

Juzo

*controle
de erosão*

**4º SIMPÓSIO NACIONAL
DE CONTROLE DE EROSÃO**

15 a 19 fev 87

Marília SP

ANAIS

UTILIZAÇÃO DE IMAGENS TM/LANDSAT NA CARACTERIZAÇÃO DE DEGRADAÇÃO DO SOLO.

Mário Valério Filho *

Pedro Luiz Donzelli **

Sérgio dos Anjos Ferreira Pinto

Francisco de Paula Nogueira **

* Instituto de Pesquisas Espaciais - I.N.P.E. - São José dos Campos

** Instituto Agronômico de Campinas.

RESUMO

As imagens orbitais obtidas através dos satélites da série LANDSAT têm sido amplamente utilizadas como fonte de dados pelos diferentes setores das Ciências da Terra.

Através de suas características multispectral e multitemporal é possível monitorar eventos dinâmicos que ocorrem na superfície terrestre.

Neste contexto o objetivo deste trabalho é avaliar a potencialidade de imagens digitais TM/LANDSAT, em composições coloridas para a caracterização da degradação do solo.

As imagens TM/LANDSAT em fitas compatíveis com computador (C.C.T's) foram submetidas a processamento digital no Sistema Analisador de Imagens Multispectrais (Sistema Image-100) e obtidas composições coloridas com realçamento, na escala aproximada de 1:50.000, combinando-se as bandas TM3, TM4, TM5 e TM7.

A caracterização dos processos de degradação do solo foi conduzida a partir da análise da variação da cobertura vegetal de

terminada pelos diferentes padrões de uso/ocupação do solo. Esta caracterização foi realizada com o suporte de fotografias aéreas, que permitiu também identificar nas imagens TM feições superficiais associadas aos processos de degradação do solo.

INTRODUÇÃO

Os processos de erosão acelerada do solo são eventos que interessam tanto a estudos nos campos da Geomorfologia/ Pedologia como na Agronomia.

Este interfaceamento se verifica na medida em que os processos de erosão acelerada do solo, que agem principalmente na superfície das vertentes, tendem a imprimir alterações nas formas de relevo, tanto pela retirada como na deposição de materiais, incluindo-se portanto no âmbito dos processos geomorfológicos. No que se refere ao interesse da Pedologia aqueles processos de morfogênese tendem a se contrapor, em parte, a pedogênese através das modificações impostas à cobertura pedológica tanto a nível vertical como lateral.

Por sua vez, a caracterização da erosão do solo é de importância para as ciências agronômicas na medida em que este processo conduz principalmente à redução da fertilidade natural dos solos agricultáveis, interferindo a médio e longo termo na produção de alimentos.

Desta forma, também, o problema de erosão deve ser alvo de interesse de instituições e órgãos governamentais e privados voltados ao planejamento e adoção de políticas agrícolas.

Para a adoção de medidas é necessário o conhecimento da situação dos solos em termos de erosão e neste sentido é importante ter à disposição mecanismos ágeis de coleta de informações.

Neste contexto, as técnicas de sensoriamento remoto se revelam como ferramenta de significativa importância na obtenção de informações referentes aos alvos e eventos que ocorrem na superfície, incluindo as evidências promovidas pela erosão.

Especificamente os dados coletados a partir dos sistemas sensores a bordo dos satélites da série LANDSAT já tem sido utilizados para identificação de eventos de caráter dinâmico que

ocorrem na superfície terrestre, através de suas características espectral e temporal.

O sistema sensor Mapeador Temático (Thematic Mapper-TM) a bordo do atual satélite em operação, o LANDSAT-5, tem apresentado maior potencialidade de obtenção de informações a partir de sua melhor resolução geométrica (30 metros) e espectral (sete bandas espectrais) do que o sistema até então utilizado (Multi espectral Scanner - MSS).

No que se refere à utilização das imagens orbitais para a identificação e caracterização da erosão do solo, diversos trabalhos já tem sido publicados envolvendo principalmente dados MSS e mais recentemente dados TM.

