

**EMPREGO DE IMAGENS TM/LANDSAT NA CARACTERIZAÇÃO
MORFOMÉTRICA DE MICROBACIAS HIDROGRÁFICAS**

M. J. Ortiz
R. Angulo Filho
C. A. Vettorazzi
H. T. Z. do Couto

Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"
Caixa Postal 9
13400 - Piracicaba - SP
BRASIL

RESUMO

Fez-se a análise visual de imagens em preto-e-branco (bandas 3, 4 e 5) e de uma composição colorida falsa-cor (bandas 2, 3 e 4), na escala 1: 100.000, do sensor TM instalado à bordo do satélite LANDSAT-5, com o objetivo de verificar a sua potencialidade no estudo morfométrico de microbacias hidrográficas. Fotografias aéreas verticais, na escala 1: 35.000, foram utilizadas para fins comparativos. Como área-teste foi selecionada a bacia do ribeirão Tatu, na região de Limeira (SP), que foi dividida em sub-bacias de quarta-ordem, sobre as quais foram determinados vários índices morfométricos, tanto sobre os mapas gerados a partir da interpretação das imagens orbitais, como da interpretação das fotografias aéreas. O emprego das imagens orbitais conduziu a resultados satisfatórios no que se refere ao traçado da rede de drenagem superficial e à delimitação dos divisores de águas, o que foi comprovado através dos valores obtidos para os índices morfométricos. Sendo assim, o material empregado e a metodologia testada mostraram-se potencialmente válidos para estudos morfométricos compatíveis com a escala utilizada neste trabalho.

ABSTRACT

**USING TM/LANDSAT IMAGERY IN MORPHOMETRIC CHARACTERIZATION
OF DRAINAGE MICROBASINS**

Visual analysis was made on black-and-white images (bands 3, 4 and 5) and on a false-colour composition (bands 2, 3 and 4), at the 1: 100,000 scale, from the sensor TM of the LANDSAT-5, with the purpose to check the potentiality in the morphometric study of microbasins. Vertical aerial photographs, at the 1: 35,000 scale, were used for comparisons. Tatu river basin, in Limeira region (SP), was selected as test-area. It was divided into fourth order sub-basins, on which were determined several morphometric indices, either from orbital imagery and from vertical aerial photographs. The use of orbital imagery led to positive results related to the delineation of the surface drainage network and the delimitation of the watershed. It was proved by the obtained values for morphometric indices. Thus, the used material and the tested methodology presents good potentiality for morphometric studies compatible with the scale used in this research.

1. INTRODUÇÃO

A microbacia hidrográfica é uma área drenada por um curso d'água ou sistemas de curso d'água conectados e que convergem direta ou indiretamente para um leito ou espelho d'água, e representa uma unidade ideal para o planejamento do manejo dos recursos naturais. Constitui, portanto, a base geográfica para se desenvolverem os planos e ações de ocupação do espaço físico, bem como para as múltiplas atividades necessárias ao desenvolvimento sócio-econômico (BRASIL, 1987).

O primeiro passo da utilização criteriosa das microbacias é a realização de um levantamento de suas características (morfometria,

geologia, solos, uso da terra, etc.). No sentido de aumentar o rendimento desses levantamentos, várias técnicas podem ser aplicadas, como por exemplo o sensoriamento remoto, utilizando-se desde fotografias aéreas até imagens orbitais, em função do nível de detalhamento exigido pelo projeto.

O presente trabalho teve por objetivo principal testar o emprego de imagens orbitais multiespectrais Thematic Mapper (TM), do satélite LANDSAT-5, em um estudo geomorfológico quantitativo de bacias hidrográficas e suas redes de drenagem, através de dados obtidos em sub-bacias de quarta ordem (unidades amos-

trais).

