

ANÁLISE DE ÁREAS COM DIFERENTES CLASSES DE DECLIVIDADE
ATRAVÉS DE IMAGENS TM/LANDSAT*

VECTORAZZI, C.A.**
ANGULO Fº, R.**
KOFFLER, N.F.***

RESUMO

É feita a análise de áreas com diferentes classes de declividade (A = 0-3%, B = 3-8%, C = 8-16% e D = 16-30%) com a finalidade de se verificar a potencialidade de imagens TM/LANDSAT, na escala 1:100.000, para planejamento agrícola. Devido à ausência de visão tridimensional, o trabalho baseia-se nas relações quantitativas entre índices de drenagem (frequência de rios e densidade de drenagem) determinados a partir das imagens, e expressão do relevo (declividade média) extraída de cartas planialtimétricas, na escala 1:50.000. Fotografias aéreas na escala 1:35.000 são utilizadas para fins comparativos. Conclui-se que o uso dessas imagens para mapear classes de declividade através do padrão de drenagem é

* Entregue para publicação em 30/10/87.

** Professores do Departamento de Engenharia Rural da ESALQ/USP.

*** Pesquisador da Superintendência Geral do IAA/PLANAL-SUCAR.

viável, embora as características regionais o tenham limitado para diferenciar mais facilmente áreas com declividades A e B de áreas com declividades C e D.

INTRODUÇÃO

No planejamento de áreas agrícolas, o mapeamento das classes de declividade do terreno fornece informações básicas para a determinação das possibilidades de mecanização das operações agrícolas e riscos de erosão das terras, auxiliando na escolha do tipo de ocupação a ser desenvolvida.

A forma mais precisa de se classificar uma área em função da declividade tem sido através de levantamentos planialtimétricos detalhados. Para planejamento a nível regional, cartas topográficas elaboradas por entidades públicas também podem ser utilizadas, sendo sua precisão dependente da sua escala e da equidistância vertical entre as curvas de nível.

Por outro lado, o uso de fotografias aéreas permite a compartimentação da topografia através da visão estereoscópica. Este é um processo mais rápido, embora menos preciso, sendo a classe de declividade das áreas delimitadas calculada a partir de amostras em cartas planialtimétricas existentes, ou estimada através da experiência do fotointérprete na correlação imagem x terreno.

Atualmente, estão disponíveis para os planejadores imagens da superfície da Terra obtidas por satélites como o LANDSAT-5 e o SPOT-1, com qualidade que se aproxima das fotografias aéreas. Este material tem sido utilizado principalmente para investigações preliminares de grandes áreas.

A intenção do presente trabalho foi analisar imagens obtidas pelo sensor TM (Thematic Mapper) do LAND-

SAT-5, em papel fotográfico, na escala 1:100.000, quanto à possibilidade de se extrair informações sobre relevo e classes de declividade. Na ausência da visão tridimensional, o trabalho se baseou nas relações quantitativas que existem entre o traçado da rede de drenagem, que é visível nesse tipo de imagem, e a expressão do relevo.

Aspectos quantitativos do relevo foram extraídos de cartas topográficas 1:50.000, e a aferição dos aspectos da rede de drenagem foi feita através de fotografias aéreas verticais pancromáticas na escala 1:35.000.

Paralelamente, procurou-se mostrar, através de ilustrações, o padrão visual de amostras de cada classe de declividade estudada (A = 0-3%; B = 3-8%; C = 8-16%; D = 16-30%), em cada um dos materiais empregados (fotografias aéreas, imagens TM/LANDSAT e cartas topográficas), com o objetivo de correlacionar imagem com características do relevo e da rede de drenagem, de forma a facilitar levantamentos que se utilizem de material semelhante.

REVISÃO DE LITERATURA

Segundo LUEDER (1959), o padrão de drenagem e o relevo são os mais consistentes e confiáveis indicadores das condições do terreno disponíveis para o fotointérprete.

Para RAY & FISCHER (1960), as informações quantitativas obtidas de fotografias aéreas proporcionam medidas relativas ou absolutas úteis para caracterizar formas do terreno em termos objetivos, mais consistentes do que as denominações descritivas mais comumente utilizadas, como suave ondulado ou forte ondulado por exemplo, que podem levar a erros de interpretação.

Embora classicamente os estudos quantitativos fos

sem baseados na análise de pequenas bacias hidrográficas, RAY & FISCHER (1960) concluíram que amostras circulares de 10 km² podem fornecer informações mais consistentes quando se relaciona a densidade da drenagem à litologia.

FRANÇA (1968) adaptou a metodologia de Ray e Fischer ao estudo de solos, obtendo bons resultados com o uso da densidade de drenagem e de outros parâmetros utilizados pela análise quantitativa de STRAHLER (1964).

Posteriormente, KOFFLER (1976b) utilizando amostras com áreas variáveis entre 10 e 100 Km² concluiu que a caracterização quantitativa de um padrão de drenagem e a sua comparação com outros podem ser efetuadas através de índices de drenagem, independentemente do tamanho da amostra, desde que seja representativa. DEMÉTRIO (1977), em trabalho semelhante, confirmou essa conclusão. CRISTOFOLETTI (1980) afirmou que o aumento da declividade do terreno provoca um aumento nos valores de textura topográfica e densidade de drenagem.

Com o objetivo de relacionar índices de drenagem obtidos em fotografias aéreas com declividade determinada em cartas topográficas, KOFFLER (1982) concluiu que o método de determinação da declividade média adaptado de WENTWORTH (1930) é de fácil aplicação, apresentando resultados equivalentes quando comparado a um método mais preciso porém mais complexo.

Além das fotografias aéreas e das cartas planialtimétricas, as imagens LANDSAT também têm-se mostrado úteis para o estudo da superfície do terreno. KOFFLER (1976a) verificou que características como densidade de drenagem e textura topográfica puderam ser avaliadas qualitativamente, através da textura fotográfica das imagens MSS do LANDSAT-3.

