

UTILIZAÇÃO DE IMAGENS LANDSAT TM NO INVENTÁRIO
HIDROENERGÉTICO DA BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL

Augusto Paiva Filho
THEMAG ENGENHARIA LTDA.
Caixa Postal 1449, 01415-São Paulo-SP-Brasil

Carlos Bianco
THEMAG ENGENHARIA LTDA.
Caixa Postal 1449, 01415-São Paulo-SP-Brasil

Tania Maria Sausen
Instituto de Pesquisas Espaciais
Ministério da Ciência e Tecnologia
Caixa Postal 515, 12201-São José dos Campos
São Paulo-SP-Brasil

RESUMO

A THEMAG Engenharia Ltda., em cumprimento a um contrato firmado com FURNAS Centrais Elétricas S.A., desenvolveu os estudos de inventário na Sub-Bacia II, da Bacia Hidrográfica do rio Paraíba do Sul. Estes estudos visaram estabelecer no rio Paraíba do Sul, no rio Pombo e alguns afluentes, notadamente os rios São Manoel, Xopotó e Novo, uma alternativa adequada de divisões de quedas, para o aproveitamento do potencial hidrelétrico destes rios.

Nos estudos de usos e ocupação do solo relativos à área a ser inundada pelos reservatórios das barragens projetadas, incluindo uma extensão lateral do perímetro de cada reservatório de largura arbitrária considerada como sendo de influência, ou tendo como limites o divisor de águas, foram utilizados produtos digitais TM.

ABSTRACT

THEMAG Engenharia Ltda, satisfying a Contract settled with FURNAS Centrais Elétricas S.A. developed a power study in an inventory level in the Paraíba Basin, Sub-Basin II. This study aimed to establish in the Paraíba do Sul River and some afluentes, mainly the São Manoel, Xopotó and Novo Rivers, suitable alternatives for power plants scheme in a most suitable profile.

Regarding the land use studies carried out over the planned reservoirs and their surrounding areas TM digital products were used. The CCT's TM Quadrant Digital Products with desired spectral bands selected for such purpose was useful to identify and survey such a land use categories:

1. Urban Areas
2. Agriculture Areas
3. Forest Areas
4. Grazing Areas
5. Drainage.

1. INTRODUÇÃO

Os estudos de uso e ocupação do solo visaram a identificação e o levantamento do seguim

te elenco de categorias de uso do solo:

1. Áreas urbanas ou construídas;

2. Lavouras ou culturas de várzea;

3. Matas naturais, re-florestadas ou regeneradas;

4. Campo ou pasto;

5. Drenagem (água).

A escolha dessas grandes classes prendeu-se a dois aspectos fundamentais:

- O primeiro, função do produto de sensoriamento utilizado; ampliações até uma escala aproximada 1:50.000 a partir de uma imagem de satélite cuja escala original é 1:2.000.000, ocasionando perda de nitidez; o imageamento de regiões de relevo acidentado e montanhoso, com zonas de sombra disseminadas, com enfraquecimento das reflexões das ondas eletromagnéticas; respostas espectrais bastante próximas de certas classes tais como campo natural seco e pasto seco.

- O segundo, função do objetivo deste trabalho, que pretende obter informações a nível de inventário, que não exige maior aprofundamento, mas basicamente identificar essas grandes classes de uso e ocupação permitindo identificar (qualificar e quantificar) as grandes classes no nível de precisão desejável.

A partir da comparação dos dados obtidos por este processo com as informações censitárias, os mapas pedológicos, os demais dados de infra-estrutura e análises desenvolvidas foi possível obter-se a avaliação dos prováveis efeitos do processo de implantação dos aproveitamentos sobre a organização espacial e sócio-econômica regional.

2. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

A bacia do rio Paraíba do Sul, abrangendo uma área total de 55.400 km², localiza-se entre os paralelos 20°26' e 23°38' e os meridianos 41° e 46°30', inserindo-se na região Sudeste. Limita-se ao Norte, pelo divisor da Serra da Mantiqueira, a Leste pelas Serras dos Órgãos e do Mar, ao Sul pela Serra do Mar e a Oeste, por diversas ramificações dos maciços pertencentes à Serra do Mar e da Mantiqueira.

