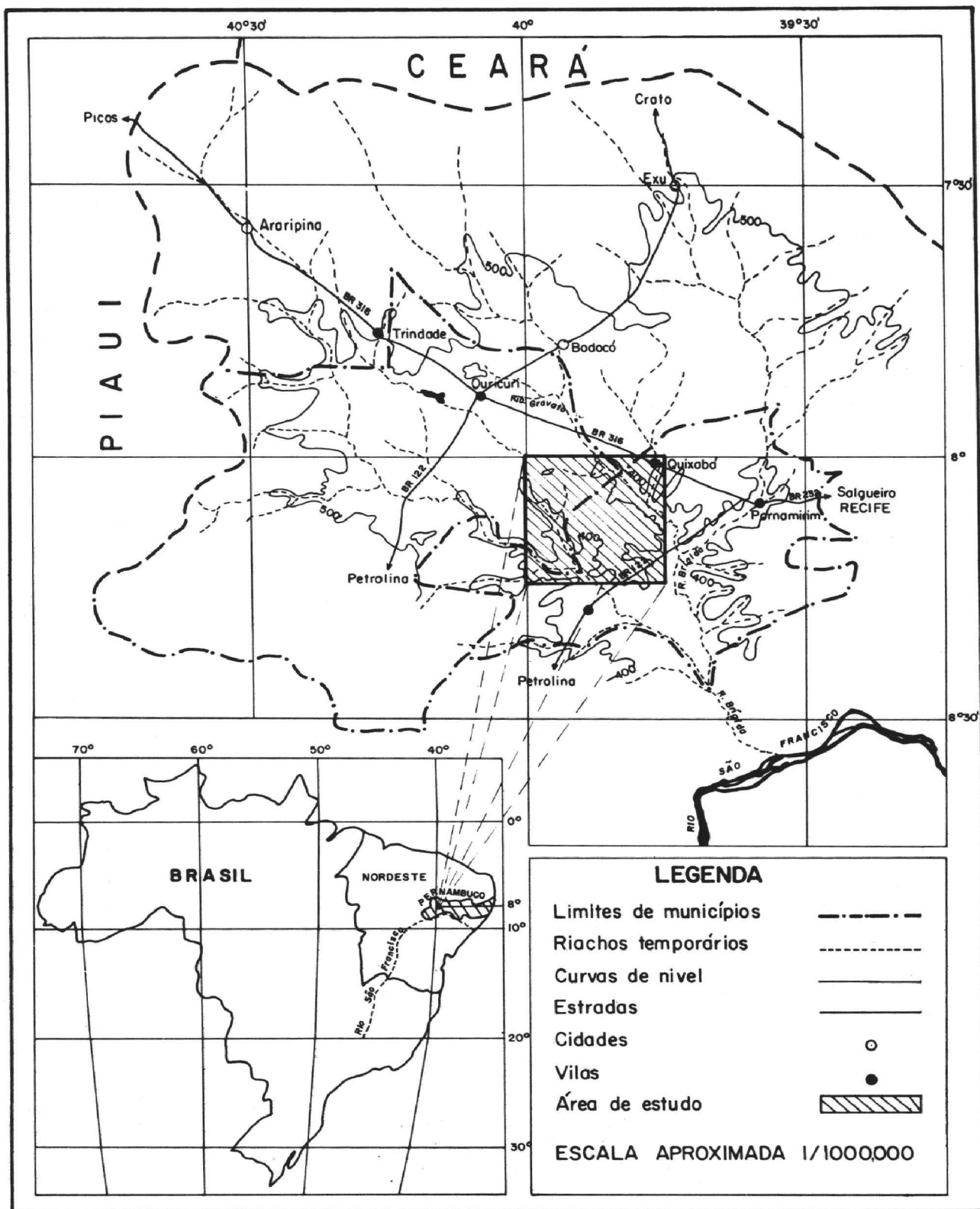


Fig. 1 - Localização da área de estudo de Quixabá

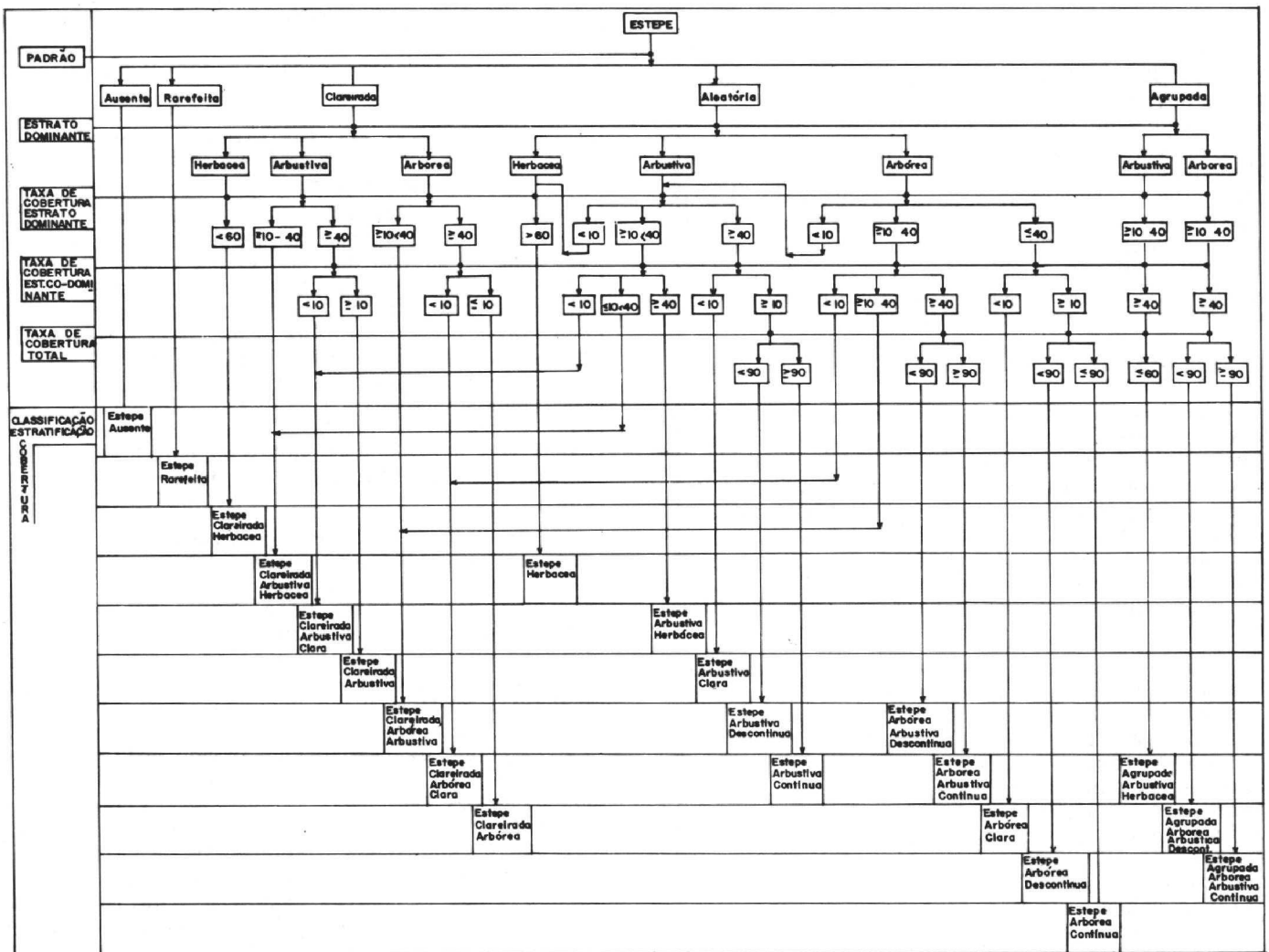


Fig. 2 - Procedimento metodológico para classificação da vegetação estêpica (Caatinga)

Enfim, cobrindo menos de 10% da superfície total, pode-se observar numerosas parcelas agrícolas distribuídas por toda a área, sobretudo ao longo dos vales dos riachos principais, mas, muito menos, no seu setor SE. O tamanho dessas parcelas é predominantemente (> 80%) de pequenas dimensões (inferior à 20 Ha).