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Material

A bacia hidrográfica estudada, do ribeirão Tatu, localiza-se nos municípios de Limeira e Cordeirópolis, no Estado de São Paulo, entre as longitudes 47°15' e 47°30' W Gr., e as latitudes 22°25' e 22°45' S. Faz parte da bacia do rio Piracicaba, um dos principais afluentes do rio Tietê.

O material cartográfico utilizado constou de cartas plani-altimétricas do IBGE; cartas de solos do levantamento pedológico semi-detalhado do Estado de São Paulo, quadriculas de Campinas e Araras; e mapa geológico da folha de Campinas.

As imagens orbitais empregadas foram obtidas por meio do sensor Thematic Mapper (TM), instalado no satélite LANDSAT-5. Foram utilizadas cópias em papel, em preto-e-branco e uma composição colorida, na escala de 1: 100.000, da passagem de 06 de julho de 1984 (WRS 220/76, quadrante B). Foram empregados os canais 3 (630-690 nm), 4 (760-900 nm) e 5 (1550-1750 nm) para as imagens em preto-e-branco, e os canais 2 (520-600 nm), 3 (630-690 nm) e 4 (760-900 nm) para a composição colorida, com processamento realizado nos laboratórios do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE).

Para a análise comparativa foram utilizadas fotografias aéreas verticais na escala nominal de 1: 35.000, pancromáticas, provenientes da cobertura realizada em 1978 pela Terrafoto Atividades de Aerolevantamentos S.A., para a Secretaria de Economia e Planejamento do Estado de São Paulo.

A visão estereoscópica dos fotogramas foi obtida através de um estereoscópio de espelhos WILD ST-4, com ocular de três aumentos. A observação das imagens orbitais foi realizada com o auxílio de uma lupa com luminária circular acoplada. Na correção da escala do mapa obtido a partir da interpretação das fotografias aéreas usou-se o Aero-sketchmaster da Carl Zeiss.

Foram utilizados, ainda, equipamentos simples de medição e desenho, como escalímetro, régua de precisão, compasso, curvímetro e planímetro.

2.2. Métodos

2.2.1. Seleção da área de estudo

A área de estudo (bacia do ribeirão Tatu) foi selecionada basicamente em função de sua heterogeneidade com relação à rede de drenagem, possibilitando, desta forma, uma avaliação mais abrangente dos produtos testados (imagens orbitais) e dos critérios de interpretação em condições morfológicas diversas.

2.2.2. Elaboração dos mapas básicos

A partir da interpretação das fotografias aéreas foi confeccionado um mapa da rede de drenagem e do divisor de águas da bacia em estudo, na escala aproximada de 1: 35.000, posteriormente corrigida para 1: 50.000 através do aero-sketchmaster. Também foram delimitadas as sub-bacias de quarta-ordem encontradas.

A decisão de se utilizar sub-bacias de quarta ordem foi tomada em função das limitações impostas pela resolução espacial e também pela escala das imagens orbitais, que tornaram difícil o traçado dos canais de ordens inferiores, ou seja, das cabeceiras de drenagem, principalmente em áreas de maior densidade hidrográfica e relevo mais movimentado, conforme atestam vários autores (KOFFLER, 1976; TOWNSHEND *et alii*, 1979; EPIPHANIO *et alii*, 1983 e outros).

Os mapas referentes ao traçado da rede de drenagem a partir das imagens orbitais em preto-e-branco, foram elaborados em função da reunião das informações extraídas de cada uma das três bandas. Este procedimento de empregar-se imagens de mais de uma banda da mesma cena no traçado da rede de drenagem advém do fato de que cada uma delas opera em uma região distinta do espectro eletromagnético, fornecendo, desse modo, informações sobre a área imageada que se completam, assegurando um traçado melhor da rede.