Neste particular é interessante referenciar o trabalho pioneiro desenvolvido por Morrison e Cooley (1973) em condições de ambiente semi-árido no sul do Arizona. Avaliando dados analógicos MSS, principalmente na banda 5, identificaram canais de escoamento modernos através da variação tonal decorrente da diferença de cobertura vegetal.

Ainda utilizando dados MSS/LANDSAT pode-se exemplificar os trabalhos de Seubert et alii (1979), Stephens e Cihlar (1981), Pinto (1983) e Pickup e Nelson (1984), utilizaram dados digitais do MSS para avaliar principalmente a variação da cobertura vegetal como indicador da erosão do solo.

Por sua vez Pazar et alii (1982) analisaram dados MSS para avaliar a influência do óxido de ferro e matéria orgânica no comportamento espectral de solos e o grau de separabilidade de classes de solos erodidos.

Gesch e Naugle (1984) realizaram trabalho de avaliação de desempenho dos dados TM/LANDSAT para a caracterização de erosão do solo comparando-os com imagens MSS, para a derivação do fator C da equação universal de perdas do solo.

Utilizando dados digitais TM, Valério Filho e Pinto (1987) caracterizam áreas submetidas à degradação do solo através de composições coloridas realçadas na escala aproximada de 1:50.000. Com o apoio de fotografias aéreas e dados de campo avaliaram as áreas erodidas considerando-se principalmente a varia

ção na cobertura vegetal/uso e ocupação do solo.

Aproveitando as experiências anteriores, com intuito de dar continuidade ao exame das abordagens já desenvolvidas, o presente trabalho tem como objetivo a identificação de degradação do solo, através de dados TM/LANDSAT submetidos à processamento digital.

2. MATERIAL E MÉTODO

2.1. Material

Para a realização do presente estudo foram utilizados os dados obtidos pelo sensor TM/LANDSAT na forma de fitas compatíveis com computador (C.C.T.) referente à órbita 222/75 S (WRS), da passagem de 02/04/85, nas bandas TM 2, 3, 4, 5 e 7 as quais abrangem a radiação da porção do visível e infravermelho próximo do espectro eletromagnético (Figura 1).

No desenvolvimento deste trabalho foram analisadas composições coloridas na escala aproximada de 1:50.000, geradas a partir da combinação de diferentes bandas do TM/LANDSAT associadas às cores Azul (B), Verde (G) e Vermelho (R).

As composições coloridas foram obtidas através do sistema Analisador de Imagens Multiespectrais (Sistema Image-100) disponível no INPE.

Como material de suporte às informações de verdade terrestre, foram utilizadas fotografias aéreas na escala 1:35.000, do aerolevante realizado pela Terrafoto S.A. em setembro de 1984.

O apoio cartográfico para localização de pontos de referência durante a análise dos dados, foi obtido através de cartas topográficas na escala 1:50.000 do IBGE, referentes às folhas de Rancharia e Quatá, editadas em 1984.

Como equipamentos auxiliares foram utilizados estereoscópios de espelho tipo ATS-4, da Wild, e o PROCOM-2 que consiste basicamente de um sistema de projeção de produtos fotográficos na forma de diapositivos e transparências. A projeção é direcionada para uma mesa plana, através de um espelho inclinado, sendo pos