COVRE *et alii* (1986) analisando imagens TM do LANDSAT-5, na escala 1:100.000, quanto à caracterização das redes de drenagem através de índices quantitativos, obtiveram resultados semelhantes aos extraídos de fotografias aéreas convencionais, na escala 1:60.000, de-

monstrando a viabilidade do emprego daquele tipo de ima
gem orbital em trabalhos desta natureza.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo corresponde a um quadrante de ima
gem TM/LANDSAT e sua localização, em relação às coor
denadas geográficas, pode ser observada na Figura 1.

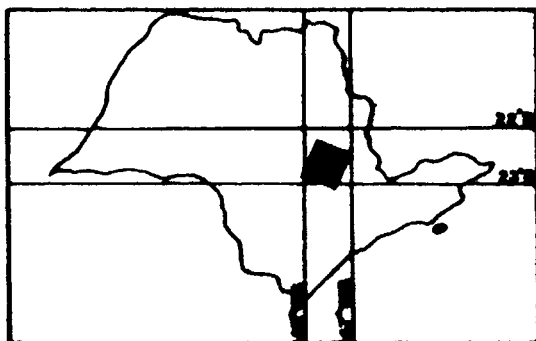


Fig. 1 - Localização da área de estudo

Nesta região estão incluídos, total ou parcialmen
te, municípios importantes para a economia do Estado de
São Paulo, como Piracicaba, Americana, Limeira, Rio Cla-
ro e outros.

O uso da terra na área de estudo é constituído, pre
dominantemente, pela cultura de cana-de-açúcar, citros,
pastagem e algumas culturas anuais como algodão e milho.

A topografia regional, segundo OLIVEIRA *et alii*
(1979), é constituída de maneira geral por colinas de for
mas suavizadas, com relevo predominantemente suave ondu-
lado a ondulado, com declividades inferiores a 7%. Nas
áreas onde ocorre o diabásio as vertentes ap
resentam,

geralmente, lançantes longos, enquanto nas áreas onde o substrato é representado por rochas sedimentares a topografia é mais movimentada e a rede de drenagem mais densa. Ocorrem também áreas com relevo fortemente ondulado onde as declividades das vertentes ultrapassam 16%.

O Mapa Geológico do Estado de São Paulo, quadrícula de Campinas (GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 1982), destaca na área de estudo as seguintes ocorrências: a) depósitos coluviais de espigão (Plioceno-Pleistoceno); b) suítes básicas (Cretáceo Inferior); c) formação Pirambóia (Triássico-Cretáceo); d) formação Corumbataí (Permiano); e) subgrupo Itararé (Carbonífero-Permiano).

O clima da área, segundo o sistema de Köppen, é identificado como do tipo Cwa, ou seja, clima mesotérmico de inverno seco.

Em termos de solos, há uma grande variação de unidades presentes na área de estudo, com destaque para os podzólicos vermelho-amarelos, latossolos (roxo, vermelho-escuro e vermelho-amarelo) e litossolos. Especificamente nas áreas escolhidas para estudo em detalhe com respeito às classes de declividade, os solos predominantes são os seguintes, segundo OLIVEIRA *et alii* (1977 e 1981) e PRADO *et alii* (1981):

Classe A (0-3%): Latossolo Vermelho Escuro álico textura média ou argilosa; Latossolo Vermelho Amarelo Húmico álico textura média ou argilosa e Latossolo Roxo eutrófico ou distrófico.

Classe B (3-8%): Latossolo Vermelho Amarelo álico textura média ou argilosa; Latossolo Vermelho Escuro álico textura média ou argilosa.

Classe C (8-16%). Podzólico Vermelho Amarelo distrófico ou álico textura arenosa/média; Litossolo substrato sedimentos da formação Tubarão e Cambissolo distrófico textura média.

Classe D (16-30%): Podzólico Vermelho Amarelo álico textura arenosa/média e Litossolos eutróficos e distróficos textura indiscriminada substrato arenito Botu-

catu-Pirambõia.

O presente estudo foi desenvolvido sobre imagens orbitais multiespectrais obtidas através do sensor "Thematic Mapper" (TM), instalado no satélite LANDSAT-5. Empregaram-se cópias em papel, em preto e branco, na escala 1:100.000, da passagem de 6 de julho de 1984 (WRS 220/76, quadrante B). Foram utilizados os canais 3 (630-690nm), 4 (760-900nm) e 5 (1550-1750nm), com processamento realizado nos laboratórios do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE).

Para análise comparativa foram utilizadas fotografias aéreas 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.

Informações cartográficas foram extraídas de cartas planialtimétricas na escala 1:50.000 produzidas pelo IBGE, com equidistância vertical de 20 metros, folhas de Americana, Araras, Cosmópolis, Itirapina, Limeira, Piracicaba e Rio Claro.

Foram utilizados os seguintes equipamentos principais: lente de aumento com luminária acoplada (para observação das imagens TM/LANDSAT), estereoscópio de reflexão WILD ST-4 com oculares para aumento 3x (para observação das fotografias aéreas), e curvímeter.

Com base em indicações do SOIL SURVEY STAFF (1962) e MINISTÉRIO DA AGRICULTURA (1979), foram definidos os limites para as classes de declividade utilizadas neste trabalho e que ocorrem na área de estudo:

CLASSE	DECLIVIDADE (%)	RELEVO
A	0 - 3	Plano
B	3 - 8	Suave ondulado
C	8 - 16	Ondulado
D	16 - 30	Ondulado a forte ondulado

Para estas classes de declividade, o MINISTÉRIO DA AGRICULTURA (1979) classifica os graus de limitação ao uso da terra pela susceptibilidade à erosão ou por impedimentos à mecanização da seguinte forma:

CLASSE DE DECLIVIDADE	GRAU DE LIMITAÇÃO
A	nulo
B	lígero
C	moderado
D	moderado a forte

Para a caracterização das áreas pertencentes às quatro classes de declividade, foram selecionadas amostras sobre as cartas topográficas, identificando-se cada classe a partir do intervalo horizontal entre as curvas de nível. Para isso foram escolhidas áreas topograficamente homogêneas, dentro de cada classe.

