

General Disclaimer

One or more of the Following Statements may affect this Document

- This document has been reproduced from the best copy furnished by the organizational source. It is being released in the interest of making available as much information as possible.
- This document may contain data, which exceeds the sheet parameters. It was furnished in this condition by the organizational source and is the best copy available.
- This document may contain tone-on-tone or color graphs, charts and/or pictures, which have been reproduced in black and white.
- This document is paginated as submitted by the original source.
- Portions of this document are not fully legible due to the historical nature of some of the material. However, it is the best reproduction available from the original submission.



SECRETARIA DE PLANEJAMENTO DA PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA
CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO

(E84-10121) EVALUATION OF THE EFFECTS OF
THE SEASONAL VARIATION OF SOLAR ELEVATION
ANGLE AND AZIMUTH ON THE PROCESSES OF
DIGITAL FILTERING AND THEMATIC (Instituto de
Pesquisas Espaciais, Sao Jose) 36 p

N84-23980

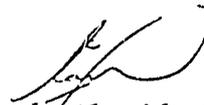
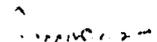
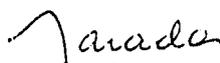
Uncias
G3/43 00121



RECEIVED BY
NASA STI FACILITY
DATE: 2-14-84
DCAF NO. 0002949
PROCESSED BY
 NASA STI FACILITY
 ESA - SDS AIAA



INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS

1. Publicação nº <i>INPE-2858-RPE/440</i>	2. Versão	3. Data <i>Agosto, 1983</i>	5. Distribuição <input type="checkbox"/> Interna <input checked="" type="checkbox"/> Externa <input type="checkbox"/> Restrita
4. Origem <i>DSR</i>	Programa <i>GEOMORFOLOGIA</i>		
6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es) <i>LANDSAT</i> <i>PROCESSAMENTO DIGITAL</i> <i>RELEVO</i>			<i>ÂNGULO DE ELEVAÇÃO E AZIMUTE SOLAR</i>
7. C.D.U.: <i>528.711.7</i>			
8. Título <i>INPE-2858-RPE/440</i> <i>AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DA VARIAÇÃO SAZONAL DO</i> <i>ÂNGULO DE ELEVAÇÃO SOLAR E AZIMUTE SOBRE</i> <i>PROCESSOS DE FILTRAGEM DIGITAL E</i> <i>CLASSIFICAÇÃO TEMÁTICA DO RELEVO</i>		10. Páginas: <i>43</i>	
		11. Última página: <i>32</i>	
		12. Revisada por	
9. Autoria <i>Evelyn M. L. M. Novo</i>		 <i>Raimundo Almeida Filho</i>	
Original photography may be purchased from EROS Data Center <i>Sioux Falls, SD 57198</i>		13. Autorizada por	
Assinatura responsável 		 <i>Nelson de Jesus Parada</i> <i>Diretor Geral</i>	
14. Resumo/Notas <i>O objetivo do trabalho é avaliar o efeito da variação sazonal das condições de iluminação da cena sobre o processamento digital de imagens LANDSAT. Para isto foram selecionadas duas passagens referentes à órbita 150, ponto 28 sob condições variáveis de iluminação: azimute de 43° e 64° e ângulo de elevação de 30° e 36°, respectivamente. O processamento digital dos dados LANDSAT foi realizado através do sistema IMAGE-100. As imagens originais foram transformadas através de processos de filtragem digital (Filtro VARIHV e MDSFIL), de modo a realçar suas características espaciais. As imagens resultantes foram utilizadas para promover uma classificação não-supervisionada de unidades de relevo. Após a definição de classes de relevo espectralmente separáveis, procedeu-se à classificação do relevo com base em suas características topográficas: declividade, altitude, amplitude altimétrica e extensão de vertente. As amostras foram também grupadas através de técnicas de classificação não-supervisionada. As classes de relevo espectralmente definidas foram então comparadas com as classes de relevo identificadas a partir de variáveis topográficas. Esse procedimento foi realizado para os dois conjuntos de dados LANDSAT. Os resultados alcançados indicaram que o processamento digital é intensamente afetado pela variação das condições de iluminação da cena. Constatou-se também que, na área de estudo, não existe correspondência entre classes de relevo espectralmente separáveis e aquelas resultantes de parâmetros topográficos.</i>			
15. Observações			

ABSTRACT

The objective of this work is to evaluate the effects of the seasonal variation of illumination over digital processing of LANDSAT image. For that, two sets of LANDSAT data referring to the orbit 150 and row 28 were selected with illumination parameters varying from 43° to 64° for azimuth and from 30° to 36° for solar elevation respectively. IMAGE-100 system permitted the digital processing of LANDSAT data. Original images were transformed by means of digital filtering (VARIHV and MDSFIL Filter Types) so as to enhance their spatial features. The resulting images were used to obtain an unsupervised classification of relief units. After defining relief classes which are supposed to be spectrally different, topographic variables (declivity, altitude, relief range and slope length) were used to identify the true relief units existing on the ground. The samples were also clustered by means of an unsupervised classification option. The results obtained for each LANDSAT over pass were compared. They showed that digital processing is highly affected by illumination geometry. They also demonstrated that, in this study area, there is no correspondence between relief units as defined by spectral features and those resulting from topographic features.

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE TABELAS	vii
<u>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO</u>	1
1.1 - Objetivos	1
1.2 - Área Teste	2
<u>CAPÍTULO 2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</u>	5
<u>CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA</u>	7
<u>CAPÍTULO 4 - RESULTADOS</u>	15
<u>CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES</u>	29
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31

PRECEDING PAGE BLANK NOT FILMED

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
1.1 - Localização da área teste	3
3.1 - Fluxo de atividades executadas com o auxílio do sistema IMAGE-100	10
4.1 - Classes de relevo "espectralmente" separáveis (julho/1973) .	15
4.2 - Classes de relevo "espectralmente" separáveis (setembro/1977)	16
4.3 - Classes de relevo (compartimentos topográficos) determinadas numericamente com base nos parâmetros declividade, extensão de vertente, amplitude e cota máxima.	17
4.4 - Relação entre as direções de relevo e as direções de ilumina ção	22
4.5 - Variação nos ângulos θ e θ_z em virtude da variação sazonal na tomada de imagens MSS/LANDSAT	23
4.6 - Distribuição de Declividade na Área de Estudo (em graus) ...	24
4.7 - Distribuição de Azimutes de Vertentes na Área de Estudo (em graus)	25
4.8 - Modelo digital do terreno simulando um ângulo azimutal de "iluminação" de 45°	26
4.9 - Modelo digital do terreno simulando um ângulo azimutal de "iluminação" de 64°	27

PRECEDING PAGE BLANK NOT FILMED

- v -

PAGE IV INTENTIONALLY BLANK

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
3.1 - Relação de dados MSS/LANDSAT utilizados para a realização do trabalho	7
3.2 - Tipos de filtros utilizados	11
4.1 - Valores médios dos parâmetros topográficos referentes às classes de relevo	18
4.2 - Porcentagem de pontos das classes de relevo em função das classes espectrais - passagem julho/1973	19
4.3 - Porcentagem de pontos das classes de relevo em função das classes espectrais - passagem setembro/1977	20

PRECEDING PAGE BLANK NOT FILLED

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 - OBJETIVOS

O presente trabalho faz parte de um projeto de pesquisa mais amplo, cujo objetivo geral é avaliar o efeito da variação sazonal das condições de iluminação da cena sobre o processamento digital de imagens LANDSAT.

O objetivo específico desse trabalho é avaliar os efeitos da variação sazonal do ângulo de elevação solar e azimute sobre processos digitais de classificação temática do relevo.

A classificação temática do relevo através de processamento digital de imagens é por si só um empreendimento de difícil realização, tendo em vista que as unidades de relevo diferenciam-se mais por seus atributos espaciais (textura) que por suas características espectrais.

A análise digital dos atributos espaciais de imagem, por sua vez, requer uma caracterização quantitativa da textura. A tonalidade e textura são conceitos visuais interrelacionados que auxiliam a percepção e o reconhecimento de características da superfície em fotografias aéreas e em imagens. A tonalidade refere-se ao brilho da superfície, enquanto a textura refere-se à impressão de rugosidade criada pela variação de tonalidade numa dada área. O fotointérprete trabalhando com análise visual de imagem utiliza simultaneamente esses dois conceitos na identificação das características do terreno. Segundo Irons e Peterson (1981), a transferência desses conceitos para a análise digital requer uma caracterização quantitativa dos conceitos visuais. Embora a informação quantitativa sobre a textura não esteja disponível diretamente na imagem como a de tonalidade, recentemente estão sendo sugeridas numerosas técnicas de quantificação de tais atributos espaciais através de processamento digital.

O realce das feições de textura da imagem pode ser obtido através de técnicas de filtragem, cujo principal objetivo é acentuar as características dos dados digitais. Considerando a definição de textura de Iisaka et alii (1978) como frequência espacial de bordas, os diferentes tipos de filtros digitais utilizados podem ser classificados em passa-baixa e passa-alta em função da suavização ou realce de tais bordas.