2.2.3. Índices quantitativos

Para as sub-bacias de quarta ordem, delimitadas sobre os mapas básicos do ribeirão Tatu, foram extraídos os seguintes dados: área das sub-bacias (A); perímetro das sub-bacias (P); número total de rios (N); comprimento total de rios (Lt); e comprimento do curso principal (Lcp). Esses dados foram empregados no cálculo dos índices apresentados a seguir:

e . Densidade de drenagem - Dd

$$Dd = \frac{Lt}{A} \text{ (km/km}^2\text{)} \quad (\text{HORTON, 1945})$$

. Frequência de rios - Fr

$$Fr = \frac{N}{A} \text{ (n}^\circ\text{ de rios/km}^2\text{)} \quad (\text{HORTON, 1945})$$

. Razão de textura - Tx

$$Tx = \frac{N}{P} \text{ (n}^\circ\text{ de rios/km)} \quad (\text{FRANÇA, 1968})$$

. Textura geológica - Tg

$$Tg = \frac{La}{Lcp} \text{ (km/km)} \quad (\text{MILLER, 1953})$$

onde La (comprim. dos afluentes) = Lt-Lcp

. Comprimento médio de rios - Lm

$$Lm = \frac{Lt}{N} \text{ (km)} \quad (\text{FRANÇA, 1968})$$

. Relação de forma - Rf

$$Rf = \frac{A}{(Lcp)^2} \text{ (km}^2/\text{km}^2\text{)} \quad (\text{MARTINEZ, 1984})$$

2.2.4. Formação de grupos homogêneos de sub-bacias

Em função da heterogeneidade fisiográfica encontrada na bacia do ribeirão Tatu, a mesma foi compartimentada em áreas morfologicamente distintas, atendendo assim ao objetivo de se testarem os produtos orbitais para áreas com características diferentes.

Para a compartimentação da bacia foram formados grupos homogêneos de sub-bacias, em função das variáveis (A, P, N, Lt, Lcp, Dd, Fr, Tx, Tg, Lm e Rf) obtidas a partir das fotografias aéreas, dados estes considerados como "verdade terrestre" para fins comparativos. Nessa compartimentação foi empregado um método multivariado: a Análise de Agrupamentos (Cluster Analysis).

2.2.5. Análise de variância

A avaliação dos produtos fotográficos orbitais, em diferentes condições fisiográficas, foi efetuada através dos dados característicos das sub-bacias (A, P, N, etc.) e dos índices derivados (Dd, Fr, Tx, etc.). Esses valores receberam tratamento estatístico por meio dos testes F e de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Tanto para a análise de agrupamentos como para a análise de variância foram empregados programas do "Statistical Analysis System" (SAS, 1987) para computadores pessoais.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Análise de Agrupamentos

Foram formados, através da análise de agrupamentos, três grupos de sub-bacias, representando três áreas de características fisiográficas distintas. Os valores médios para os dados, obtidos a partir da interpretação das fotografias aéreas, dos grupos de sub-bacias formados são apresentados na Tabela 1.

Pela análise da Tabela 1 verifica-se que foram formados dois grupos de características bem contrastantes (grupos 2 e 3) e um de características intermediárias entre os dois anteriores (grupo 1). A fisiografia das áreas onde são encontrados as sub-bacias do grupo 2 é caracterizada por um relevo suave ondulado, com um número baixo de rios por unidade de área. A predominância é de solos profundos, a maioria apresentando horizonte B latossólico. As sub-bacias de quarta ordem deste grupo são as que apresentam as maiores dimensões (área, perímetro, etc.). O grupo 3 é caracterizado por um relevo mais movimentado, ondulado a forte ondulado, com alta frequência de rios e solos pouco profundos (solos litólicos ou com horizonte B textural). As sub-bacias deste

TABELA 1
VALORES MÉDIOS DOS DADOS OBTIDOS A PARTIR DE FOTOGRAFIAS AÉREAS PARA OS GRUPOS DE SUB-BACIAS DEFINIDOS PELA ANÁLISE DE AGRUPAMENTOS