As amostras utilizadas tiveram formato circular, com 10km² de área para as classes A, B e C, e de 5km² para a classe D, devido à sua ocorrência em áreas relativamente pequenas. Essas amostras foram demarcadas nas cartas topográficas, fotografias aéreas e imagens LANDSAT, de modo que ocupassem exatamente a mesma posição nos 3 materiais.

Nas cartas topográficas foi determinada a declividade média, segundo o método proposto por WENTWORTH (1930), adaptado por KOFFLER (1982) para amostras circulares. Este método baseia-se no número de curvas de nível interceptadas por linhas dispostas nas direções Norte-Sul, Leste-Oeste, Noroeste-Sudeste, Nordeste-Sudoeste e respectivas paralelas, dentro da amostra (Figura 2). O cálculo da declividade (dW) é efetuado pela fórmula:

$$dW = E \cdot N/636,6$$

Onde E é a equidistância vertical das curvas de nível em metros e N é o número médio de curvas interceptadas por quilômetro.

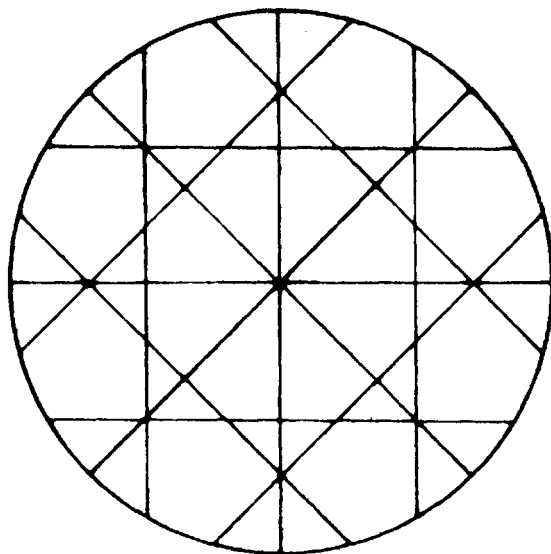


Fig. 2 - Modelo da amostragem de WENTWORTH (1930) adaptada por KOFFLER (1982).

Nas imagens TM/LANDSAT e nas fotografias aéreas foram analisadas as redes de drenagem através dos índices densidade de drenagem (D) e frequência de rios (F), conforme o método desenvolvido por RAY & FISCHER (1960) e ampliado por SOUZA (1975):

$$D = L/A \text{ e } F = N/A$$

onde L é o comprimento total de rios em km, N é o número total de rios e A é a área da amostra circular, em km^2 .

Nas fotografias aéreas o traçado das redes de drenagem seguiu o método tradicional, com uso da visão estereoscópica. Para as imagens TM/LANDSAT a rede de drenagem foi traçada com auxílio dos 3 canais empregados

(3, 4 e 5), uma vez que cada banda do espectro eletromagnético ofereceu uma distinta contribuição; o resultado final consistiu da reunião das informações dos 3 canais.

Os resultados obtidos foram analisados quanto à sua significância pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Para adequar os dados à análise estatística paramétrica, estes receberam a transformação \sqrt{x} . O delineamento utilizado foi o de parcelas subdivididas, inteiramente casualizadas, com três repetições para cada tratamento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Figuras 3 a 6 mostram as imagens das amostras representativas de cada classe de declividade estudada, nas fotografias aéreas e correspondentes imagens TM/LANDSAT nos 3 canais. O traçado das respectivas redes de drenagem e das curvas de nível que representam o relevo encontra-se nas Figuras 7 a 10.

Na Tabela 1 encontram-se os valores médios e respectivos erros padrões dos índices levantados: declividade média (dW) extraída das cartas topográficas, frequência de rios (F35) e densidade de drenagem (D35) obtidas a partir das fotografias aéreas, e valores análogos extraídos das imagens TM/LANDSAT (F100 e D100).

Pode-se observar a tendência dos dados em formar apenas 2 extratos distintos segundo as classes de declividade A + B e C + D, provavelmente condicionada pelas características dos tipos de solo existentes na região estudada. Entretanto, para ambas as imagens analisadas os índices de drenagem cresceram normalmente com o aumento da declividade do terreno, se bem que de forma um pouco atenuada nas imagens TM/LANDSAT (Figuras 11 e 12).

Tabela 1 - Valores médios e respectivos erros padrões dos índices de relevo e de drenagem.

Classe de declividade	Declividade média (dW)%	Fotografias aéreas				Imagens TM/LANDSAT	
		F35	D35	F100	D100		
A	2,3 [±] 0,12	0,6 [±] 0,06	0,5 [±] 0,09	0,4 [±] 0,06	0,4 [±] 0,06	0,4 [±] 0,07	
B	4,7 [±] 0,37	0,9 [±] 0,09	0,9 [±] 0,18	0,8 [±] 0,13	0,9 [±] 0,18	0,9 [±] 0,18	
C	13,5 [±] 0,62	17,2 [±] 3,01	4,8 [±] 0,52	7,9 [±] 0,73	3,4 [±] 0,23	3,4 [±] 0,23	
D	19,5 [±] 0,97	21,4 [±] 2,40	5,7 [±] 0,07	13,0 [±] 1,42	4,4 [±] 0,18	4,4 [±] 0,18	