A análise da dinâmica 1955-1983, mostrou que a evolução do espaço agrícola ativo se deu sobretudo após 1965, passando de 4,7% em 1955 e 5,2% em 1965 à 9,4% em 1983. Este aumento se deu sobretudo devido à expansão de antigos espaços agrícolas e se concentrou sobretudo na parte Centro-Norte-Oeste de Quixabã. As áreas abandonadas durante este período representavam em 1983, 8,5% da superfície total de Quixabã. Estas áreas apresentam diferentes estágios de desenvolvimento de vegetação espontânea da Caatinga.

Este estudo dinâmico evidenciou a grande estabilidade estrutural e espacial das paisagens ditas naturais e não permitem portanto, o estabelecimento de nenhuma hipótese de desertificação, apesar de que, uma área já significativa de degradação ambiental foi detectada e cobre quase 10% da superfície total de Quixabã, principalmente no seu setor NE. Este espaço "natural" ocupava em 1983 quase 80% da área total, sendo que 60% se mantiveram estáveis e somente 20% apresentaram sinais de evolução progressiva (15%) ou regressiva (5%).

6. ABORDAGEM METODOLÓGICA ORBITAL

A nossa preocupação fundamental foi com o desenvolvimento metodológico de exploração numérica e temática de imagens orbitais, tomando como uma primeira etapa os dados MSS/LANDSAT. Portanto, não nos preocupamos com as técnicas de realce de imagens, nem tampouco com os desempenhos dos diferentes algoritmos de classificação. A metodologia utilizada é tradicional e pode ser representada esquematicamente como na Figura 3.

Diante do nosso objetivo de verificar qual o grau de discriminação e de precisão de identificação das classes estruturais (formações vegetais) da cobertura vegetal de uma região tropical semi-árida, procuramos estudar os seus comportamentos espectrais a partir de uma análise síncrona supervisionada dos dados numéricos disponíveis e em seguida os seus comportamentos dinâmicos, a partir de uma análise diacrônica, sob condições climáticas diversificadas e características deste meio. Em síntese, podemos dizer que efetuamos uma otimização de correspondência entre assinaturas espectrais e classes temáticas, definidas a partir de meios tradicionais de fotointerpretação e uma classificação estrutural adaptada às condições locais e às necessidades do sensoriamento remoto orbital (SELLERON, 1985).

Afim de explorar o melhor possível as possibilidades oferecidas pelo sensor MSS dos satélites da série LANDSAT, analisamos todas as capacidades de informação dos quatro canais brutos (4,5,6 e 7) e dos principais neocanais disponíveis (índice de vegetação, índice de solo,

primeira e segunda componente principal). Da mesma forma, procuramos explorar o potencial máximo do sistema quanto ao aspecto multitemporal. Assim, conseguimos trabalhar com quatro cenas diferentes, obtidas em duas estações típicas (úmida-janeiro e seca-julho/setembro) de dois anos sob condições climáticas extremas (úmido-1973/74 e seco-1983), correspondentes aos pontos 17-18 ou 65-66 da órbita 136 e 217 dos satélites LANDSAT 1 e 4, respectivamente.

De modo a permitir comparações multitemporais e facilitar os procedimentos de avaliação, processamos a correção geométrica das imagens, tomando como base a carta topográfica de Parnaímirim na escala de 1:100.000 (folha IGE, SC.24-V-B-II). Para explorar totalmente as possibilidades radiométricas dos dados, trabalhamos com a escala máxima de ampliação, ou seja 1:100.000. As correções radiométricas se limitaram aos problemas devido aos captadores, de forma a conservar as características originais dos dados utilizados.