CARACTERÍSTICAS	GRUPOS		
	1	2	3
A (km ²)	2,79	13,91	1,21
P (km)	7,06	17,02	4,62
N (n ^o de rios)	45,86	45,00	20,40
Lt (km)	11,35	20,15	5,87
Lcp (km)	2,61	6,38	1,76
Dd (km/km ²)	4,43	1,56	5,31
Fr (n ^o de rios/km ²)	18,74	3,60	18,44
Tx (n ^o de rios/km)	6,79	2,71	4,41
Tg (km/km)	3,45	2,19	2,44
Lm (km)	0,25	0,46	0,30
Rf (km ² /km ²)	0,42	0,34	0,40
n ^o de sub-bacias	14	4	5

grupo possuem pequenas dimensões. As áreas de ocorrência das sub-bacias do grupo 1 possuem características em geral intermediárias às dos grupos 2 e 3.

3.2. Análise de variância

O resumo do teste de significância estatística aplicado aos dados característicos e índices derivados das sub-bacias encontram-se na Tabela 2. Foram analisados: tipos de produto fotográfico (Tipo), grupos de sub-bacias definidos pela análise de agrupamentos (Grupo), e a interação entre tipo e grupo (TxG).

Os valores de F apresentados na Tabela 2 indicam que, para a maioria das variáveis estudadas, pelo menos um dos tipos de produto fotográfico diferencia-se significativamente dos demais. Essa diferença não ocorreu apenas para as variáveis A (área) e P (perímetro), uma vez que os limites das sub-bacias foram praticamente os mesmos, com ligeiras diferenças, nos mapas básicos gerados a partir dos três produtos. Para grupos (G), os valores de F para todas as variáveis indicam que, pelo menos um deles diferiu significativamente dos demais, e ao nível de 1% de probabilidade. A interação entre tipo e grupo (TxG) mostrou-se significativa para as variáveis envolvendo número e comprimento de rios, à exceção da textura geológica, por ser uma razão envolvendo comprimento tanto no numerador quanto no denominador. Devido aos resultados da interação TxG, fez-se um desdobramento da análise de variância, verificando-se o comportamento dos três produtos fotográficos dentro de cada um dos três grupos de sub-bacias. Os resultados do teste de comparação de médias são apresentados nas Tabelas 3 e 4.

TABELA 2
RESUMO DO TESTE F PARA OS DADOS
CARACTERÍSTICOS E ÍNDICES DAS SUB-BACIAS

CARACTERÍSTICAS	FONTES DE VARIAÇÃO				C.V. (%)
	TIPO (T)	GRUPO (G)	TxG	RESÍDUO	
A	0,31 ^{n.s.}	222,99 ^{**}	0,43 ^{n.s.}	-	38,92
P	0,63 ^{n.s.}	120,44 ^{**}	0,94 ^{n.s.}	-	24,44
N	106,60 ^{**}	27,42 ^{**}	3,31 [*]	-	31,20
Lt	10,82 [*]	54,55 ^{**}	0,31 ^{n.s.}	-	33,78
Lcp	3,89 ^{**}	237,31 ^{**}	0,12 ^{n.s.}	-	20,55
Dd	21,23 ^{**}	25,78 ^{**}	2,88 [*]	-	31,49
Fr	49,79 ^{**}	19,73 ^{**}	3,46 [*]	-	47,82
Tx	77,66 ^{**}	24,53 ^{**}	3,26 [*]	-	35,69
Tg	6,77 ^{**}	12,37 ^{**}	0,32 ^{n.s.}	-	44,05
Lm	32,06 ^{**}	46,95 ^{**}	5,44 [*]	-	31,21
Rf	5,58 ^{**}	6,04 ^{**}	1,86 [*]	-	44,12
G.L.	2	2	4	60	

n.s. = não significativo;

* = significativo ao nível de 5% de probabilidade;