Considerando-se que a frequência espacial de bordas é função da distribuição de tonalidade dentro da cena, e esta varia em função das condições de iluminação, supõe-se que duas imagens de um mesmo local, tomadas a ângulos solares diversos, submetidas a um mesmo tipo de filtragem apresentarão resultados diferentes.

1.2 - ÁREA TESTE

Para testar o efeito da variação sazonal da iluminação da cena sobre a utilização de filtros digitais e classificação temática do relevo, selecionou-se como área teste um trecho do médio Vale do Paraíba (Figura 1.1), que se caracteriza pela presença de pelo menos 4 grandes compartimentos topográficos, quais sejam: Serra do Quebra Cangalha, Morros Cristalinos, Colinas Terciárias, Planície Aluvial (Hassui et alii, 1978).

Esta área foi selecionada levando-se em conta os seguintes aspectos:

- a) Representa um exemplo de região com topografia extremamente acidentada, com declividades acentuadas, vales incisos, etc., em que o efeito da variação angular do sol é mais crítico.
- b) É uma região bastante estudada, cuja compartimentação geomorfológica é bastante conhecida.

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

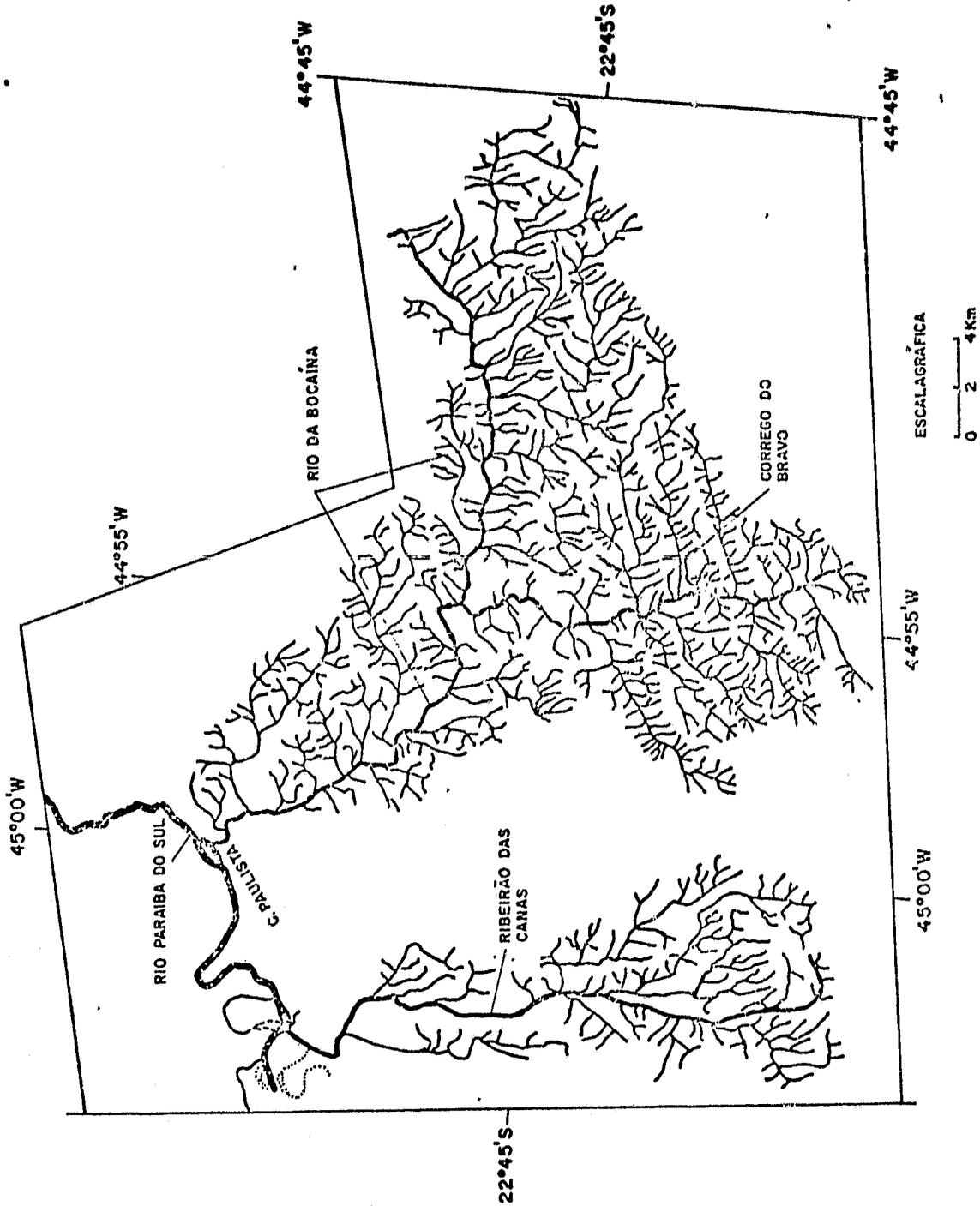


Fig. 1.1 - Localização da área teste

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Estudos anteriores (Verstappen, 1977; Donker and Meijerink, 1977; Miller, 1978; Kayan and Klemas, 1978; Kitcho, 1979; Cochrane and Browne, 1981) têm demonstrado que a textura é o principal critério de reconhecimento de feições do relevo em imagens MSS/LANDSAT. Este fato, até o advento de técnicas de extração de atributos espaciais, dificultava a classificação temática do relevo através de processamento digital.

Dutra e Mascarenhas (1980) salientam que em função das características dos objetos que se deseja classificar, o conjunto de medidas espectrais pode não ser suficiente para distinguir as classes de interesse. Considerando o relevo como objeto de interesse, pode-se observar que os níveis de radiância registrados nos canais MSS/LANDSAT embora sofram interferência da topografia, apresentarão maior volume de informação sobre os tipos de cobertura superficial do solo. O elemento que diferencia um compartimento topográfico de outro é o relacionamento espacial entre os pontos da imagem que pertencem a uma mesma classe. Trabalhos anteriores (Santos e Novo, 1977; Valério Filho et alii, 1976; Koffler, 1976) demonstraram que compartimentos topográficos caracterizados por alto grau de dissecação estão associados a regiões da imagem com alta frequência de variação de níveis de cinza.

Segundo Dutra e Mascarenhas (1980), uma das formas de realçar essas regiões da imagem é a utilização de filtros espaciais, uma vez que o conteúdo de frequência de uma imagem é uma forma de expressão das relações espaciais entre os pontos da imagem.

Através da filtragem digital, a imagem original é transformada em uma nova imagem onde a característica de textura da imagem são realçadas. Quando se tem interesse em reforçar os componentes de baixa frequência espacial (pequena variação de nível de cinza) podem ser utilizados filtros passa-baixa. Para realçar bordas em imagens

(transição entre padrões com diferentes conteúdos de frequência espacial), são utilizados filtros passa-alta (Dutra et alii, 1981).

Dutra e Mascarenhas (1980) testaram diferentes tipos de filtros na região de Ribeirão Preto, com o objetivo de melhorar a discriminação entre classes de uso do solo. Os resultados das matrizes de classificação para as áreas testes demonstraram que o desempenho médio das classificações obtidas a partir de canais submetidos a filtragem foi superior ao desempenho dos canais originais.

Irons and Peterson (1981) consideraram que as técnicas de realce de textura permitiram uma melhor definição dos limites entre classes, mas não melhoraram sensivelmente o mapeamento temático dos diferentes tipos de coberturas.

Iisaka et alii (1978) salientam que a aplicação de filtragem determinou um realce considerável nas feições lineares. A técnica, entretanto, não foi testada para avaliar o desempenho dos novos canais que visam à classificação temática.

CAPÍTULO 3

METODOLOGIA

Tendo em vista o objetivo do trabalho, utilizaram-se dados do MSS/LANDSAT referentes a duas passagens da órbita 150, ponto 28 (Tabela 3.1). Embora tivesse sido aconselhável a comparação de imagens de épocas contrastantes (julho/dezembro) que permitiriam uma maior variação angular do sol entre as imagens, a existência de excessivo ruído na passagem referente a janeiro de 1978 (elevação 45° , azimute 91°) desestimulou sua utilização, por introduzir no estudo uma nova variável capaz de afetar o processamento digital (Swain et Davis, 1978).

TABELA 3.1

RELAÇÃO DE DADOS MSS/LANDSAT UTILIZADOS
PARA A REALIZAÇÃO DO TRABALHO

DATA	ELEVAÇÃO SOLAR	AZIMUTE SOLAR
11/07/1973	30°	43°
09/09/1977	36°	64°

Foram ainda utilizadas cartas topográficas na escala 1:50.000, publicadas pelo IBGE, como fonte de dados morfométricos úteis à caracterização do relevo.

O processamento digital dos dados MSS/LANDSAT foi realizado através do Sistema Interativo de Análise de Imagem Multiespectral - IMAGE-100. O processamento dos demais dados utilizados na pesquisa foi realizado com o auxílio do B-6800.