IMAGENS TM/LANDSAT



Canal 1



Canal 4



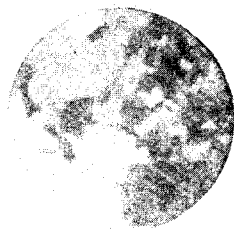
FOTOGRAFIA AEREA



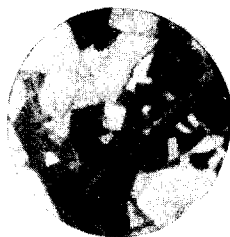
1 Km

Fig. 3 - Imagens representativas da classe de declividade A. 5

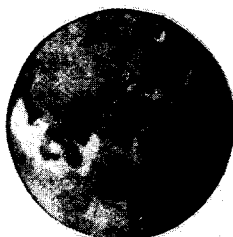
IMAGENS TM/LANDSAT



Canal 3



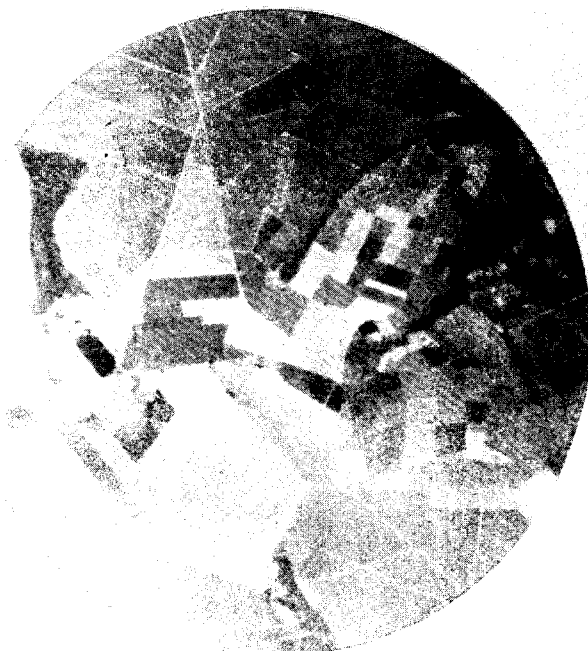
Canal 4



Canal 5

1 Km

FOTOGRAFIA AÉREA



1 Km

Fig. 4 - Imagens representativas da classe de declividade B.

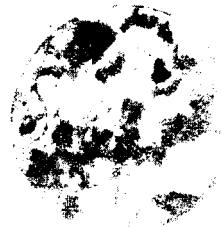
IMAGENS TM/LANDSAT



Canal 3



1 Km



FOTOGRAFIA AEREA



Fig. 5 - Imagens representativas da classe de declividade C.