A Companhia Furnas Centrais Elétricas S.A., de posse da concessão para estudos hidroenergéticos e instalações de usinas hidrelétricas na bacia hidrográfica do Paraíba do Sul, subdividiu a referida bacia em três sub-bacias. A Sub-Bacia II, com uma área aproximada de 12.450 km², distribui-se entre os estados do Rio de Janeiro e Minas Gerais

3. OBJETIVO DOS ESTUDOS

Os estudos de Inventário Hidroenergético fazem parte do conjunto de trabalhos destinados à utilização dos recursos hídricos como fonte de energia renovável tão necessários ao desenvolvimento nacional e promoção da qualidade da vida do homem. Após a "Estimativa do Potencial Hidrelétrico", que é a primeira avaliação do potencial, do número de locais barráveis e do custo do aproveitamento desse potencial, desenvolve-se o Inventário.

O Inventário deve estabelecer a determinação do potencial energético da bacia, estabelecendo a melhor divisão da queda e estimativa do custo de cada aproveitamento. Nesses estudos um dos fatores mais importantes é a avaliação dos impactos causados pelos barramentos pretendidos, tanto a nível de custos quanto nos aspectos ambientais, quer sócio-econômicos, quer físicos.

A evolução dos recursos de sensoriamento remoto observada nos últimos tempos coloca à disposição imagens de satélite que cobrem ciclicamente a superfície da terra, fornecendo uma gama muito intensa de informações atualizadas a respeito do uso e ocupação do solo.

Para avaliação das transformações ocorridas, pode-se recorrer à análises comparativas com imagens armazenadas, datadas de alguns anos atrás, do ponto de partida do tempo pretérito desejado.

O objetivo do estudo desenvolvido foi avaliar, no momento de sua utilização, a distribuição dos vários usos existentes, tanto quantitativamente como qualitativamente para permitir o estudo de impactos dos pontos de vista físicos, social