O desenvolvimento do trabalho de pesquisa obedeceu aos seguintes procedimentos:

1) Classificação Temática do Relevo através de Processamento Digital de Dados MSS/LANDSAT.

Para a classificação temática do relevo, foi necessário submeter a imagem original a um conjunto de processamentos visando a transformar a informação espectral em informação espacial, uma vez que os padrões topográficos estão intimamente associados à textura.

O pressuposto básico para o conjunto de procedimentos executados é de que a informação devido à variação do relevo está contida na distribuição de níveis de cinza dos canais do MSS, abstraindo-se obviamente a variação da resposta espectral dos alvos. Se houvesse um processo de filtragem digital capaz de gerar uma nova imagem, tal que para as áreas de alta frequência espacial (alta frequência de variação de níveis de cinza) fossem atribuídos valores de níveis de cinza diferentes dos de classes de baixa frequência espacial, esta nova imagem poderia então ser utilizada como atributo para a classificação temática do relevo.

Dentre os tipos de filtros digitais disponíveis no Laboratório de Tratamento Digital de Imagens, considerou-se como adequado a esse propósito o operador "variação" definido por Dutra (1982), cuja saída é proporcional à rugosidade do relevo em uma pequena região da imagem com 3x3 "pixels". Esse operador é rapidamente aplicado aos dados originais MSS/LANDSAT através do Programa VARIHV.

Entretanto, a inspeção visual do resultado da filtragem através do programa VARIHV demonstrou que a imagem resultante apresentava uma frequência de bordas muito elevada em todos os canais MSS, o que sugeriu a necessidade de que os dados originais e/ou as imagens resultantes fossem submetidas a um processo de suavização de bordas (filtro passa-baixa).

Para o processo de suavização de bordas foi selecionado o filtro disponível no programa MD5FIL.

Como os processos de filtragem geram um grande número de novas imagens, considerou-se recomendável o abandono dos canais 4 e 6 por serem altamente correlacionados com o canal 5 e 7, respectivamente.

Estabelecidos os tipos de filtros e os canais MSS/LANDSAT originais a serem utilizados, procedeu-se à sequência de atividades descritas na Figura 3.1.

Após os procedimentos de rotina visando a ampliação dos dados para a escala 1:200.000 na tela, foi realizada a correção para o efeito aditivo da atmosfera (Robinson et alii, 1981).

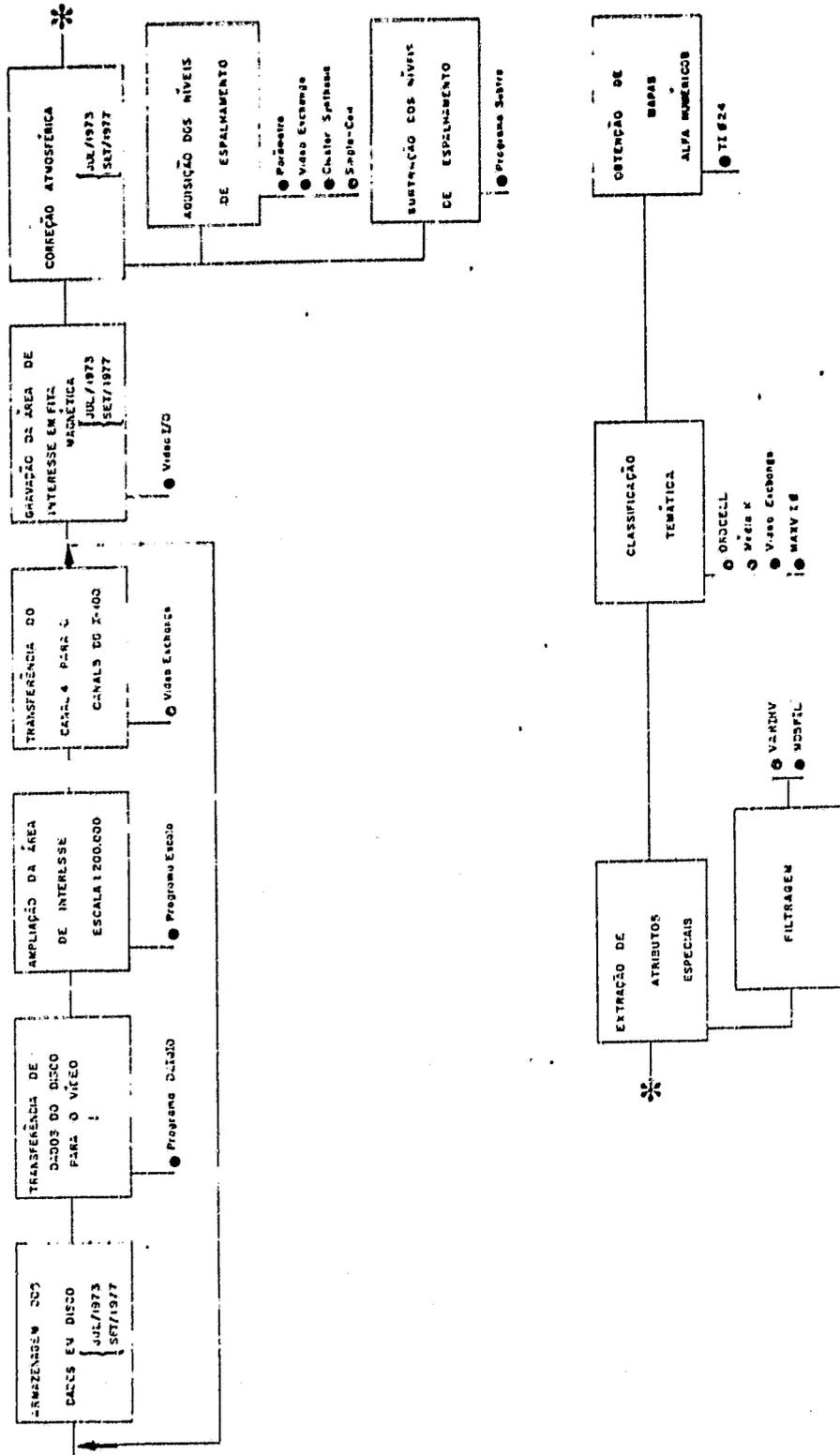


Fig. 3.1 - Fluxo de atividades executadas com o auxílio do sistema IMAGE-100.

A Tabela 3.2 apresenta a sequência de filtragens a que foram submetidos os canais originais do MSS/LANDSAT.

TABELA 3.2

TIPOS DE FILTROS UTILIZADOS

FILTRO	TIPO	CANAL DE ENTRADA	CANAL DE SAÍDA	PARÂMETROS
MD5FIL	1	2 (MSS 5)	1	B=1 ; C=8
VARIHV	SOMA	2 (MSS 5)	5	Peso = 1
MD5FIL	1	5 (MSS 5 PRO)	2	B=1 ; C=6
MD5FIL	1	4 (MSS 7)	3	B=1 ; C=8
VARIHV	SOMA	4 (MSS 7)	5	Peso = 1
MD5FIL	1	5 (MSS 7 PRO)	4	B=1 ; C=6

Cabe salientar que a definição da sequência mais adequada de filtragem, bem como dos parâmetros e tipos de filtros, foi realizada através de repetidas tentativas e avaliação dos resultados na tela do sistema IMAGE-100. A cada tentativa, os resultados eram avaliados e novas alterações eram feitas até se chegar às condições definidas na Tabela 3.2.

Através da sequência de filtragens foram geradas 6 novas imagens a partir dos canais MSS 5 e MSS 7 originais. Destas, 4 conjuntos foram utilizados para a classificação temática do relevo: o canal 5 modificado pelo filtro passa-baixa, o canal 5 modificado pelo filtro passa-alta e passa-baixa, o canal 7 modificado pelo filtro passa-baixa e o canal 7 pelo filtro passa-alta e passa-baixa. A seleção desse conjunto também resultou de inúmeras tentativas de classificação e posterior avaliação do resultado na tela do sistema I-100.

Após essa fase, procedeu-se à classificação temática do relevo utilizando a opção de classificação não-supervisionada, proporcionada pelo sistema Média-K. O algoritmo das K-means permite dividir

um conjunto de "pixels" em K classes com base em M variáveis (canais). Para colocá-lo em ação, deve-se fornecer como entrada para o sistema o número de classes desejadas e os centros iniciais das classes. O programa reagrupará os "pixels" em classes até que o número máximo de iterações seja atingido, ou até que ocorra convergência, ou seja, não sejam gerados novos centros entre iterações sucessivas.

Considerando-se que não se possuía uma idéia a priori do número de classes de relevo "espectralmente" separáveis, utilizou-se como critério para definição de centros iniciais para o agrupamento o resultado do programa ORDCELL. Este programa ordena todas as células em função da frequência de pontos por níveis de cinza. Selecionaram-se desta forma, como centros iniciais para o agrupamento, os centros mais populosos.

2) Classificação Temática do Relevo a partir de Parâmetros Topográficos.