7. ANÁLISE MULTIESPECTRAIS E MULTITEMPORAIS.

Apresentamos na Tabela 1 as principais características das imagens utilizadas. O fator limitante para a escolha dessas cenas, foi a cobertura de nuvens que em certos casos atingiu o valor de 70%. Porém, considerando apenas o módulo correspondente à área de estudo, estes valores foram de 3%, 1%, 46% e 0%, para respectivamente as imagens de 07/73, 01/74, 01/83 e 09/83, o que nos obrigou portanto a utilização de cenas com nuvens. As suas qualidades radiométricas variam entre muito boa e boa, salvo a imagem do canal MSS 6 e algumas vezes do canal MSS 7, que podem ser classificadas como de média a quase boa.

De modo a limitar a quantidade de informações a serem utilizadas para a classificação dos dados, realizamos uma análise multiespectral, partindo dos aspectos mais gerais e indo até as particularidades que permitiram a escolha do canal(is) ou neocanal(is) mais favoráveis à discriminação das classes estruturais de vegetação. A análise radiométrica dos canais revelou a sua premacia já clássica das imagens dos canais MSS 5 e 7. Aspectos também confirmados pela análise de correlação, que mostrou ainda a influência dos aspectos temporais (condições climáticas anuais e sazonais) sobre a quantidade e qualidade dos dados espectrais disponíveis. A combinação desses resultados com uma análise preliminar e conjunta das respostas espectrais obtidas a partir de áreas de treinamento correspondentes às 15 classes estruturais definidas anteriormente (nível aéreo), permitiu a seleção e combinação dos canais mais favoráveis, ou seja, os canais MSS 5 e 7 e os neocanais IB - Índice do Solo e CPI - Primeira Componente Principal. Permitiu também o reconhecimento de uma grande confusão entre as classes, possibilitando apenas a discriminação de três conjuntos estruturais: (1) estruturas descobertas; (2) estruturas arbóreo-arbustivas abertas; e (3) estruturas arbóreo-densas. Assim como mostrou que a estrutura da cobertura vegetal da Caatinga desempenha um papel fundamental sobre a sua resposta espectral.