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

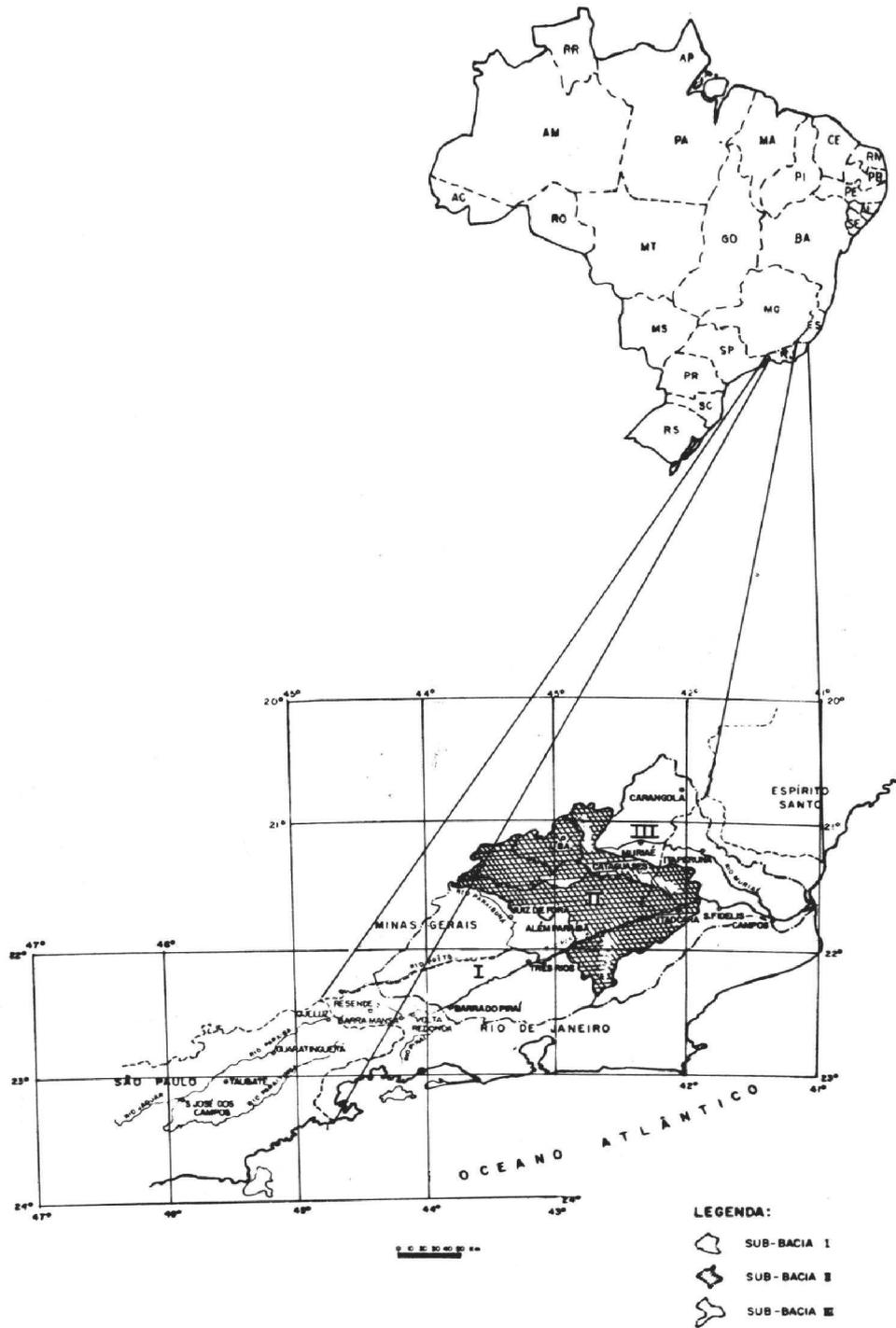


FIG. 1

e econômico na região, da criação de reservatórios que inundam parcelas significativas de terras, e de custos envolvidos para o empreendimento, assim como, para determinação das ações a serem desenvolvidas para minimização dos efeitos negativos e maximização dos benefícios oriundos dos novos recursos que serão colocados à disposição da região: perda de terras versus água em cota elevada e energia disponível.

Os trabalhos desenvolvidos permitiram o conhecimento atual da distribuição e quantificação das áreas urbanas ou construídas, lavouras, matas, campos ou pastos e linhas de drenagem, e conseqüentemente, da avaliação das parcelas a serem afetadas nas várias alternativas analisadas. O estudo assim realizado foi de grande auxílio na escolha dessas alternativas permitindo o equacionamento equilibrado das ações propostas.

4. METODOLOGIA

4.1 Escolha do Produto TM

Primeiramente, procedeu-se a escolha dos produtos digitais TM, fitas CCT contendo informações correspondentes às bandas 1, 2, 3 e 4, das cenas ou quadros de cena que recobrissem a região estudada. Desta forma foram selecionadas para a Sub-Bacia II as seguintes fitas CCT: ORB. 217/Pt.75 - Q.A; ORB. 217/Pt.75 - Q.B; ORB. 217/Pt.75 - Q.D.; ORB. 216/Pt.75 - Q.C.

4.2 Separação dos Módulos

De posse de tais produtos, passou-se à identificação dos locais de barramento e, conseqüentemente, da área dos reservatórios no vídeo do computador GE-I-100 do INPE. Esta identificação foi feita por analogia com folhas topográficas na escala 1:50.000, nelas contidas todas as informações necessárias. Cada área delimitada, englobando, o eixo de barramento e o respectivo reservatório, foi denominada módulo.

Uma vez situados os eixos de cada barramento e reservatório no vídeo do I-100, procedeu-se ao ajuste da escala para 1:50.000, e à tomada das coordenadas correspondentes a cada módulo visualizado.