** = significativo ao nível de 1% de probabilidade;

TABELA 3
MÉDIAS DOS DADOS CARACTERÍSTICOS DAS SUB-BACIAS
PARA OS DIFERENTES GRUPOS E PRODUTOS
(TESTE DE TUKEY AO NÍVEL DE 5% DE PROBABILIDADE)

GRUPOS	PRODUTOS	VARIÁVEIS				
		A	P	N	Lt	Lcp
1	FAV	2,79 a	7,06 a	45,86 a	11,35 a	2,61 a
	IPB	2,86 a	6,64 a	15,64 b	7,95 b	2,13 a
	CC	2,75 a	7,21 a	17,29 b	7,91 b	2,42 a
	C.V. (%)	39,48	22,47	26,32	28,69	23,75
	Média	2,80	6,97	26,26	9,07	2,39
2	FAV	13,91 a	17,02 a	45,00 a	20,15 a	6,38 a
	IPB	14,28 a	15,12 a	12,00 b	14,35 a	6,00 a
	CC	12,55 a	14,25 a	17,50 b	14,85 a	5,82 a
	C.V. (%)	26,75	22,81	40,82	34,05	10,98
	Média	13,58	15,47	24,83	16,45	6,07
3	FAV	1,21 a	4,62 a	20,40 a	5,87 a	1,76 a
	IPB	1,28 a	4,48 a	7,00 b	2,92 b	1,34 a
	CC	1,20 a	4,32 a	4,80 b	2,80 b	1,38 a
	C.V. (%)	48,45	26,14	38,41	44,54	37,74
	Média	1,23	4,47	10,73	3,86	1,49

OBS.: Para cada grupo, valores nas colunas seguidas de letras iguais não diferem significativamente entre si.

FAV = fotografias aéreas verticais;

IPB = imagens em preto-e-branco;

CC = composição colorida.

TABELA 4
MÉDIAS DOS ÍNDICES DAS SUB-BACIAS PARA OS
DIFERENTES GRUPOS E PRODUTOS
(TESTE DE TUKEY AO NÍVEL DE 5% DE PROBABILIDADE)

GRUPOS	PRODUTOS	VARIÁVEIS					
		Dd	Fr	Tx	Tg	Lm	Rf
1	FAV	4,43 a	18,74 a	6,79 a	3,45 a	0,25 a	0,42 b
	IPB	2,95 b	6,06 b	2,42 b	2,81 ab	0,54 a	0,64 a
	CC	3,08 b	6,94 b	2,51 b	2,37 b	0,48 a	0,49 b
	C.V. (%)	28,72	44,65	33,53	39,16	26,24	29,77
	Média	3,49	10,58	3,91	2,88	0,42	0,52
	<hr/>						
2	FAV	1,56 a	3,60 a	2,71 a	2,19 a	0,46 a	0,34 a
	IPB	1,01 a	0,84 b	0,82 b	1,54 a	1,25 b	0,43 a
	CC	1,18 a	1,37 ab	1,31 ab	1,52 a	1,04 ab	0,35 a
	C.V. (%)	35,55	60,44	45,91	61,35	32,45	25,73
	Média	1,25	1,93	1,61	1,75	0,92	0,37
	<hr/>						
3	FAV	5,31 a	18,44 a	4,41 a	2,44 a	0,30 a	0,40 a
	IPB	2,39 b	6,38 b	1,49 b	1,08 b	0,45 ab	0,76 a
	CC	2,19 b	3,80 b	1,09 b	0,94 b	0,57 b	0,89 a
	C.V. (%)	33,55	41,92	26,80	47,61	33,19	63,39
	Média	3,30	9,54	2,33	1,48	0,44	0,68

OBS.: Para cada grupo, valores nas colunas seguidas de letras iguais não diferem significativamente entre si.

FAV = fotografias aéreas verticais;
 IPB = imagens em preto-e-branco;
 CC = composição colorida.