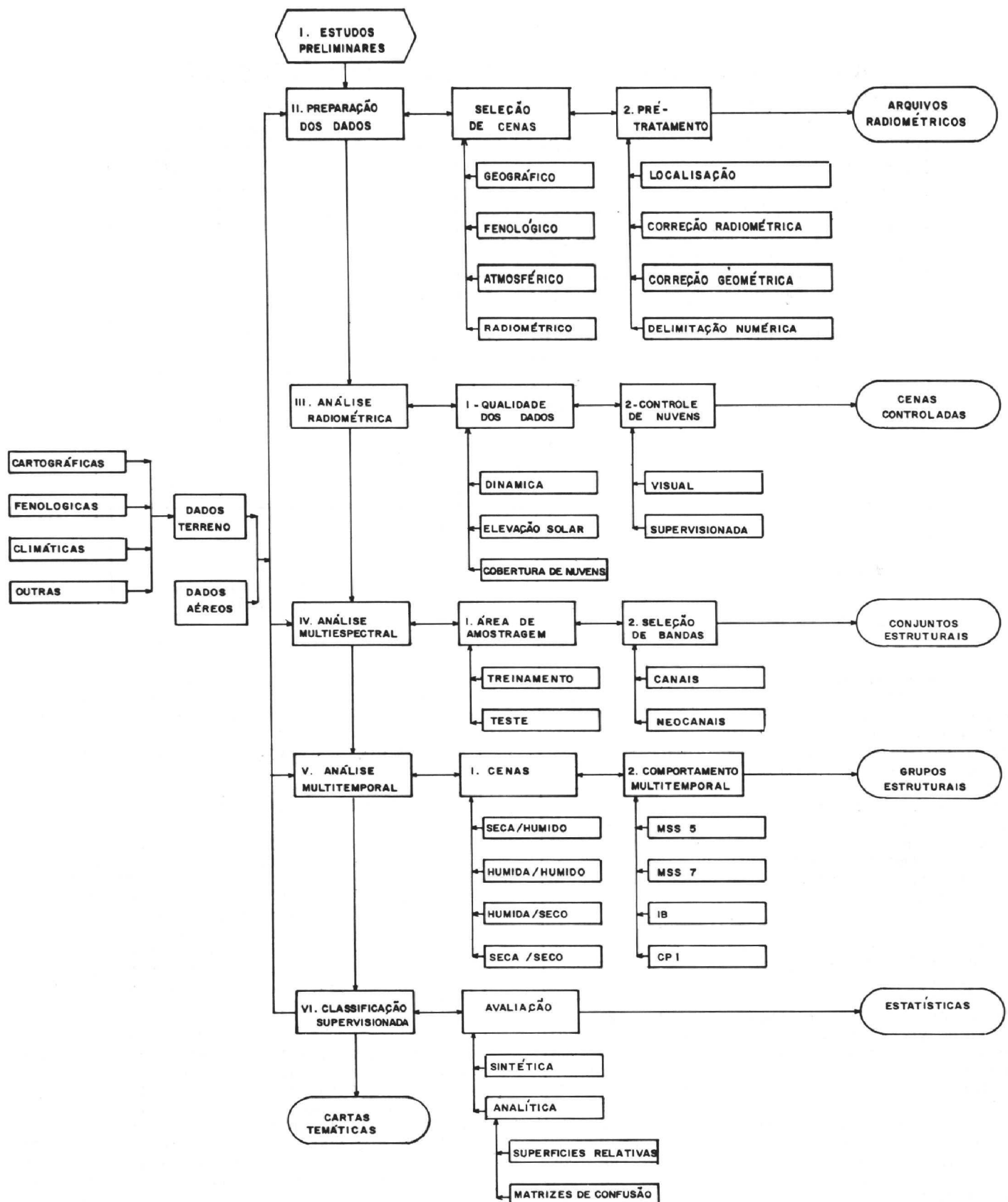


Fig. 3 - Representação metodológica esquemática

TABELA 1

IDENTIFICAÇÃO E QUALIDADE RADIOMÉTRICAS DOS DADOS DO SATELITE MSS/LANDSAT

IMAGEM		DATA	IDENTIFICAÇÃO	SAT.	COB. %	QUALIDADE RADIOMÉTRICA				ELEVACÃO DO SOL
ORB.	PT.					4	5	6	7	
136	17	28/07/73	73.209-121.729	1	30	8	8	5	6	43
	18	28/07/73	73.209-121.754	1	00	8	8	5	6	44
136	17	06/01/74	74.006-121.439	1	70	8	8	5	8	50
	18	06/01/74	74.006-121.504	1	30	8	8	5	8	51
217	65	12/01/83	83.012-121.635	4	40	7	7	7	7	50
	66	12/01/83	83.012-121.700	4	30	8	8	8	8	51
217	65	09/09/83	83.252-121.711	4	20	8	8	8	8	51
	66	09/09/83	83.252-121.734	4	00	8	8	8	8	52

ESCALA DE QUALIDADE RADIOMÉTRICA		
9 = Excelente	5 = Médio	2 = Ruim
8 = Muito boa	4 = Medíocre	1 = Muito ruim
7 = Boa	3 = Quase ruim	0 = Inútil
6 = Quase boa		

Após as escolhas espectrais e uma primeira análise de discriminação de classes estruturais procedemos a análise multitemporal dos dados, procurando estabelecer o agrupamento de classes estruturais segundo as suas afinidades espectrais e separação significativa, aos quais denominamos "grupos estruturais". A partir de estatísticas de tendência central, estabelecemos pelo método geométrico o espaço espectral ou assinatura espectral, representado por elipsoide, o que nos permitiu a proposição de discriminações de sete grupos estruturais ou grupos de formações vegetais.

Os resultados desta análise multitemporal mostraram que as condições secas, primeiramente as de caráter anual ou cíclicas e em seguida sazonais, são mais favoráveis para a discriminação dos grupos estruturais, sendo a superposição delas (ano seco/estação seca) a condição ideal no presente estágio de pesquisa. As condições húmidas (anual e/ou sazonal) provocam uma grande uniformização das respostas espectrais de cobertura vegetal e conseqüentemente não permitem a discriminação das classes temáticas. Por outro lado elas são favoráveis para a identificação de solo nu e portanto de condições de degradação da vegetação. Convém observar que os limites estabelecidos entre as classes são sempre de natureza arbitrária, comum a todo e qualquer sistema de classificação.