As variáveis selecionadas para caracterizar o relevo foram: amplitude altimétrica, que descreve a extensão vertical do relevo independentemente de sua altitude absoluta ou inclinação, declividade, que dá uma medida da inclinação das vertentes, extensão de vertentes, que dá uma idéia do espaçamento entre vales e altitude absoluta.

Para a coleta desses parâmetros foi utilizada uma grade de pontos que define uma área de 0,25 km² no terreno. Os valores dos parâmetros foram medidos em cartas topográficas na escala 1:50.000.

Os dados resultantes serviram de entrada para um programa de classificação não-supervisionada, baseado no algoritmo das K-médias. A adaptação de um bloco de sub-rotinas de "clustering" ao computador Burroughs 6800 foi realizada a partir das sub-rotinas fornecidas por Hartigan (1975). O resultado do agrupamento dos pontos da grade em função dos quatro parâmetros do relevo foi mapeado com o auxílio dos programas de PLOTTER. Os dados de cota máxima (altitude absoluta) tam

b̄m foram utilizados para gerar um modelo digital do terreno, que per
mite avaliar a configuração tridimensional da topografia da ārea.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS

A Figura 4.1 representa o resultado da classificação para a imagem referente a menores ângulos de elevação e azimute (julho/1973), podendo-se verificar a existência de 5 classes "espectralmente" diferentes. A classificação referente à passagem com ângulos maiores de elevação e azimute (setembro, 1977) também resultou em 5 classes, mas a configuração espacial de cada uma delas é bastante diferente da anterior (Figura 4.2).

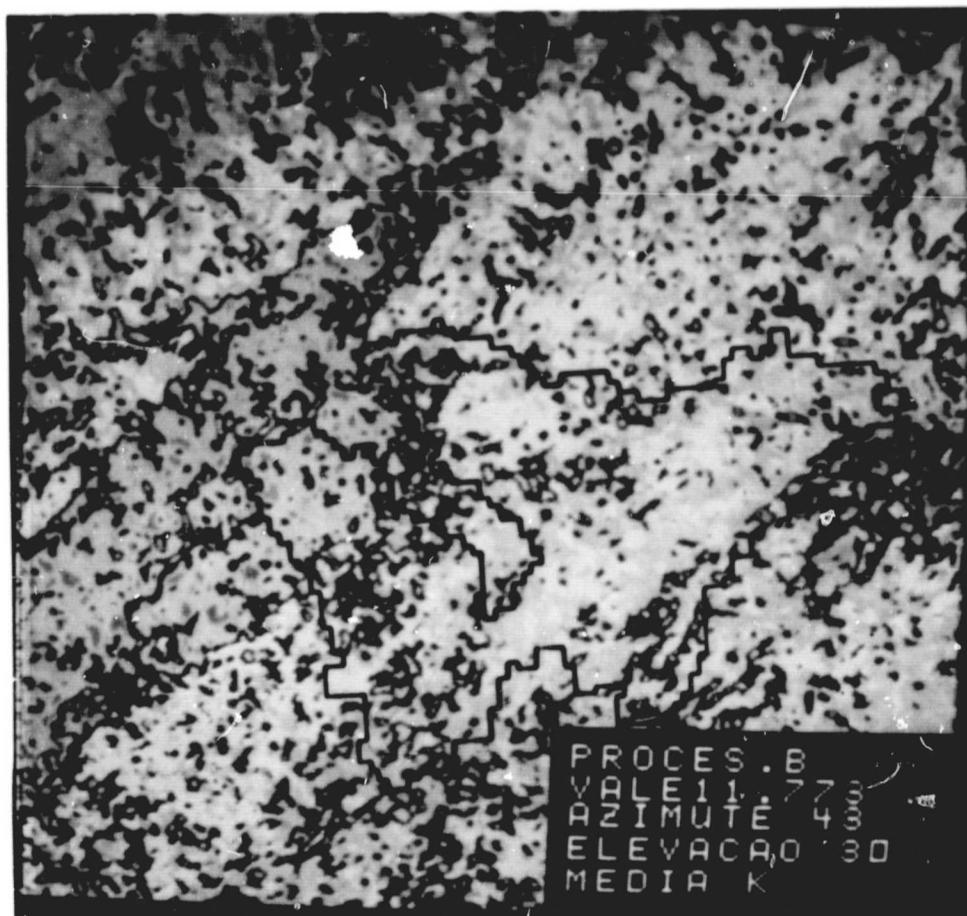


Fig. 4.1 - Classes de relevo "espectralmente" separáveis (julho/1973).

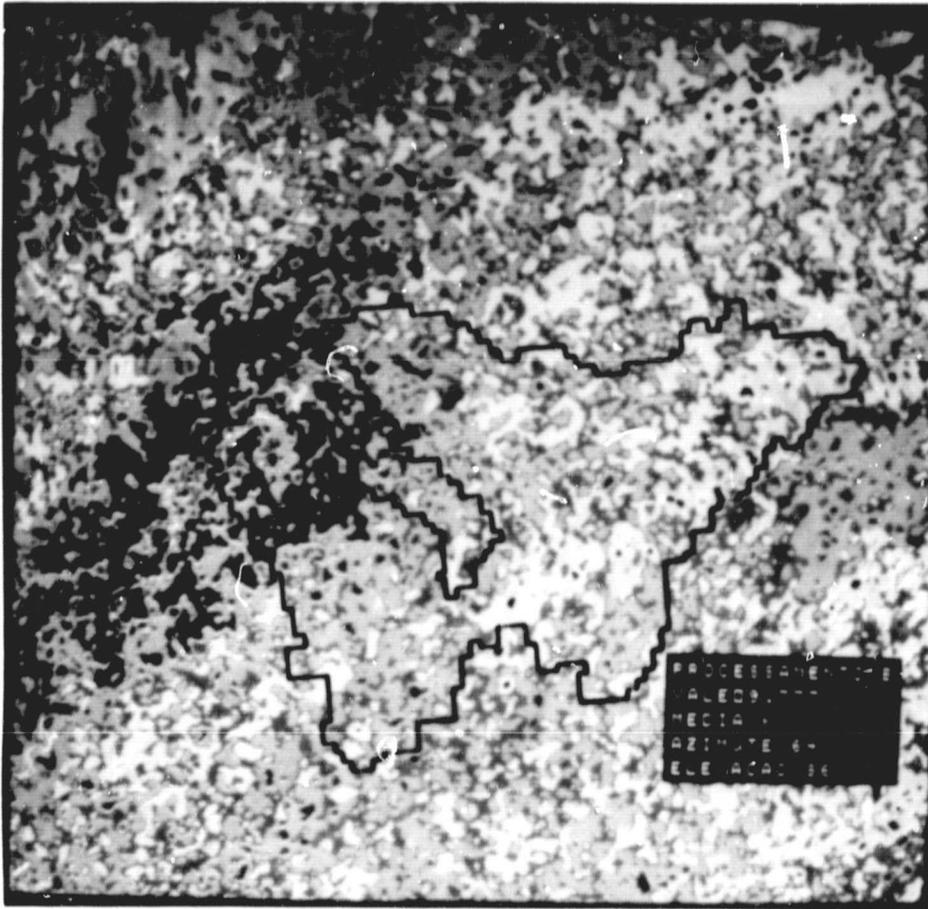


Fig. 4.2 - Classes de Relevo "espectralmente" separáveis - setembro/1977.

A passagem referente a julho/1973 parece permitir a compartimentação da área teste em áreas planas, associadas à cor lilás, que ocorrem na bacia terciária e no topo da Serra do Quebra Cangalha. No contato entre setores mais planos e de topografia acidentada ocorre a classe representada pela cor azul. As áreas de topografia movimentada (morros cristalinos) estariam representadas pelas cores amarelo-clara (menor dissecação) e amarelo-escuro (maior dissecação). No que se refere à passagem de setembro/1977, as classes resultantes não pareceram estar fortemente vinculadas à distribuição das características do relevo.

A Figura 4.3 representa a classificação temática obtida pelo grupamento das células de 0,25 km² em 5 classes, em função dos parâmetros Amplitude Altimétrica, Declividade, Extensão de Vertente e Cota Máxima.

INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS-DSR

BACIAS CANAS, CANINHAS E BOCAINA

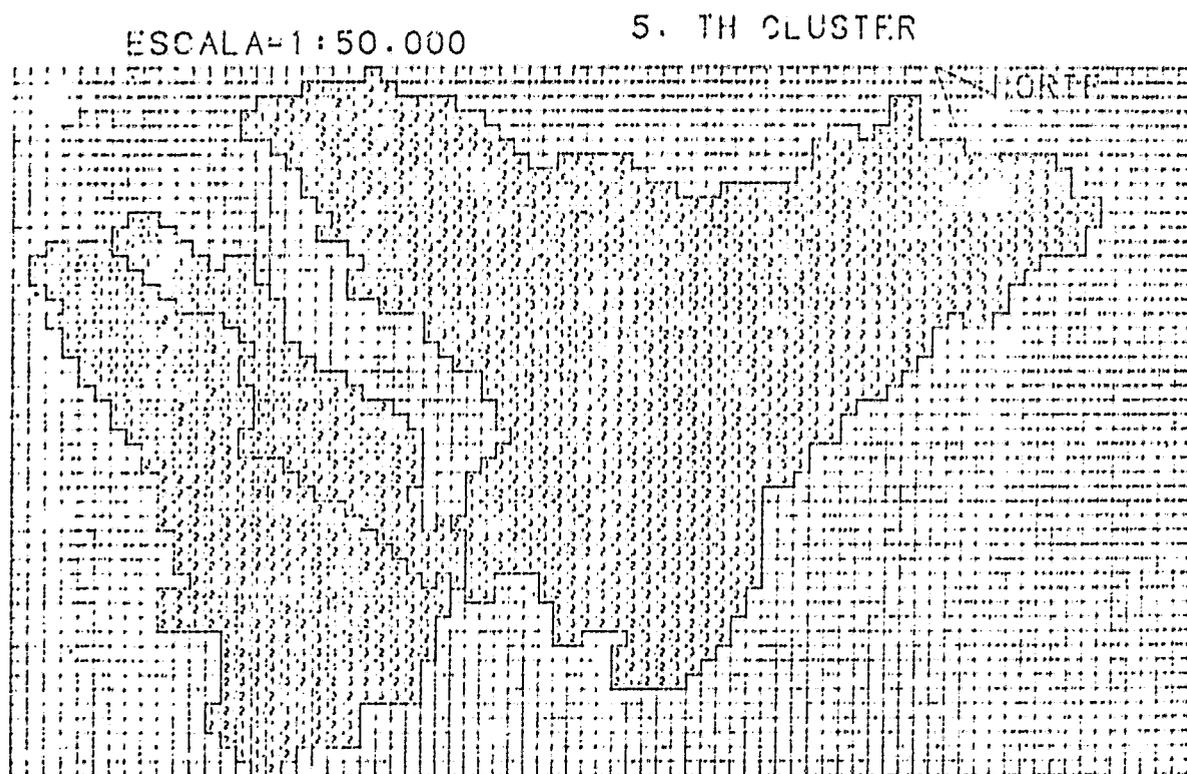


Fig. 4.3 - Classes de relevo (compartimentos topográficos) determinadas numericamente com base nos parâmetros declividade, extensão de vertente, amplitude e cota máxima.

A Tabela 4.1 representa a média e o coeficiente de variação de cada parâmetro da topografia em função da classe de relevo a que pertence.

TABELA 4.1

VALORES MÉDIOS DOS PARÂMETROS TOPOGRÁFICOS
REFERENTES ÀS CLASSES DE RELEVO

CLASSES	EXTENSÃO DE VERTENTE (m)		COTA MÁXIMA (m)		AMPLITUDE (m)		DECLIVIDADE (graus)	
	MÉDIA	COEF. VARIACÃO	MÉDIA	COEF. VARIACÃO	MÉDIA	COEF. VARIACÃO	MÉDIA	COEF. VARIACÃO
1	412	29%	637	13%	53	59%	9 ^o	61%
2	205	21%	902	25%	76	35%	18 ^o	32%
3	365	18%	937	23%	87	23%	13 ^o	20%
4	365	11%	947	22%	137	19%	20 ^o	9%
5	472	25%	1428	24%	204	25%	26 ^o	14%

A análise da Tabela 4.1 permite verificar que com exceção da classe 1, que apresenta coeficiente de variação elevada para os parâmetros Amplitude e Declividade, o resultado do agrupamento produziu unidades de relevo relativamente homogêneas, com pequena dispersão dos valores em torno da média.

A classe 1, que apresenta relevo caracterizado por vertentes longas, vales pouco profundos, pequena declividade e baixas altitudes, aparece delimitada com maior fidelidade às características do terreno na passagem referente a 1973 (Figura 4.1). Entretanto, nesta mesma passagem, esse tema incide num setor da área teste correspondente à classe 5 (Figura 4.3). Disto conclui-se que a passagem de julho de 1973 não permitiu a diferenciação entre duas unidades distintas no terreno, uma vez que, embora as classes 1 e 5 tenham em comum a exten

são de vertente (412 m e 472 m respectivamente), diferem-se drasticamente quanto aos outros parâmetros (Tabela 4.1).

Em relação à passagem de setembro de 1977 observa-se o mesmo problema, ou seja, a discrepância entre as unidades de terreno e as unidades mapeadas através de processamento digital de dados MSS/LANDSAT.

De modo a avaliar as discrepâncias entre as classes de relevo definidas em função de parâmetros de topografia e aquelas espectralmente definidas, foi estimada a proporção de pontos de cada classe de relevo por classe espectralmente definida em ambas as passagens. Os resultados encontram-se resumidos nas Tabelas 4.2 e 4.3.

TABELA 4.2

PORCENTAGEM DE PONTOS DAS CLASSES DE RELEVO EM FUNÇÃO
DAS CLASSES ESPECTRAIS - PASSAGEM JULHO/1973

CLAS. TOPOGRAF. DEFINIDAS	CLAS. ESPECTR. DEFINIDAS	PORCENTAGEM DE PONTOS DAS CLASSES DE RELEVO					TOTAL
		AZUL	OCRE	AMARELO	VERDE	LILÁS	
1		18	9	5	3	65	100
2		20	61	15	-	4	100
3		47	36	17	-	-	100
4		26	49	18	-	7	100
5		58	31	-	-	11	100

A análise da Tabela 4.2 permite verificar que, embora uma maior proporção de pontos de cada classe de relevo esteja associada a uma determinada classe espectralmente definida, não há uma perfeita superposição entre as classes de relevo definidas a partir de parâmetros da topografia e aquelas geradas a partir de processamento digital de imagens MSS/LANDSAT. A classe 1, por exemplo, caracterizada por

topografias planas (Tabela 4.1) encontra-se, em 65% dos pontos avaliados, associada à classe representada pela cor lilás (Figura 4.1), que realmente corresponde a terrenos planos e suavemente ondulados da várzea e das colinas terciárias. Entretanto, essa mesma classe encontra-se associada a outros temas, embora em menor proporção. A classe 3, correspondente a características topográficas de transição na área em estudo, não apresentou boa caracterização "espectral", sendo associada em proporções relativamente elevadas a três temas (cores) diferentes.

TABELA 4.3

PORCENTAGEM DE PONTOS DAS CLASSES DE RELEVO EM FUNÇÃO
DAS CLASSES ESPECTRAIS - PASSAGEM SETEMBRO/1977

CLAS. TOPOGRAF. DEFINIDAS	CLAS. ESPECTR. DEFINIDAS	PORCENTAGEM DE PONTOS POR CLASSE DE RELEVO					TOTAL
		AZUL	OCRE	AMARELO	VERDE	LILÁS	
1		51	35	8	3	3	100
2		8	36	24	16	16	100
3		-	35	16	45	4	100
4		-	15	18	32	35	100
5		-	28	32	40	-	100

A análise da Tabela 4.2 permite verificar que na área em estudo não se pode associar, com segurança, classes de relevo topograficamente definidas às classes geradas por processamento digital de dados dos MSS/LANDSAT.

O efeito da variação das condições de iluminação da cena sobre a definição das classes de relevo, a partir de dados espectrais do MSS/LANDSAT, pode ser avaliado através da comparação entre as Tabelas 4.2 e 4.3.

A análise das tabelas permite verificar que o desempenho da passagem referente a julho de 1973 é melhor do que aquele apresentado pela passagem de setembro de 1977. Nesta, os pontos amostrados em todas as classes de relevo encontram-se distribuídos em proporções semelhantes entre as diferentes classes espectrais, não havendo assim uma marcante caracterização espectral de uma dada unidade de relevo.

Levando-se em conta a similaridade do processamento digital a que foram submetidas as passagens analisadas, a variação no desempenho da classificação quanto à capacidade de discriminar as unidades de relevo pode ser atribuída à variação das condições de iluminação da cena.

Na área em estudo, o quadro geomorfológico caracteriza-se por um conjunto de planaltos desnivelados, alinhados segundo N 50°E. Esses planaltos encontram-se dissecados pelos afluentes do rio Paraíba do Sul que se dispõem em uma série de pequenos vales perpendiculares àquela orientação. A interação desse quadro geomorfológico com as direções de iluminação da cena no horário de passagem do satélite LANDSAT cria condições de padrões de sombreamento inteiramente diversas para o mês de julho, em que o ângulo de azimute solar é de 43°, e para o mês de setembro, em que este ângulo é de 64°.

Pela análise da Figura 4.4, pode-se verificar que na passagem de julho de 1973 os raios solares atingem quase perpendicularmente os vales, ao passo que em setembro de 1977 a direção de iluminação é mais oblíqua. Nestas circunstâncias, admitindo-se uma inclinação constante das vertentes, a face voltada para o Sol referente a passagem de 1973 tenderia a apresentar um sinal mais intenso que a passagem de 1977, se o ângulo de elevação solar fosse constante, o que não é o caso.