Antes de tal procedimento, no entanto, procurou-se corrigir o fator circunferência da terra ou "skew".

Os módulos assim determinados foram os seguintes, com as respectivas coordenadas e denominados segundo o sítio de barramento.

- A - Imagem 217.75D
 - THE 01 - Paquequer
 - X1 - 1192; Y1 - 945
 - X2 - 1703; Y2 - 1456
 - THE 02 - São Sebastião do Paraíba / Complementar
 - X1 - 1376; Y1 - 707
 - X2 - 1887; Y2 - 1218
 - THE 03 - São Sebastião do Paraíba / Complementar
 - X1 - 1787; Y1 - 518
 - X2 - 2298; Y2 - 1029
 - THE 04 - Simplício
 - X1 - 633; Y1 - 1276
 - X2 - 1144; Y2 - 1787
- B - Imagem 217.75B
 - THE 06 - Bonito
 - X1 - 2127; Y1 - 1680
 - X2 - 2638; Y2 - 2191
 - THE 07 - Itapirucu
 - X1 - 1783; Y1 - 1524
 - X2 - 2294; Y2 - 2035
 - THE 08 - Itapirucu / Complementar
 - X1 - 1531; Y1 - 1569
 - X2 - 2042; Y2 - 2080
 - THE 09 - Cataguases / Monte Cristo
 - X1 - 411; Y1 - 1506
 - X2 - 922; Y2 - 2017
 - THE 10 - Xopotó
 - X1 - 164; Y1 - 1043
 - X2 - 675; Y2 - 1554
 - THE 22 - Monte Cristo / Complementar
 - X1 - 225; Y1 - 1230
 - X2 - 736; Y2 - 1741
- C - Imagem 217.75A
 - THE 11 - Ituerê
 - X1 - 2268; Y1 - 1547
 - X2 - 2779; Y2 - 2058
 - THE 12 - Ituerê / Complementar
 - X1 - 1852; Y1 - 1431
 - X2 - 2363; Y2 - 1942
 - THE 13 - Ituerê / Complementar
 - X1 - 1865; Y1 - 1210
 - X2 - 2376; Y2 - 1721
 - THE 14 - Gonçalves

X1 - 2200; Y1 - 1171
X2 - 2711; Y2 - 1682

THE 15 - Gonçalves/Com
plementar
X1 - 2146; Y1 - 1680
X2 - 2657; Y2 - 1230

D - Imagem 216.75C

THE 16 - Itaocara
X1 - 855; Y1 - 863
X2 - 1366; Y2 - 1374

THE 17 - Itaocara/Com
plementar
X1 - 746; Y1 - 900
X2 - 1257; Y2 - 1411

THE 18 - Itaocara/Com
plementar
X1 - 505; Y1 - 1047
X2 - 1016; Y2 - 1558

THE 19 - Aperibé
X1 - 966; Y1 - 433
X2 - 1477; Y2 - 944

E - Imagem 217.75 Centro

THE 20 - Araci
X1 - 1573; Y1 - 236
X2 - 2084; Y2 - 747

THE 21 - Araci/Comple
mentar
X1 - 1348; Y1 - 237
X2 - 1859; Y2 - 748

4.3 Fotografia dos Módulos

Este procedimento consistiu em fotografar o vídeo do computador I-100 e o módulo irradiado utilizando com filme de sensibilidade ISO-100, câmera fotográfica convencional adaptada a um tripé, usando velocidade baixa para o obturador e tomando os devidos cuidados com a intensidade de luz.

A norma para o realçamento e a fotografia dos módulos foi a seguinte:

- Correção radiométrica, para corrigir o bandeamento inerente às imagens LANDSAT.

- Realçamento por meio do programa de realce de contraste (Contrast Stretch).