SPOT/SAT

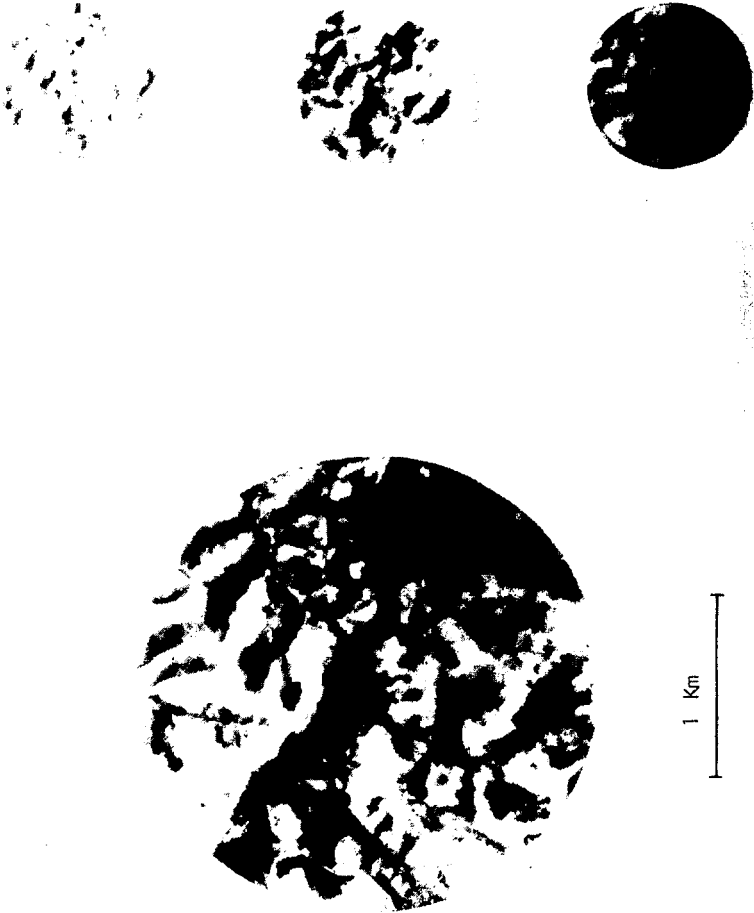


Fig. 6 - Imagens representativas da classe de declividade D. Canal 5

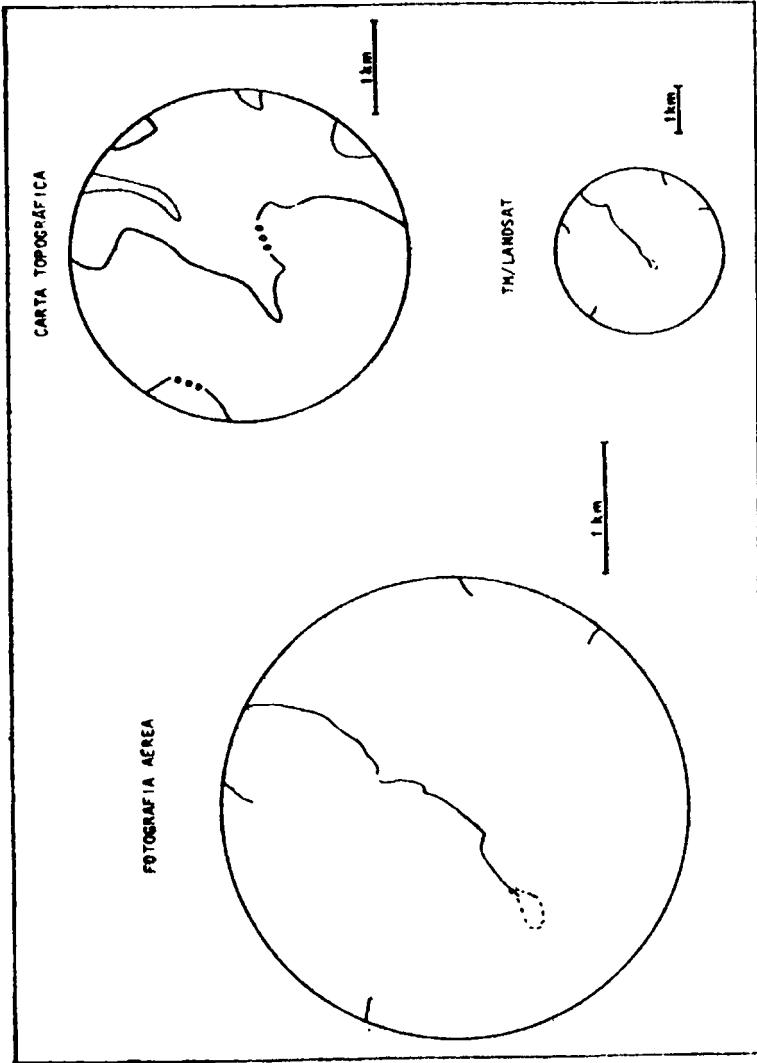


Fig. 7 - Amostras circulares representativas da rede de drenagem e do relevo da classe de declividade A.

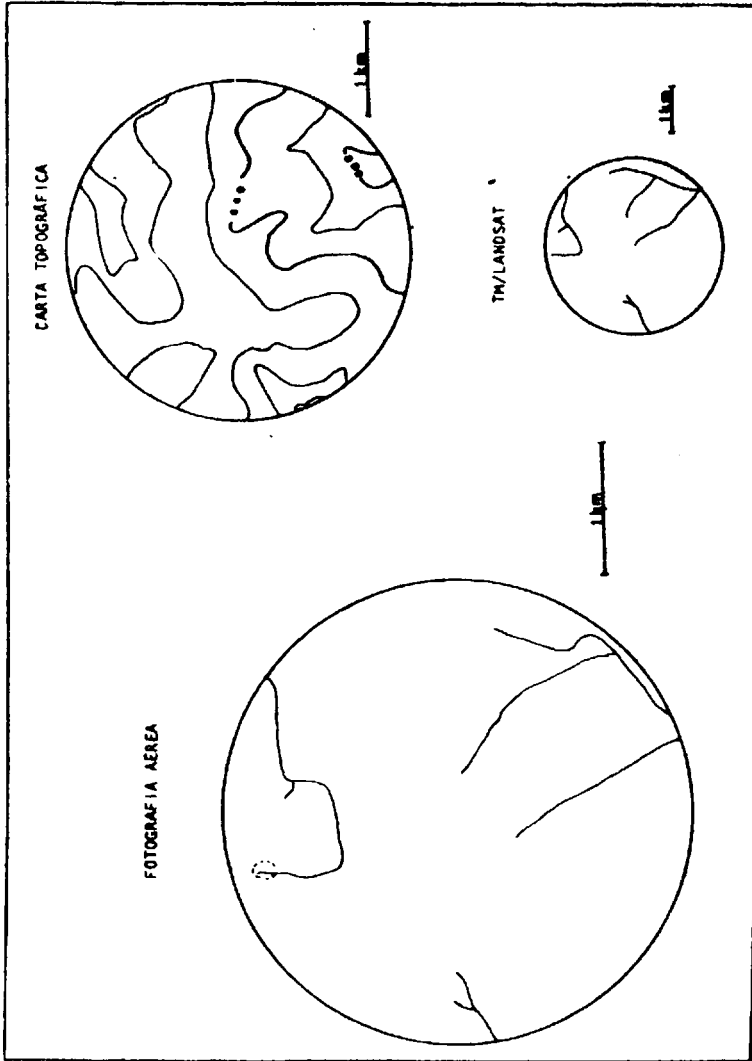


Fig. 8 - Amostras circulares representativas da rede de drenagem e do relevo da classe de declividade B.

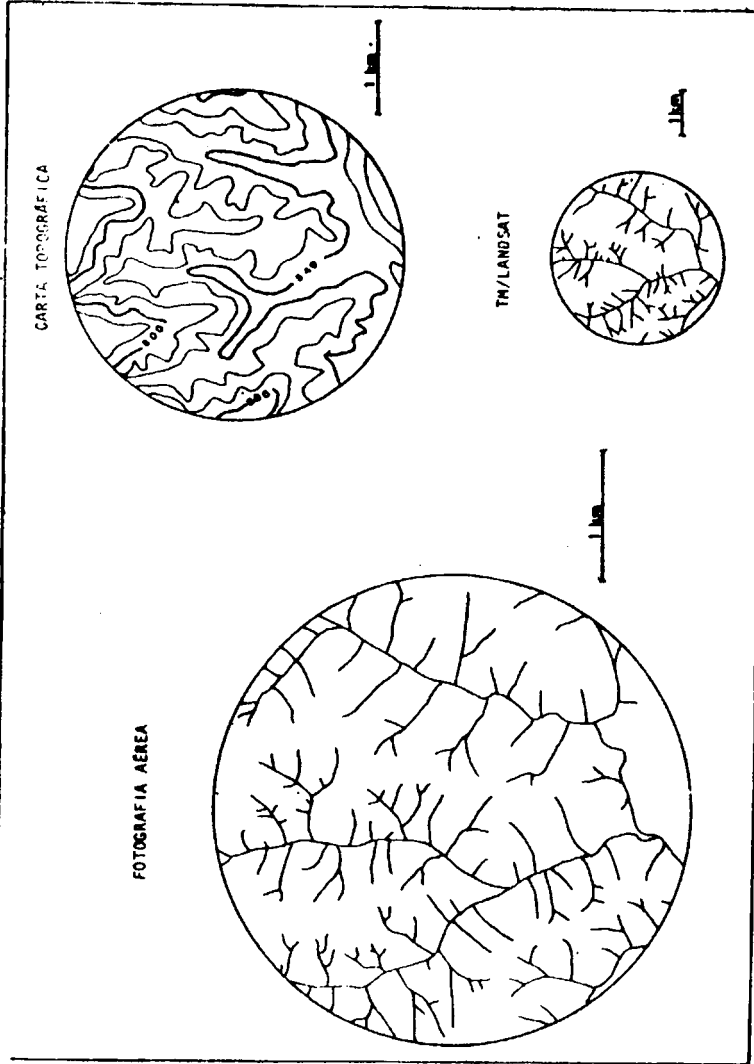


Fig. 9 - Amostras circulares representativas da rede de drenagem e do relevo da classe de declividade C.