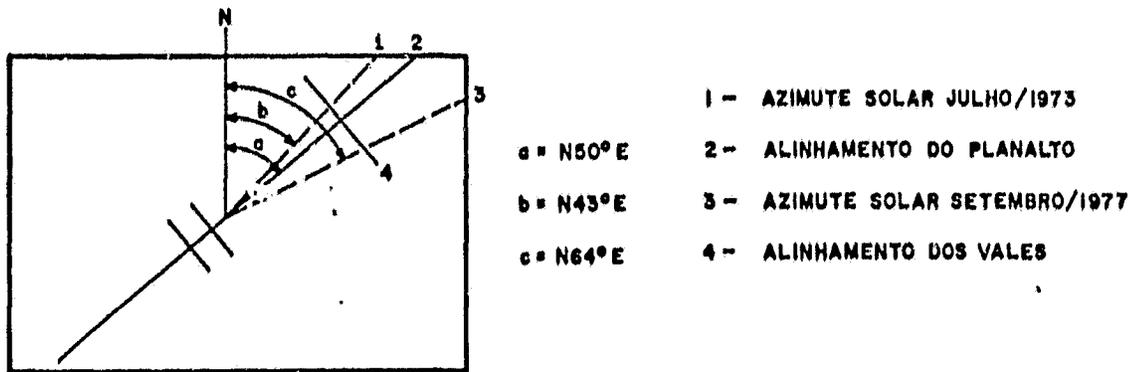


Fig. 4.4 - Relação entre as direções de relevo e as direções de iluminação.

De acordo com Kowalik (1981) a topografia, observada em relação aos ângulos de elevação solar e azimute, afeta o registro da radiância através do termo $\cos \alpha$ da equação de radiância por ele proposta (Kowalik, 1981, pag. 14) Alfa (α), o ângulo entre o vetor do Sol e a normal à superfície é determinado pela relação:

$$\alpha = \cos^{-1}(\cos S \cos Z + \text{SEN } S \text{ sen } Z \cos t),$$

onde:

S = a inclinação da superfície,

Z = o ângulo do zenite solar,

t = a diferença do azimute solar e do azimute da superfície inclinada, medida no sentido horário a partir do Norte.

Admitindo uma declividade média das vertentes de 18° e uma orientação de vertente de $N 50^\circ E$ e $N 230^\circ E$ para as vertentes iluminadas e sombreadas, respectivamente (no horário da passagem do satélite), calculou-se que o contraste tonal entre vertentes sombreadas e iluminadas tenderia a ser maior na passagem referente a setembro de 1977.

Slater (1980) salienta a importância da relação entre θ , definido como o ângulo entre a normal à superfície e a radiação direta do Sol, θ_z , ângulo de zenite solar, e α , ângulo entre a normal à superfície e o zenite. Numa superfície irregular, verifica-se a condição de máxima irradiância quando $\theta = 0$ e $\theta_z = \alpha$, e a condição de irradiância mínima (sombra) é dada por $\theta_z + \alpha = \theta > 90^\circ$.

Considerando uma declividade de vertente de 13° e a variação do ângulo de elevação solar de 30° para 36° entre uma passagem e outra, tem-se a situação ilustrada na Figura 4.5.

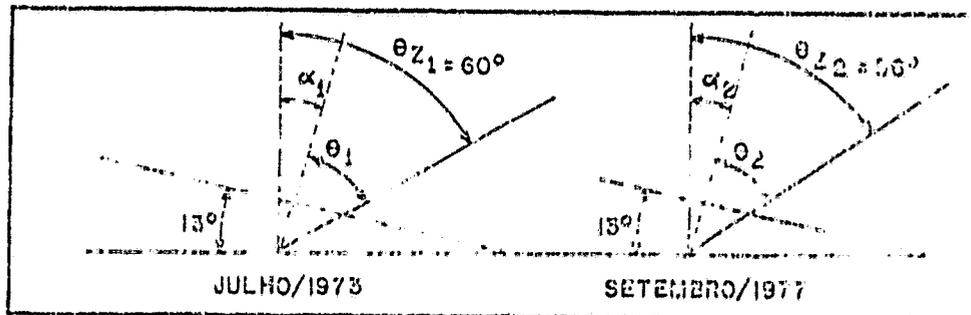


Fig. 4.5 - Variação nos ângulos θ e θ_z em virtude da variação sazonal na tomada de imagens MSS/LANDSAT.

A análise da Figura 4.5 permite verificar que ocorre a seguinte situação:

<u>1973</u>		<u>1977</u>
θ_1	>	θ_2
α_1	=	α_2
θ_{z1}	>	θ_{z2}
$\theta_{z1} - \alpha_1$	>	$\theta_{z2} - \alpha_2$

Se a irradiância máxima ocorre para $\theta = 0$ e $\theta_z = \alpha$, pode-se concluir que a condição de irradiância máxima ocorreu para as

vertentes voltadas para N 64°E, e o maior contraste tonal entre vertentes sombreadas e iluminadas verificou-se para passagem de setembro de 1977.

Analisando as Figuras 4.6 e 4.7 que representam os histogramas de distribuição de declividades e de orientação das vertentes na área em estudo, verifica-se que há uma ampla variação nas declividades, o que leva a uma variação intensa na irradiância sobre a superfície. Com relação à orientação da superfície, verifica-se que as vertentes na área em estudo orientam-se segundo três direções preferenciais: de N 315° E a N 360° E; de N 45° E a N 90° E e de N 215° E a N 270° E. Considerando-se que as imagens utilizadas na classificação temática do relevo apresentam azimutes compreendidos entre N 40° E e N 90° E, o maior efeito sobre a irradiância na superfície resultará da variação do ângulo $\theta_z - \alpha$, resultante da variação da declividade e do ângulo de elevação solar.

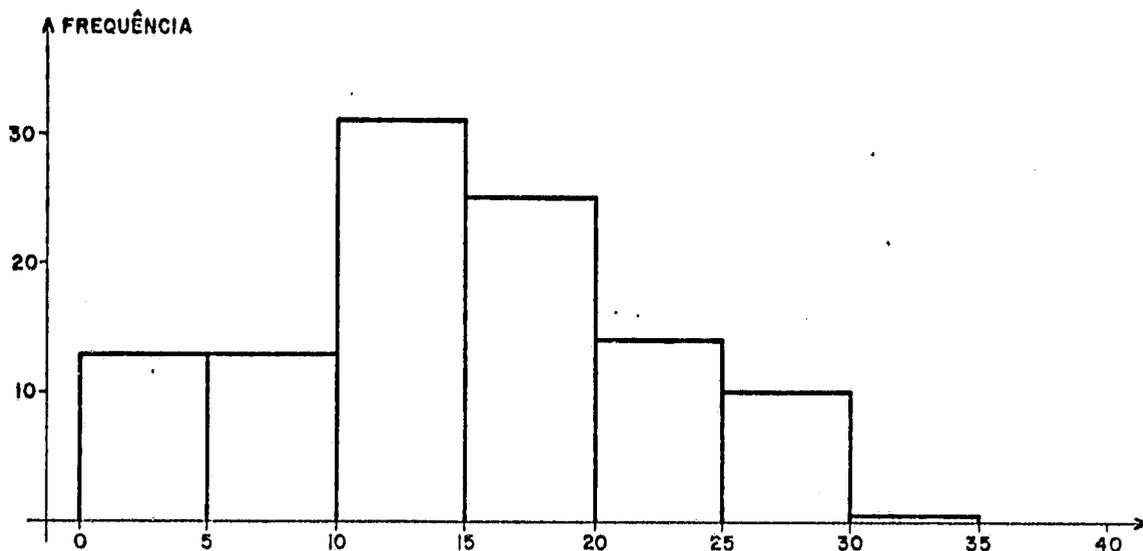


Fig. 4.6 - Distribuição de Declividade na Área de Estudo (em graus).