- Uma foto combinando os seguintes canais:

- . canal 2 (filtro azul)
- . canal 3 (filtro verde)
- . canal 4 (filtro vermelho)

- Uma foto combinando os seguintes canais:

- . canal 1 (filtro azul)
- . canal 3 (filtro verde)
- . canal 4 (filtro vermelho)

- Uma foto só do canal 4.

4.3.1 Interpretação Visual dos Módulos

Uma vez identificados e fotografados os módulos correspondentes às áreas dos reservatórios, foram elaboradas ampliações fotográficas em papel mate, de dimensões 30 x 40 cm, de maneira a reproduzir o formato do vídeo do computador I-100, de dimensões 30 x 28,5 m com imagem na escala aproximada 1:50.000.

De posse de tais ampliações fotográficas, geralmente duas para cada módulo na combinação dos canais 1, 3 e 4 e 2, 3 e 4, (em falsa cor), procedeu-se a interpretação visual das regiões de interesse, no intuito de se separar as diferentes classes de uso e ocupação do solo.

O procedimento, na realização desta etapa final dos trabalhos, foi a análise visual das fotografias em falsa cor.

Em fotografias desta natureza, as diferentes classes estipuladas no mapeamento respondem segundo uma característica. O alvo "água" dá resposta em cor preta, o alvo "pasto", de cor verde, dá resposta em azul ou verde azulado, o alvo "solo" de cor vermelha, responde em verde, o alvo "mata", densa, reforestada ou regenerada, com alta densidade de folhas, cuja reflectância no infra-vermelho é intensa, responde em vermelho vivo.

Nos trabalhos de identificação das classes por fotointerpretação visual, no entanto, levou-se em consideração fatos reais de que, no terreno, tais alvos sofrem interações. De posse das fotos interpretadas, de fotos aéreas de data anterior (aproximadamente 15 anos) foi realizada visita ao campo para uma determinação mais precisa dessas interações. É importante salientar que a viagem foi realizada em estação equivalente a das imagens escolhidas, ou seja, 1 (hum) ano após, também em época de estiagem.

Decorrente do exposto, observou-se que para as classes "água", que contém partículas de argila de cor vermelha em suspensão, "pasto seco" que não contém o solo vermelho, "pasto de gramíneas mais verdes" com

maior densidade de clorofila, a "cultura de gramíneas em terreno alagado", o "solo úmido arado", a "rocha aflorante misturada com solo vermelho", a "mata densa" ao lado de "mata desfolhada" e "capoeirões", etc., as respostas espectrais sofrem também interações, resultando em nuances misturadas ou esmaecidas. Decorrente do exposto, alvos delineados na fotointerpretação estão representados da seguinte forma, nas fotografias em falsa cor a partir das duas combinações de canais, levando-se em consideração que a diferença entre estas combinações se caracteriza por uma densidade de maior de tons azulados na combinação dos canais 1, 3 e 4:

ÁGUA: em preto quando pura, em preto esverdeado quando com argilas em suspensão, em preto azulado a branco azulado quando reflete o sedimento do fundo.

PASTO: em azul a azul esverdeado quando seco, apresentam nuances cor-de-rosa quando mais verde. O azul esverdeado representa maiores exposições de solo vermelho.

CULTURAS DE VÂRZEA: de cor azul marinho quando exposto terra arada em terreno molhado, ou quando com restieiras de culturas (arroz). Cor-de-rosa quando a cultura da gramínea é jovem com folhas verdes. Verde amarelada quando a terra preparada tem cor vermelha. Branco-azulado quando a terra arada tem cor clara.

MATA: em vermelho vivo quando densa, ou em tons levemente róseos quando na forma de capoeirões ou mata regenerada.

ROCHA AFLORANTE: em tons esbranquiçados, misturados com o verde azulado do pasto ou com o rosado dos capoeirões esparsos.

AGLOMERADOS URBANOS: em branco azulado, com tons azuis marinho refletindo calçamentos ou asfalto.