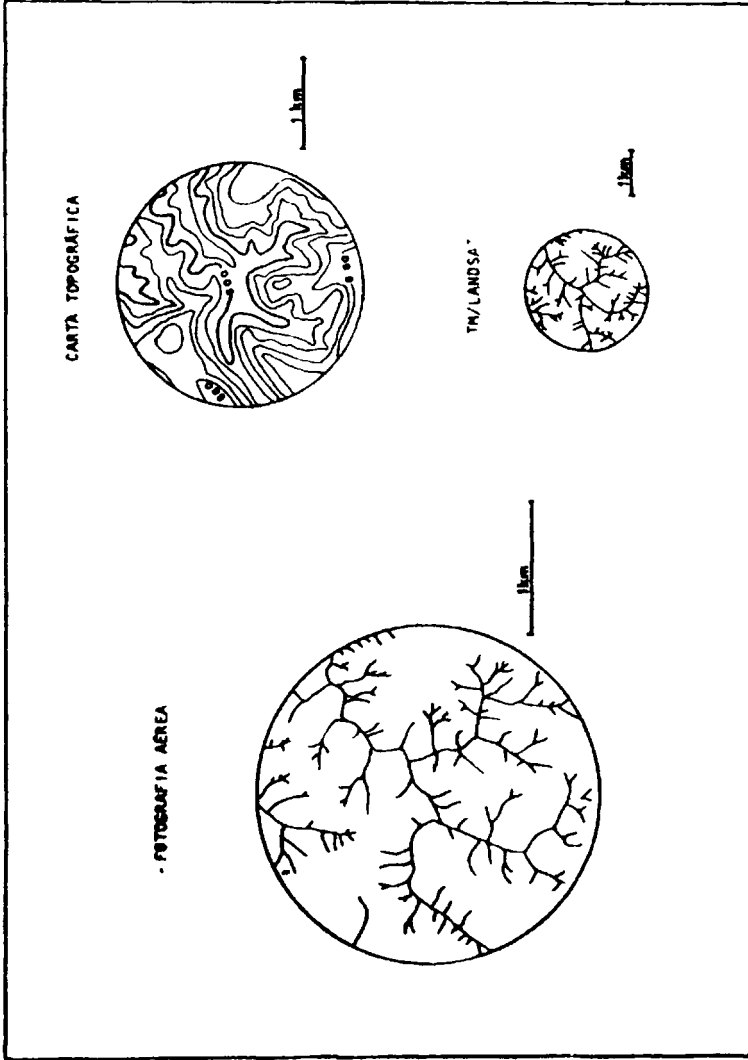


Fig. 10 - Amostras circulares representativas da rede de drenagem e do relevo da classe de declividade D.

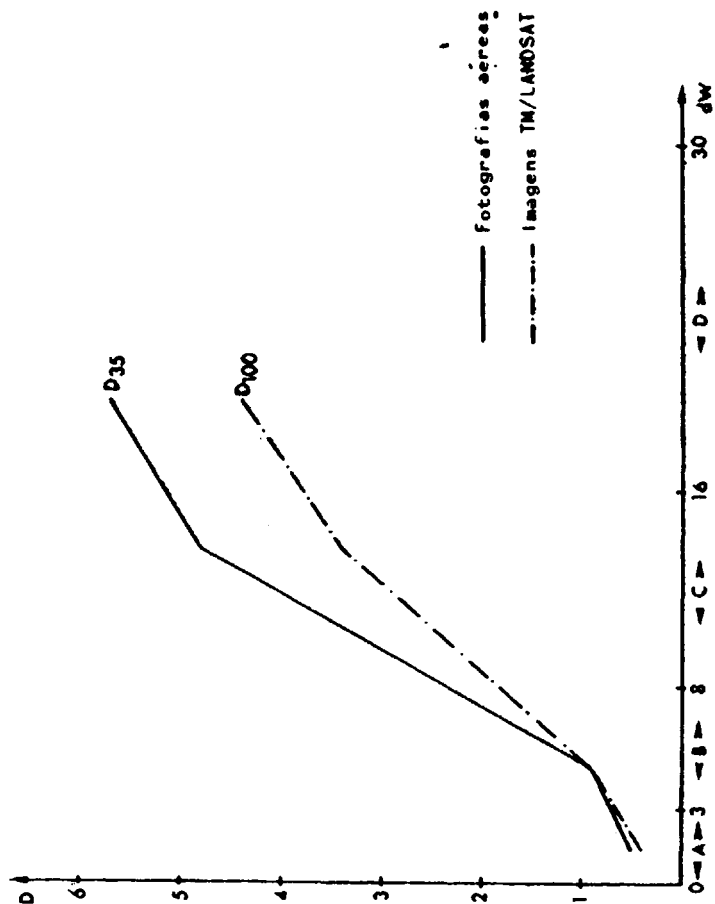


Fig. 11 - Variação da densidade de drenagem (D) em função da declividade média (dW).