Os valores apresentados na Tabela 3 mostram que, de um modo geral, o número total de rios (N) e comprimento total de rios (Lt) extraídos a partir dos produtos orbitais não diferiram entre si, porém foram diferentes daqueles obtidos a partir das fotografias aéreas. Com relação ao comprimento do curso principal (Lcp) não houve diferença entre as médias para os três produtos, indicando que o problema reside na extração de informações ao nível de afluentes, o que, de acordo com a literatura, deve-se à limitação no traçado dos rios de menores ordens sobre as imagens orbitais, em decorrência da pequena escala e baixa resolução espacial.

Analisando-se os dados da Tabela 4, observa-se que, de um modo geral, à repetição do ocorrido com os dados característicos das sub-bacias, os produtos orbitais se equivalem para os três grupos, porém diferem das fotografias aéreas. A exceção mais importante ocorreu com o índice Densidade de Drenagem (Dd), cujos valores médios para os três produtos, dentro do grupo 2, não apresentaram diferença estatisticamente significativa. O mesmo ocorreu com o índice Relação de Forma (Rf) dentro dos grupos 2 e 3, e com o índice Textura Geológica dentro do grupo 2.

4. CONCLUSÕES

Pela análise dos resultados obtidos pode-se concluir que, no geral, os desempenhos dos produtos orbitais (imagens em preto-e-branco, dos canais TM-3, TM-4 e TM-5, e composição colorida 2/3/4, ambos na escala 1: 100.000) não diferiram entre si de uma maneira estatisticamente significativa, para áreas fisiograficamente distintas. Esses desempenhos, porém, não se equivaleram ao obtido através do emprego de fotografias aéreas verticais pancromáticas na escala 1: 35.000, as quais, logicamente, permitem um nível de detalhamento maior na extração de dados de morfometria de microbacias hidrográficas. Contudo, também de um modo geral, pode-se afirmar que em áreas caracterizadas por um relevo suave ondulado, com baixas densidade e frequência de rios, e com solos predominantemente de horizonte B latossólico, os três produtos permitiram o cálculo de alguns índices morfométricos (densidade de drenagem, textura geológica e relação de forma) estatisticamente semelhantes, isto é, imagens orbitais não diferindo das fotografias aéreas.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRASIL. Ministério da Agricultura. Programa Nacional de Microbacias Hidrográficas. Embrater, Brasília, 32p., 1987.
- EPIPHÂNIO, J.C.N.; FORMAGGIO, A.R.; VALÉRIO FILHO, M. Imagens RBV/LANDSAT-3 em estudos de rede de drenagem. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. 2. Brasília, 1983. Anais. São José dos Campos, INPE/CNPq, 1983, v.1, p.285-92.
- FRANÇA, G.V. de. Interpretação fotográfica de bacias e de redes de drenagem aplicada a solos da região de Piracicaba, 1968. 151p. (Doutoramento - ESALQ/USP).
- HORTON, R.E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative geomorphology. Bull. Geol. Soc. Amer., 56(3): 275-370, 1945.
- 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. 167p. (Mestrado - INPE).
- MARTINEZ, A.M.C. Propuesta para un estudio de morfometria de la cuenca del rio Tacuarembó utilizando imagenes de satellite. Primer Taller Nacional de Investigación sobre Cuencas Experimentales. Montevideú, 62p., 1984.
- MILLER, V.C. A quantitative geomorphic study of drainage basin characteristics in the Clinch Mountain area. New York, Columbia University, Dep. of Geology, Tech. Report 3. 30p., 1953.
- SAS. Institute Inc. SAS/STAT Guide for Personal Computers, Version 6 Edition. Cary, NC, SAS Institute Inc., 1987. 1028p.
- TOWNSHEND, J.R.; WILLIAMS, D.F.; JUSTICE, C.O. An evaluation of LANDSAT-3. RBV imagery for an area of complex terrain in southern Italy. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 13. Ann Arbor, MI, 1979. Proceedings. Ann Arbor, MI, ERIM, 1979. v.3, p.1839-52.