Baseado nestas informações a respeito das respostas em colorido para cada alvo, as diferentes classes de uso e ocupação do solo foram identificadas e delineadas em "overlay"

Uma vez elaborados mapas preliminares, estes foram comparados com informações obtidas

da fotointerpretação sobre fotos aéreas convencionais em branco-e-preto. Esta comparação permitiu um maior ajuste na delimitação das classes, uma vez que em quinze anos, desde a época da tomada das fotos aéreas mais antigas, a região sofreu muito pouca modificação antrópica. Esta comparação foi feita mediante o uso de aparelho ótico equalizador de escalas.

Para cada módulo interpretado, foram elaborados dois "overlays" finais, um contendo informações sobre a distribuição das matas naturais, e outro contendo a delimitação das áreas de cultivo em várzeas. Superpondo-se os dois "overlays", o restante da área é correspondente à região em que predomina a classe campo ou pasto.

Estes "overlays" mostram ainda a delimitação de cada reservatório, e do divisor de águas da bacia, ou a delimitação de uma área considerada como sendo influente ao reservatório. O "overlay" contendo a classe "mata" mostra ainda o traçado da drenagem secundária.

As áreas das classes assim determinadas foram planimetradas para a obtenção dos dados quantitativos a cada uma delas. Esses valores foram apresentados no relatório de estudos finais de inventário, encaminhados à FURNAS Centrais Elétricas S.A.

4.4 Classificação Temática

Como uma tentativa de mostrar a viabilidade de utilização de classificação temática, para mapeamento de uso do solo da área de estudo, fez-se uma classificação das áreas referentes aos módulos 16 (Itaocara), 17 (Itaocara/complementar), 18 (Itaocara complementar), através do Sistema MaxVer.

Este sistema, destina-se a classificação ponto a ponto de imagens multiespectrais, utilizando o critério de máxima verossimilhança, segundo classes escolhidas interativamente pelo usuário.

Para esta classificação foram escolhidas quatro áreas de treinamento distintas, a saber: água, mata, pasto e área de várzea.

Os parâmetros do treinamento para o módulo 17 são descritos a seguir:

Canais utilizados - 2 3 4
 Nº de dimensões - 3
 Nº de classes - 4
 Nº de amostras - 11

Classes:

1. água
 2. mata
 3. pasto
 4. várzea

Novos canais - 2 3 4

Parâmetros da classe 1-água
 Nº de pontos - 16
 Média - 57,13; 84,13; 73,44
 Matriz de covariância
 2.98 -2.27 -3.43
 -2.27 18.48 7.07
 -3.43 7.07 8.50

Parâmetros da classe 2-mata
 Nº de pontos - 72
 Média - 50,36; 64,64; 52,56
 Matriz de covariância
 3.45 3.66 7.77
 3.66 20.87 32.41
 7.77 32.41 75.55

Parâmetros da classe 3-pasto
 Nº de pontos - 108
 Média - 65,94; 99,60; 126,09
 Matriz de covariância
 12.54 22.92 29.53
 22.92 61.44 85.68

Parâmetros da classe 4- várzea
 Nº de pontos - 72
 Média - 64,47; 98,60; 105,94
 Matriz de covariância
 28.25 49.68 69.78
 49.68 98.77 132.87
 69.78 132.87 199.38

A figura 3 apresenta a matriz de classificação deste mesmo módulo.

Esta matriz fornece uma primeira avaliação da separabilidade entre as classes adquiridas no treinamento, ou de amostras de áreas testes. A matriz permite verificar entre quais classes está havendo interferência e quais estão separadas.

No caso de classes cujas distribuições se sobrepõem (interferência), isto pode ser devido a imprecisão na aquisição das amostras, ou porque as classes são realmente semelhantes.

Pela matriz de classificação apresentada na figura 3, pode-se observar que a classe água foi a que se apresentou com

maior separabilidade (100%) e a classe várzea foi a que apresentou a maior interferência (87,5%). Isto se deve ao fato, de que a água, neste módulo apresentou um grande contraste em relação a todos os outros alvos, sendo o mais fácil de ser definido.

MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO

	N	1	2	3	4
AGUA	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
MATA	0.0	0.0	97.2	0.0	2.8
PASTO	0.0	0.0	0.0	92.6	7.4
VARZEA	0.0	1.4	0.0	11.1	87.5

Desempenho médio DM - 92.9%
 Abstenção média AM - 0.0%
 Confusão média CM - 7.1%

Figura 3 - Matriz de classificação das áreas testes selecionadas

Já a classe várzea apresentou sobreposições com as classes pasto (7,4%) e mata (2,8%). Isto ocorre, porque nas áreas de várzea, há a presença de vegetação de gramínea e/ou mata ciliar, favorecendo assim a interferência na classificação destas três classes.

Durante os trabalhos de campo, foi feita uma verificação desta classificação realizada no Sistema I-100. Nesta ocasião, foi possível constatar que as classes obtidas correspondiam ao tipo de cobertura vegetal observado no campo.

Foi possível constatar que a classe pasto, ocupa a maior extensão em área, correspondendo as áreas de vertentes e encostas. As áreas de mata, estão localizadas em sua maior parte, nos topos dos morros.

A classe água, restringe-se basicamente a lâmina d'água do rio Paraíba do Sul. Isto ocorre, porque apenas este rio, na área, tem largura compatível com a resolução do satélite (30 m). Os outros rios, são de porte muito pequeno, não sendo possível classificá-los.

A classe várzea, ocorre em sua maior parte, na várzea do rio Paraíba, devido a sua maior extensão.

Provavelmente, as áreas desta classe, que aparecem em direção as encostas, são as que

favorecem a interferência com as classes pasto e mata.

5. Conclusões

O desenvolvimento dos trabalhos, através da metodologia adotada mostrou alguns pontos importantes, que em outros trabalhos deverão ser bastante cuidados:

A) As imagens TM/LANDSAT foram bastante adequadas ao objetivo pretendido e são poderosas auxiliares nos estudos de planejamento intregado, em especial nos de bacias hidrográficas, tanto pela qualidade do produto quanto na quantidade de informações obtidas, além de permitir estudos comparativos ao longo do tempo.

B) O relevo montanhoso e acidentado da região estudada, com zonas de sombra disseminadas, dificultou a análise realizada e o detalhamento mais preciso de alguns usos, exigindo um a puramento através de observações locais. As regiões mais planas se mostraram mais adequadas ao uso de sensoriamento remoto com a metodologia adotada.

C) A utilização de imagens de uma só época do ano (estiagem) reduziu as análises possíveis e as projeções desenvolvidas quanto ao uso e ocupação do solo. A utilização simultânea de imagens na estação chuvosa auxiliária nos estudos definindo mais claramente as várias classes de uso e ocupação.

D) A verificação de campo foi extremamente valiosa e não deve ser dispensada em função das interações detectadas. Permite inclusive uma visualização bastante objetiva dos recursos do instrumento e sua correta utilização.

E) Neste trabalho foi possível verificar-se, que a classificação temática, por meio do sistema MAXVER, é viável na área de estudo. Esta, devido ao relevo acidentado e a própria ação antrópica existente na área de estudo, apresentou algumas interferências entre as classes, porém ainda com uma alta porcentagem de acerto. Provavelmente, em áreas de relevos mais planos tais como chapadões e planícies

das diferentes regiões do Brasil, este tipo de classificação apresenta melhores resultados.

6. Bibliografia

RIBEIRO, E.A.; MITSUO II, F.A.; MOREIRA, J.C.; DUTRA, L.V. *Manual de usuário dos sistemas de tratamento de imagens digitais - Versão 1*; INPE, S. S. Campos, SP, out./82.

SAUSEN, T. M.; AQUINO, L.C.S. *Mapeamento geomorfológico da área-programa do Careiro-PDRI/AM através de técnicas de sensoriamento remoto*. São José dos Campos, INPE, ago. 1984. (INPE-3237 - RTR/060).