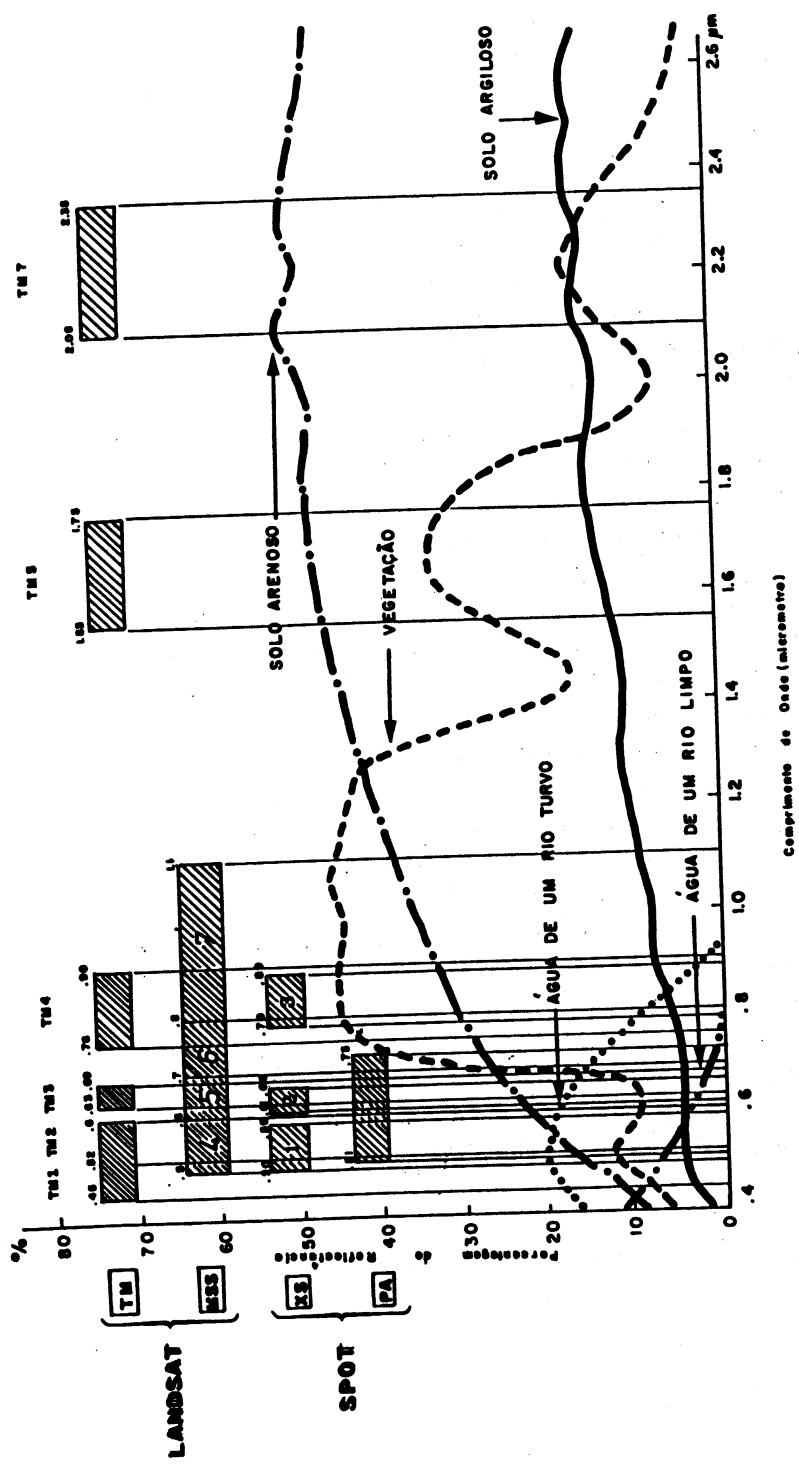


Fig. 1 - Representação gráfica das bandas TM/LANDSAT e a resposta espectral de alvos.

sível realizar as interpretações e ajuste dos temas analisados em diferentes bases cartográficas .

2.2. Área de Estudo

A área de estudo situa-se na região sudoeste do Estado de São Paulo (proximidades da cidade de Rancharia) limitada pelas coordenadas de 22°05' a 22°10' de latitude sul e 50°52' de longitude oeste.

Esta área apresenta as condições do meio físico, de um modo geral, observáveis em grandes extensões da região sudoeste paulista e que serão basicamente apresentadas a seguir.

Conforme a classificação climatológica de Köppen, a área está inserida no tipo Cwa, compreendendo clima quente úmido, com inverno seco, apresentando menos de 30 mm de chuvas no mês mais seco. A temperatura média do mês mais quente está acima de 22°C e a do mês mais frio abaixo de 18°C.