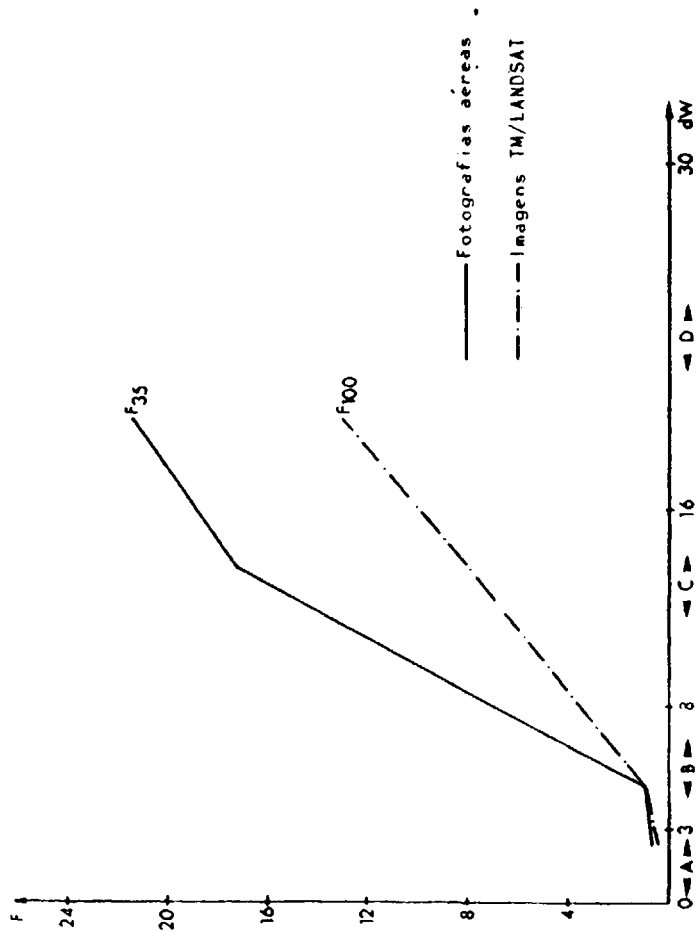


Fig. 12 - Variação da frequência de rios (F) em função da declividade média (dW).

Constatou-se uma perda de informações sobre a rede de drenagem traçada a partir das imagens LANDSAT, em relação ao obtido nas fotografias aéreas, o que era esperado devido à grande diferença de escalas entre os dois tipos de imagem.

As diferenças foram maiores nas classes de declividade C e D, sendo pouco evidentes nas classes A e B, caracterizadas por redes de drenagem com rios mais longos e em menor número, o que facilitou a identificação dos canais em imagens de escala pequena. Dentre os índices de drenagem, as maiores diferenças foram encontradas para frequência de rios do que para densidade de drenagem, o que indica uma grande perda de canais de 1ª ordem, normalmente de pequeno comprimento, difíceis de identificar em imagens de pequena escala.

A análise estatística realizada mostrou que existe um comportamento diferente para cada tipo de imagem em função da classe de declividade (efeito significativo da interação declividade x tipo de imagem).

A seguir, são apresentadas as tabelas referentes à aplicação do teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A Tabela 2 mostra que nas classes de declividade A e B os valores de frequência de rios obtidos nas imagens LANDSAT não diferiram dos correspondentes extraídos das fotografias aéreas. As classes C e D apresentaram resultados distintos conforme o tipo de imagem.

Tabela 2 - Análise de contrastes para frequência de rios, entre fotografias aéreas e imagens TM/LANDSAT, para as classes de declividade (valores na escala \sqrt{x}).

Tratamento	Classe A	Classe B	Classe C	Classe D
Fotogr. Aérea	0,77 a	0,96 a	4,12 a	4,61 a
Im. TM/LANDSAT	0,63 a	0,91 a	2,80 b	3,59 b

$$\Delta = 0,371$$

Quanto a densidade de drenagem, verifica-se pela Tabela 3, que os dois tipos de imagem diferiram nas classes de declividade A, C e D, não diferindo na classe B.

Tabela 3 - Análise de contrastes para densidade de drenagem, entre fotografias aéreas e imagens TM/LANDSAT, para as classes de declividade (valores na escala \sqrt{x}).

Tratamento	Classe A	Classe B	Classe C	Classe D
Fotogr. Aérea	0,72 a	0,96 a	2,18 a	2,38 a
Im. TM/LANDSAT	0,60 b	0,96 a	1,84 b	2,09 b

$$\Delta = 0,097$$

Pela análise das Tabelas 4 e 5, verifica-se que nas fotografias aéreas temos um comportamento semelhante entre as classes A/B e C/D, diferindo A e B de C e D, tanto para frequência de rios como para densidade de drenagem. Nas imagens TM/LANDSAT o comportamento é distinto das fotografias aéreas; em termos de frequência temos $A = B \neq C \neq D$ e para densidade $A \neq B \neq C = D$.

Tabela 4 - Análise de contrastes para as classes de declividade, dentro de fotografias aéreas e de imagens TM/LANDSAT, quanto a frequência de rios (valores na escala \sqrt{x}).

Tratamento	F 35	F 100
Classe A	0,77 a	0,63 a
Classe B	0,96 a	0,91 a
Classe C	4,12 b	2,80 b
Classe D	4,61 b	3,59 c

$$\Delta = 0,751$$

Tabela 5 - Análise de contrastes para as classes de declividade, dentro de fotografias aéreas e de imagens TM/LANDSAT, quanto a densidade de drenagem (valores na escala \sqrt{x}).

Tratamento	D 35	D 100
Classe A	0,72 a	0,60 a
Classe B	0,96 a	0,96 b
Classe C	2,18 b	1,84 c
Classe D	2,38 b	2,09 c

$$\Delta = 0,328$$

Essas observações derivadas das Tabelas 4 e 5 evidenciam um paradoxo, segundo o qual classes não diferenciáveis nas fotografias aéreas, com rede de drenagem completa, seriam diferenciáveis nas imagens LANDSAT. Isto ocorreu devido à grande perda de pequenos canais no traçado da rede de drenagem nas amostras da classe de declividade C, afetando mais a frequência de rios do que a densidade de drenagem. Isto pode ser considerado uma peculiaridade das condições regionais, já que a tendência geral é de perdas crescentes com o aumento dos valores de declividade média do terreno.