A imagem do canal MSS 5, mostrou-se a mais favorável para a identificação da estrutura vegetal e a do canal MSS 7, para a observação de fenômenos de caráter fenológicos, como por exemplo persistência foliar. O neocanal IB - Índice do Solo apresenta características intermediárias

(entre o MSS 5 e 7), colocando em evidência a influência do solo nu. A primeira componente principal - CPI, combina de uma maneira geral as vantagens de todos os canais e neocanais e atenua os efeitos devidos às condições climáticas e sazonais.

8. CLASSIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO

As quatro cenas correspondentes à área de Quixabá, foram classificadas pelo método supervisionado, segundo um procedimento de delimitação visual de espaços espectrais, baseado nos princípios de máxima probabilidade, a partir de representações bidimensionais (MSS 5 x 7 e IB x CPI) de respostas espectrais dos sete grupos estruturais. A capacidade de classificação varia em função das condições anuais e sazonais do clima local.

Confirmando análises anteriores, as condições secas favoreceram a discriminação das classes temáticas, sendo possível a identificação dos sete grupos estruturais com a combinação adequada de canais e neocanais. Por outro lado, as condições húmidas provocaram uma grande confusão entre as classes de cobertura vegetal, tanto sob o ponto de vista de identificação, como de distribuição espacial, limitando a identificação para somente 3 e 4 grupos estruturais. A condição ano seco (1983) e estação húmida (janeiro) parece favorecer a discriminação de classes extremas, porém a quantidade e características da cobertura de nuvens da imagem correspondente, não permitiu a obtenção de resultados conclusivos.

A utilização da combinação de neocanais (IB x CPI) fornece um resultado mais adequado, proporcionando uma maior homogeneidade temática da classificação. A combinação dos canais (5 x 7) permite evidenciar as estruturas semi-decíduas, não distinguíveis na combinação anterior.

Para avaliação dos resultados, foram empregados três métodos: (1) abordagem sintética por comparações visuais; (2) abordagem analítica por superfícies relativas; e (3) abordagem analítica por matrix de confusão (FLOUZAT, 1982). Devido a limitações de correspondências de dados do terreno e cartografia de base, com as cenas utilizadas e a presença de nuvens sobre a área, grande parte destas avaliações foram limitadas ao resultado da classificação da imagem de 09/09/83.

Para aplicação do primeiro método, foi necessário a elaboração de uma carta estrutural, sintetizando as informações temáticas obtidas por fotointerpretação de dados de 1983 (15 classes temáticas) em sete grupos estruturais, definidas na etapa precedente. A comparação classificação/carta síntese mostrou a boa concordância geral, principalmente relativa aos espaços agrícolas e de solo nu, permitindo a caracterização de toda a complexidade e tamanho do parcelar agrícola da área de Quixabã. Os espaços "naturais" foram bem caracterizados, sobretudo se considerarmos apenas três classes fundamentais: (1) cobertura vegetal aberta e baixa (arbustiva-herbácea); (2) cobertura vegetal arboreo-arbustiva descontínua; e (3) cobertura vegetal arborea densa. Classes de cobertura vegetal complexa, com a presença de numerosas clareiras ou formações claras (mono-estrato), apresentam sérios problemas de confusão. Apesar disto, sua representação espacial geral pode ser percebida

A comparação de superfícies relativas mostrou também uma boa concordância, confirmando os resultados visuais anteriores. Porém a análise pela matriz de confusão, apresentou resultados até certo ponto discordantes, pondo em evidência a grande complexidade da área e a dificuldade dos algoritmos de classificação de apreenderem esta realidade do terreno, bem como a importância das condições climáticas sobre os resultados obtidos. As áreas desprovidas de vegetação são bem identificadas sob todas as condições climáticas (melhor sob condições húmidas). As estruturas do tipo arbustivo-herbáceo, arboreo-arbustivo descontínuo e arboreo-denso, podem ser identificados somente sob condições secas. E as estruturas complexas do tipo clareirada clara e semi-decídua, apresentam grandes confusões, permitindo apenas a apreensão do conjunto, revelada pelos resultados da análise visual. Nestes casos torna-se imperativo o desenvolvimento de novos algoritmos de classificação, onde o aspecto textural seja incluído.