ORIGINAL PAGE IS
OF POOR QUALITY

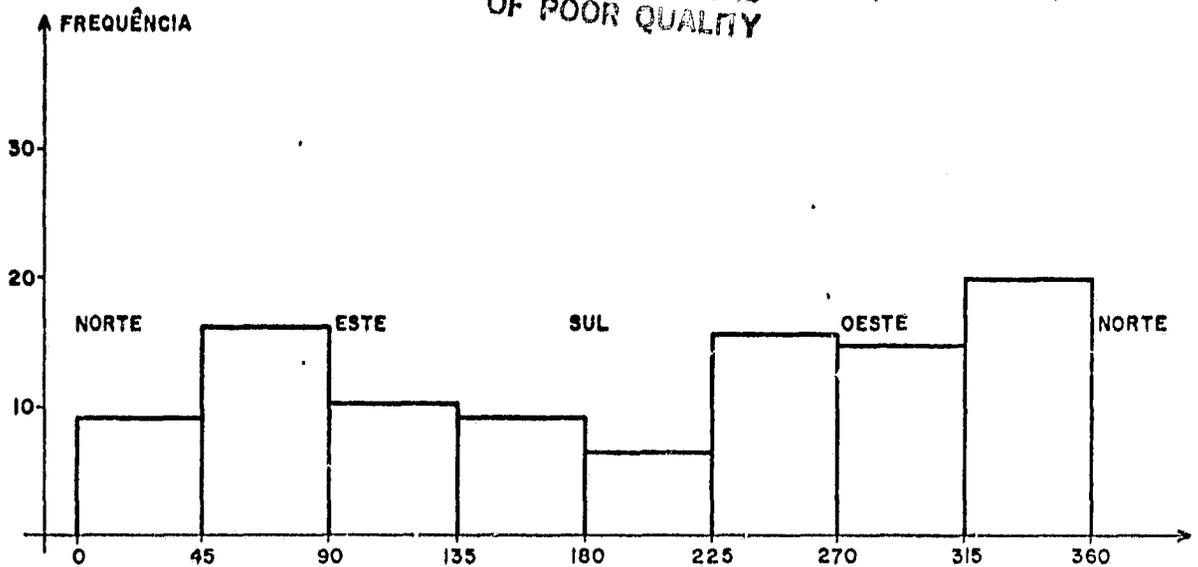


Fig. 4.7 - Distribuição de Azimutes de Vertentes na Área de Estudo (em graus).

Pelas discussões anteriores verifica-se que é muito difícil avaliar separadamente o efeito da variação do ângulo de elevação e do azimute sobre a distribuição de radiância de uma cena imageada através do sistema MSS/LANDSAT, porque não há condições de fixar uma das variáveis a fim de estudar a influência da outra. Os ângulos de elevação solar e azimute aumentam ou diminuem simultaneamente. Além disso, os valores de radiância dependem da interação da iluminação direta com o terreno, cuja distribuição de declividades e orientações é muito variável. Assim, uma determinada combinação de ângulos, que favorece o mapeamento do relevo numa dada região, pode ser inconveniente noutra.

Utilizando valores de cotas máximas como entrada para um programa de mapeamento digital do terreno, foi possível simular os padrões de sombreamento, determinados pela interação do relevo com a direção de iluminação, verificada no momento da passagem do LANDSAT para ambas as datas (Figura 4.8 e 4.9).

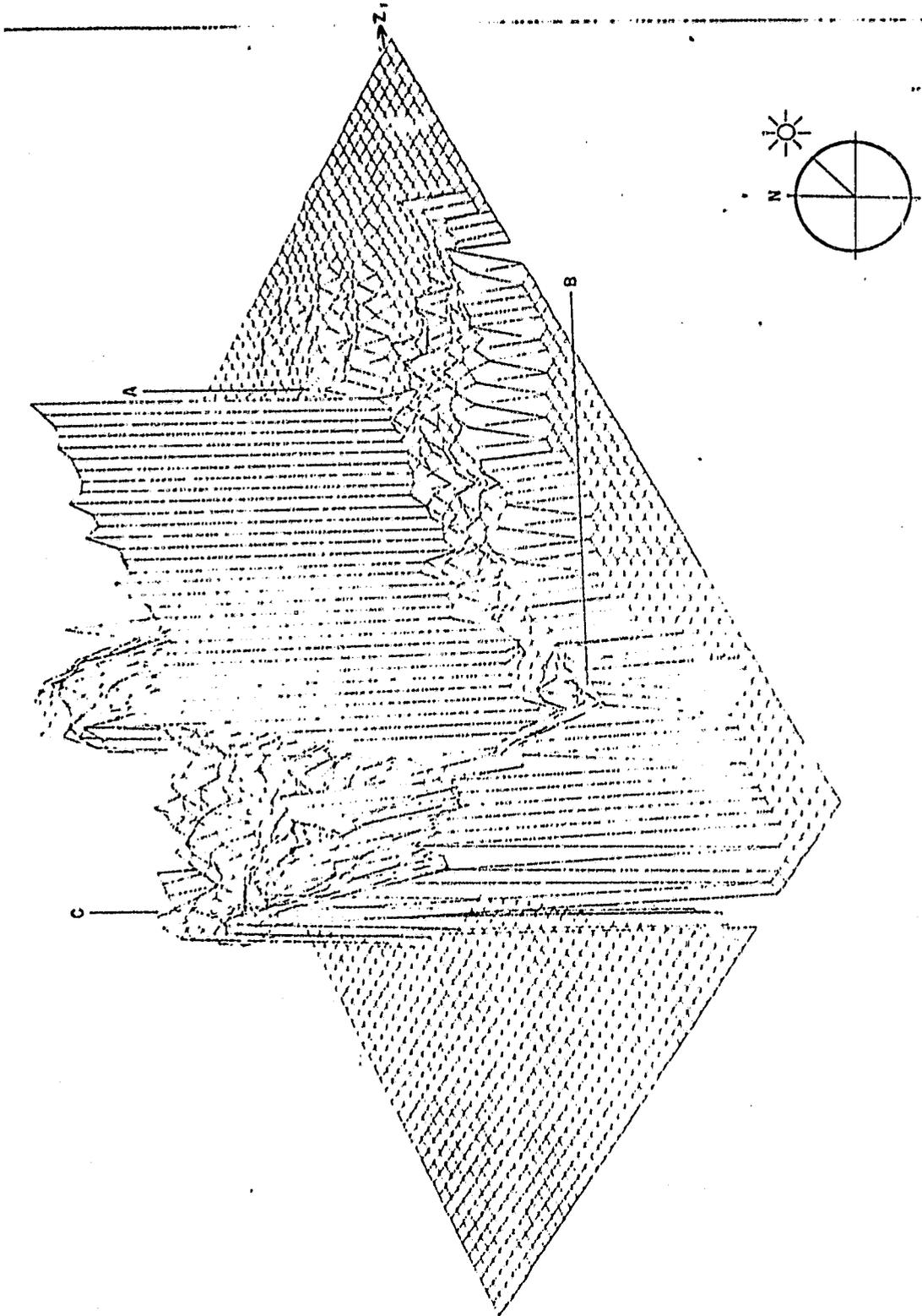


Fig. 4.8 - Modelo digital do terreno simulando um ângulo azimutal de "iluminação" de 45°

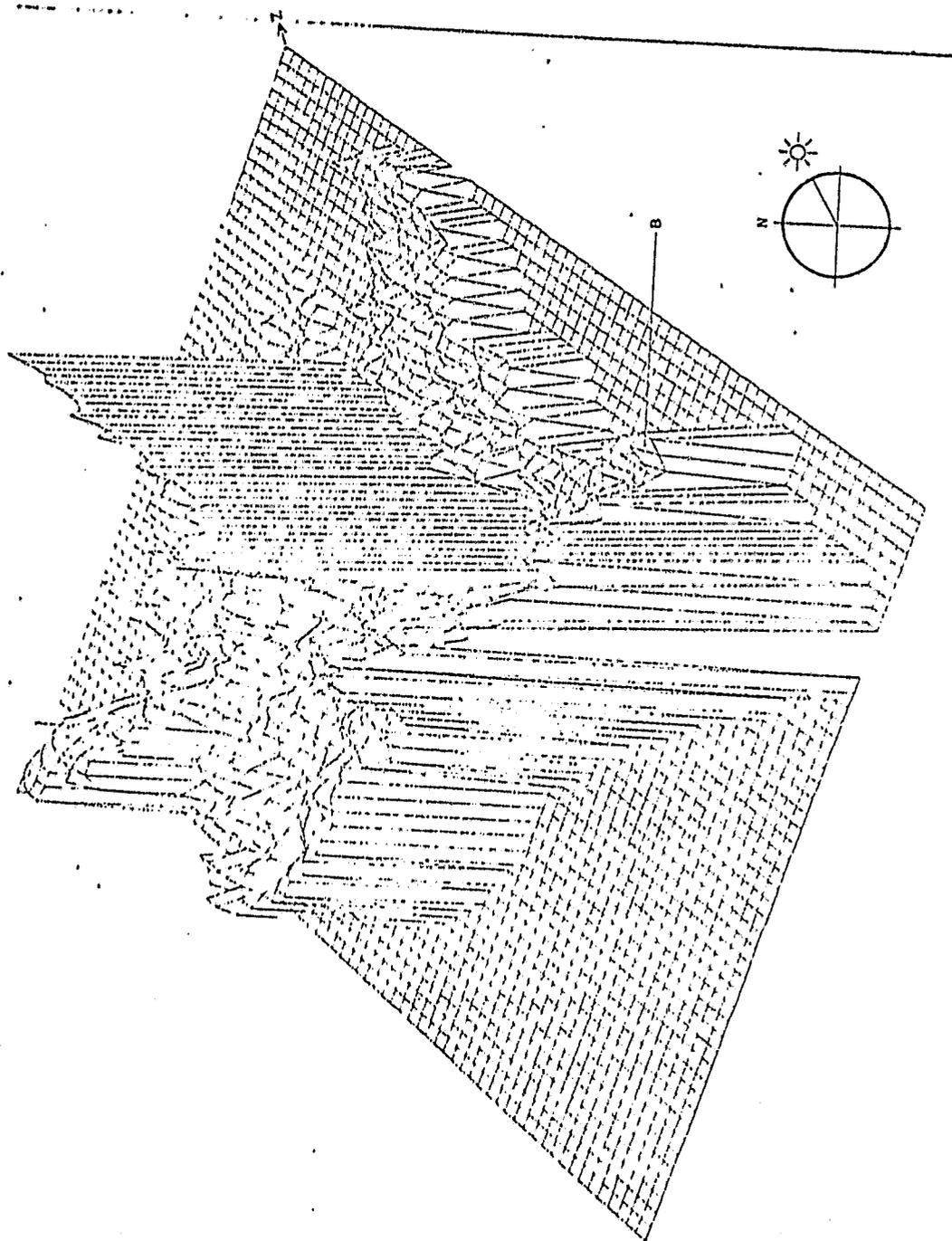


Fig. 4.9 - Modelo digital do terreno simulando um ângulo azimutal de "iluminação" de 64°