Embora a análise estatística tenha demonstrado a possibilidade de se separar as 4 classes de declividade na imagem TM/LANDSAT através dos índices de drenagem, os valores muito próximos encontrados para as classes A e B ou C e D na região, sugerem que para os trabalhos de mapeamento regional seja bastante confiável a separação por meio visual de áreas com declividades das classes A e B de áreas C e D. Isto já seria suficiente para planejamento agrícola pois, de um modo geral, as áreas com declividades A ou B têm sido consideradas aptas para agricultura em geral (quando avaliada a declividade isoladamente), enquanto áreas com declividades C ou D seriam restritas para culturas de ciclo curto, que expõem mais o solo aos processos erosivos.

CONCLUSÕES

A qualidade das imagens TM/LANDSAT na escala 1:100.000 é suficiente para se efetuar o mapeamento das classes de declividade do terreno, trabalho fundamental para o planejamento do uso da terra, com base no traçado das redes de drenagem.

Na área de estudo, devido às suas peculiaridades, é bastante operacional a separação de áreas com declividades das classes A e B daquelas com declividades C e D, por métodos simplesmente visuais.

A perda de informações da rede de drenagem, observada pela comparação com as fotografias aéreas na escala 1:35.000, não foi suficiente para comprometer a utilização das imagens TM/LANDSAT na caracterização de áreas com relevos diferentes através do padrão de drenagem.

SUMMARY

ANALYSIS OF AREAS WITH DIFFERENT SLOPE CLASSES THROUGH TM/LANDSAT IMAGES

The analysis of areas with different slope classes (A = 0-3%, B = 3-8%, C = 8-16% and D = 16-30%) is made with the purpose of verifying the TM/LANDSAT images potentiality in agricultural planning. Due to the absence of tridimensional viewing, the work is based on quantitative relations between drainage indices (river frequency and drainage density) determined on the images, and the relief expression (average slope) extracted from planialtimetric topographic charts (1:50,000 scale). Aerial photographs on a 1:35,000 scale are utilized for comparisons. The main conclusion is that the utilization of TM/LANDSAT images in mapping slope classes through drainage network is feasible,

though the characteristics of the analysed region caused an easier differentiation between areas of the A and B classes and those of the C and D classes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- COVRE, M., P.S. RIEDEL & J.C.N. EPIPHÂNIO, 1986. Análise quantitativa da drenagem através de imagens TM/LANDSAT e fotografias aéreas. In: Anais do Simpósio Latino-Americano de Sensoriamento Remoto, 10-15 de agosto de 1986, Gramado, RS, Brasil, Vol. 1, p. 280.
- CHRISTOFOLETTI, A., 1980. Geomorfologia, 2a. ed. São Paulo, Ed. Edgard Blücher, 188pp.
- DEMÉTRIO, V.A., 1977. Variação de características de redes de drenagem em função da escala das fotografias aéreas verticais. Piracicaba, ESALQ/USP, 107pp. (Dissertação de Mestrado).
- FRANÇA, G.V., 1968. Interpretação fotográfica de bacias e de redes de drenagem aplicada a solos da região de Piracicaba. Piracicaba, ESALQ/USP, 136pp. (Tese de Doutorado).
- GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 1982. Mapa Geológico do Estado de São Paulo, Folha de Campinas. Secretaria de Obras e do Meio Ambiente e Universidade Estadual Paulista. Escala 1:250.000.
- KOFFLER, N.F., 1976a. Utilização de imagens aerofotográficas e orbitais no estudo do padrão de drenagem em solos originados do Arenito Bauru. São José dos Campos, INPE, 167pp. (Dissertação de Mestrado).
- KOFFLER, N.F., 1976b. Análise aerofotográfica da influência da área de amostragem circular na caracterização quantitativa do padrão de drenagem. São José dos Campos, INPE, 20pp.

- KOFFLER, N.F., 1982. Análise de relevo a partir de índices de drenagem obtidos com fotografias aéreas. Boletim de Geografia Teorética, 12 (23/24):69-76.
- LUEDER, D.R., 1959. Aerial photographic interpretation - Principles and applications. New York, McGraw-Hill, 462pp.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 1979. Aptidão agrícola das terras de São Paulo. Secretaria Nacional de Planejamento Agrícola. Brasília, Binagri, 114 pp (série Aptidão Agrícola das Terras, nº 20).
- OLIVEIRA, J.B., J.R.F. MENK & C.L. ROTTA, 1977. Levantamento semidetalhado dos solos do Estado de São Paulo. Quadrícula de Campinas. Secretaria de Agricultura e Abastecimento, Instituto Agronômico. Escala 1:100.000.
- OLIVEIRA, J.B., J.R.F. MENK & C.L. ROTTA, 1979. Levantamento pedológico semidetalhado dos solos do Estado de São Paulo. Quadrícula de Campinas. Rio de Janeiro, IBGE, 169pp.
- OLIVEIRA, J.B., J.R.F. MENK, J.L. BARBIERI, C.L. ROTTA & W. TREMACOLDI, 1981. Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo. Quadrícula de Araras. Secretaria de Agricultura e Abastecimento, Instituto Agronômico. Escala 1:100.000.
- PRADO, H., J.B. OLIVEIRA & C.L.F. ALMEIDA, 1981. Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo. Quadrícula de São Carlos. Secretaria de Agricultura e Abastecimento, Instituto Agronômico. Escala 1:100.000.
- RAY, R.G. & W.A. FISCHER, 1960. Quantitative photography: a geological research tool. Photogrammetric Engineering, 26(1):143-150.

- SOIL SURVEY STAFF, 1962. Soil survey manual. Washington, USDA, 503pp. (Handbook 18).
- SOUZA, M.L.P., 1975. Fotointerpretação das redes de drenagem de três solos com horizonte B latossólico ocorrentes no município de Ponta Grossa-PR. Piracicaba, ESALQ/USP, 135pp. (Dissertação de Mestrado).
- STRAHLER, A.N., 1964. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. In: CHOW, V.T. Handbook of applied hidrology. New York, McGraw-Hill, Sec. 4, p. 11.
- WENTWORTH, C.K., 1930. A simplified method of determining the average slope of land surfaces. Am. J. Sci. 20(117):184-194.