9. CONCLUSÕES

Para avaliar os limites e as possibilidades do sensoriamento remoto num meio tão complexo e confuso como a "estepe florestal" da Caatinga do Quixabã, foi imperativo propor um sistema de classificação da vegetação compatível com este meio e os produtos orbitais:

- Este sistema é estritamente estrutural, hierárquico e aberto, levando em consideração os aspectos de padrão, estratificação e recobrimento do solo;
- A aplicação deste sistema no terreno e sobre fotografias aéreas permitiu a identificação e cartografia de 15 classes estruturais ou formações vegetais na escala de 1:100.000;
- A comparação das cartografias multitemporais (1955, 1965 e 1983) possibilitou constatar uma grande estabilidade do ambiente natural e uma forte expansão das áreas agrícolas sobretudo após 1965;
- A análise de dados MSS/LANDSAT, mostrou que a cobertura de nuvens é um fator muito limitante, sobretudo para estudos multitemporais, do trópico semi-árido brasileiro e os resultados mostraram um fraco poder de discriminação desses dados para as estruturas vegetais definidas anteriormente e que o nível máximo de classificação fisionômicas é o de grupos de formações, condicionada fundamentalmente pelas condições climáticas anuais e sazonais reinantes no momento da tomada dos dados. As variações multitemporais devido a essas condições e a confusão entre classes, não permitem estabelecer tendências evolutivas nos espaços ditos naturais. Por outro lado, o fenômeno de expansão agrícola é remarcavelmente percebido, confirmando assim seu caráter relativamente recente e rápido, sobretudo após 1974.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CARVALHO, V.C. *Structure et dynamique de la végétation en milieu tropical semi-aride - La Caatinga de Quixabã (Permambouc, Brésil) du terrain à l'analyse des données MSS/LANDSAT. Thèse de Doctorat de l'Université de Toulouse II - Le Mirail. Toulouse, 1986. 332 p.*
- FLOUZAT, G. *Cartographie automatique des unités écologiques du Parc National des Cévennes par Télédétection spatiale. Toulouse, CESR. 161 p. (EUR 8270 FR).*
- HOWARD, J.A. & J. SCHADE. *Towards a standardized hierarchical classification of vegetation for remote sensing. Rome, FAO, 1982. 30 p. (RSC series 11).*
- LOMBARDO, M.A. & V.C. de CARVALHO. Preliminary analysis of the potential of Landsat imagery to study of desertification. *Proceedings of the 14th Intern. Symp. on Remote Sensing of Environment. ERIM, Ann Arbor, Michigan. pp. 645-652.*
- MOLINIER, M.L. & P.S. de S. MAGALHÃES. *Estudo espaço-temporal da pluviometria da região de Ouricuri, PE. Petrolina, PE, EMBRAPA - CPATSA/SUDENE, 1985. 62 p. (EMBRAPA-CPATSA, Documentos, 36).*
- RADAMBRASIL. *Folhas SC. 24/25 Aracaju/Recife. Rio de Janeiro, RJ, RADAMBRASIL, 1983. 856 p. (Levantamento de Recursos Naturais, 30).*

- ROBINSON, V.B.; J.C. COINER; T.H. BARRINGER.
Dynamic modeling of vegetation change in
arid lands. In: INTERN. SIMP. ON REMOTE
SENSING OF ENVIRON., THEMATIC CONFERENCE:
"Remote Sensing of arid and semi-arid lands"
1., Cairo, Egypt, January 19-25.
Proceedings. Ann Arbor, MI., ERIM, V.1:
121-131.
- SELLERON; G. *Télédétection et Forêt*.
Dynamique de la forêt landaise de 1975 à
1985 (Landsat et simulation SPOT). Toulouse
CNRS, 1985. 336 p.