A Figura 4.8 representa a situação em que o sol se encontraria com um azimute em torno de 45° em relação ao Norte e com um ângulo de elevação de 30° . A análise dessa figura permite verificar que diversos setores da área de estudo encontram-se na região de sombra, recebendo portanto apenas radiação difusa.

A comparação entre as Figuras 4.8 e 4.9 permite verificar que a amostra A (Figura 4.8), que se encontraria exposta à radiação direta do Sol na passagem referente a julho de 1973, teria sua irradiância representada apenas pela contribuição do fluxo de radiação difusa na passagem referente a setembro de 1977. Obviamente, o efeito de sombreamento pelo relevo encontra-se exagerado pela forma com a qual foram coletados os dados de altitude, mas ainda assim, percebe-se que a interação entre o relevo e as condições de iluminação são cruciais para a interpretação das imagens MSS/LANDSAT.

Com relação ao ponto B pode-se verificar que a área efetiva iluminada pelo sol (considerando o Sol como uma fonte puntiforme) difere de uma passagem para outra. Considerando-se que o satélite LANDSAT ocupa posição zenital sobre a cena, a radiância registrada pelo MSS difere substancialmente. Desta maneira, a análise multitemporal do comportamento espectral do alvo fica comprometida pela variação introduzida pela topografia.

O próprio registro da topografia modifica-se em função da variação do ângulo de incidência solar. A região C da bacia tenderá a apresentar um padrão de rugosidade mais acentuado na passagem referente aos menores ângulos de elevação e azimute (julho de 1973).

Levando-se em conta que os processos de filtragem visam realçar a informação espacial da imagem (variação de rugosidade), se o conteúdo de informação espacial varia de uma passagem para outra, o resultado do processo também varia.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

Os resultados alcançados nesse trabalho de pesquisa permitiram verificar que a classificação temática do relevo por meio de processamento digital é afetada pela época da passagem do satélite, através da variação de condições de iluminação da cena. Constatou-se, também, que na área em estudo não existe correspondência entre as classes de relevo "espectralmente" separáveis e aquelas resultantes de parâmetros topográficos.

O tipo de abordagem adotado para o desenvolvimento do trabalho não permitiu a avaliação quantitativa do efeito da variação sazonal sobre a classificação temática do relevo. Para que essa avaliação possa ser realizada, novos testes deverão ser feitos em áreas representativas de diferentes padrões de relevo. Sô dessa maneira poder-se-ã ter uma apreciação objetiva dos efeitos da variação sazonal sobre o processamento digital de imagem MSS, visando à caracterização do relevo.

Para a área em estudo, caracterizada por relevo dissecado em vales escarpados com grandes amplitudes altimétricas, a passagem que apresentou o melhor desempenho foi a referente a julho de 1973, c que em parte contraria as observações de Kitcho (1979), o qual recomenda o uso de imagens tomadas a altos ângulos de elevação solar para análise do relevo em regiões montanhosas.

Os resultados também diferem daqueles alcançados por Novo (1982) que verificou, para a mesma área de estudo, que as passagens mais adequadas eram as referentes a grandes ângulos de elevação e azimute.

As diferenças de resultados podem ser atribuídas ao fato de que se empregaram técnicas de análise visual, através da qual po

dem ser avaliadas não sō as diferenças na frequência de variação de n^oveis de cinza, mas também as diferenças nas formas de arranjo espacial dos diferentes n^oveis de cinza.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- COCHRANE, G.R.; BROWNE, G.H. Geomorphic Mapping from LANDSAT-3 Return Beam Vidicon (RBV) Imagery. *Photogramm. Engineering and Remote Sensing*, 47(8):1205-1213, 1981.
- DONKER, N.H.W.; MEIJERINK, A.M.J. Digital Processing of LANDSAT imagery to produce a maximum impression of terrain ruggedness. *ITC Journal*, 4:25-31, 1977.
- DUTRA, L.V. Extração de Atributos Espaciais em Imagens Multiespectrais São José dos Campos, INPE, 1982. (INPE-2315-TDL).
- DUTRA, L.V.; MASCARENHAS, N.D. d'Avila. Extração de Atributos Espaciais em Imagens Multiespectrais. São José dos Campos, INPE, 1980. (INPE-1885-RPE/229).
- DUTRA, L.V.; SOUZA, R.C.M.; II, M.F.A.; MOREIRA, J.C. Análise Automática de Imagens Multiespectrais. São José dos Campos, INPE, 1981. (INPE-2212-MD/009).
- DUTRA, L.V.; MOREIRA, J.C.; II, F.A.M. Manual de Usuários dos Sistemas de Tratamento de Imagens Digitais, 1982 (no prelo), INPE, São José dos Campos.
- HARTIGAN, J.A. *Clustering Algorithms*. New York, J. Wiley, 1975.
- HASSUI, Y.; PONÇANO, W.L.; BISTUCHI, C.A.; STEIN, D.P.; GALVÃO, C.A. C.F.; GIMENEZ, A.F.; ALMEIDA, M.A.; PIRES NETO, A.G.; MELLO, M.S.; SANTOS, M.C.S.R. *Geologia da Região Administrativa 3 (Vale do Paraíba) e Parte da Região Administrativa 2 (Litoral) do Estado de São Paulo*. IPT, SP. 1978.
- IISAKA, J.; NAKATA, E.; ISHII, Y.; IMANAKA, M.; MIYAZAKI, Y. Application of Texture Analysis and Image Enhancement Techniques for Remote Sensing. IN: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING, 12., Ann Arbor, MI, 1978. *Proceedings*. Ann Arbor, ERIM, 1978, v.3, p. 1957-1972.
- IRONS, J.R.; PETERSON, G.W. Texture Transforms of Remote Sensing Data *Remote Sensing of Environment*, 11:359-370, 1981.

- KITCHO, C.A. "Optimum LANDSAT sun angles for extreme contrasts of terrain". IN: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 13, Ann Arbor, MI, 1979. *Proceedings*. Ann Arbor, ERIM, 1979, V.2, p. 1213-1221.
- KAYAN, I.; KLEMAS, V. Application of LANDSAT imagery to studies of structural geology and geomorphology of the Mentese Region of Southwestern Turkey. *Remote Sensing of Environment*, 7:51-60(1978).
- KOWALIK, W.S. Atmospheric Correction to LANDSAT Data for Limonite discrimination. Thesis for the Degree of Doctor of Philosophy. Stanford University, 1981.
- KOFFLER, N.F. Utilização de Imagens Aerofotográficas e Orbitais no Estudo do Padrão de Drenagem em Solos Originados do Arenito Bauru. São José dos Campos, INPE, 1976, (INPE-TPT/029).
- MILLER, V.C. Solar Stereo LANDSAT imagery. *ITC Journal*, 1:158-166, 1978.
- NOVO, E.M.L.M. Efeito do ângulo de elevação solar e azimute na determinação de compartimentos geomorfológicos. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2. Brasília, maio 1982.
- ROBINOVE, C.J.; CHAVEZ, P.S.; GEHRING, D.; HOLMAN, R. Arid Land Monitoring using LANDSAT albedo Difference Images. *Remote Sensing of Environment*, 11:133-156, 1981.
- SANTOS, A.P.; NOVO, E.M.L.M. Uso de dados do LANDSAT 1 na Implantação, Controle e Acompanhamento de Projetos Agropecuários no Sudoeste da Amazônia Legal. São José dos Campos, INPE, 1977. (INPE-1044-TPT/056).
- SLATER, P.N. *Remote Sensing - Optics and Optical Systems*. London. Addison - Wesley Publishing Company, 1980.
- VALÉRIO FILHO, M.; HIGA, N.T.; CARVALHO, V.C. Avaliação de Imagens Orbitais como base para levantamento de solos. São José dos Campos, INPE, 1976. (INPE-912-TPT/030).
- VERSTAPPEN, H. Th. *Remote Sensing in Geomorphology*. Amsterdam, Elsevier Scientific, 1977.