No que se refere às características das feições de superfície, a área insere-se na unidade de relevo denominada Planalto Ocidental Paulista (Almeida, 1964), constituída de relevo colinoso predominando vertentes de baixas declividades (até 15%). Essas colinas se caracterizam por apresentar topos aplainados e de extensos comprimentos de rampa, evidenciando áreas de baixa frequência de canais fluviais, que se enquadram no padrão de drenagem do tipo sub-dentrítico (IPT, 1981). Os vales em geral são abertos e as vertentes apresentam perfil convexo suave a retilíneo.

Estas características de relevo desenvolvem-se em litologias do grupo Bauru, especificamente na Formação Adamantina. A Formação Adamantina é constituída por depósitos fluviais com predominância de arenitos finos a muito finos, podendo apresentar cimentação e módulos carbonáticos (IPT, 1981).

A cobertura pedológica segundo RADAMBRASIL é formada pelos solos PVe5 e PVe12, sendo que o PVe5 é constituído pelo Podzólico Vermelho Amarelo eutrófico argila de atividade baixa a moderado textura arenosa/média + Podzólico Vermelho Escuro eutrófico e distrófico argila de atividade baixa a moderado textura arenosa/média, relevo suave ondulado + Latossolo Vermelho Escuro Alíco, A moderado textura média relevo plano. Inclusões : Podzólico Verme

lho Amarelo eutrófico argila de atividade baixa, abrupção, A moderado textura arenosa/média e Podzólico Vermelho Amarelo álico argila de atividades baixa A moderado textura média.

O solo PVel2 é constituído pelo Podzólico Vermelho Amarelo eutrófico, argila de atividade baixa, A moderado textura arenosa/média e média de Podzólico Vermelho Escuro eutrófico e distrófico argila de atividade baixa, A moderado textura arenosa/média e média relevo suave ondulado. Inclusões: Podzólico Vermelho eutrófico argila de atividade baixa-abrupção A moderado textura arenosa/média e Latossolo Vermelho Escuro álico A moderado textura média.

2.3. Método

No presente estudo o objetivo básico foi a avaliação das técnicas de processamento digital para gerar composições coloridas as quais foram submetidas as análises de interpretação visual no estudo da degradação dos solos.

Para o alcance desse objetivo, o primeiro passo foi a seleção dos dados TM/LANDSAT tendo-se por base a data de 02/04/85 a qual compreende o final do período chuvoso.

As composições coloridas analisadas foram geradas através do Analisador de Imagens Multiespectrais (Sistema Image 100). Neste sistema, o procedimento para gerar as composições coloridas consiste em primeiro lugar na localização do módulo a ser treinado e após selecionados, as bandas TM2, TM3, TM4, TM5 e TM7 foram submetidas a Ampliação Linear de Contraste (ALT) com a finalidade de melhorar a interpretabilidade dos dados os quais se apresentam de modo sutil nos produtos convencionais (imagens em papel preto e branco e coloridas), disponível aos usuários nas escalas de 1:250.000 e 1:100.000.

2.3.1. Análise das Composições Coloridas TM/LANDSAT

A combinação das bandas TM2, TM3, TM4, TM5 e TM7, três a três, associadas às cores azul, verde e vermelho possibilitou a obtenção de composições coloridas as quais foram avaliadas dire

tamente na tela de televisão do Sistema Image-100.

As composições coloridas consideradas mais informativas, foram selecionadas na forma de slides e fotos em papel, tomadas diretamente da tela e posteriormente analisadas através de reprodução fotográfica na escala aproximada 1:50.000 ou através de projeção realizada com auxílio do equipamento "PROCOM 2".

Através deste equipamento os slides das diferentes composições coloridas foram projetados e ajustados sobre a base cartográfica na escala 1:50.000 e avaliadas quanto a contribuição das mesmas na identificação dos aspectos relativos ao uso do solo/ cobertura vegetal e as evidências dos processos de erosão.

Para o presente estudo, duas composições coloridas foram selecionadas e analisadas : TM7 (azul), TM5 (verde), TM4 (vermelho) e a TM5 (azul), TM7 (verde) e TM4 (vermelho). A análise das composições com vistas a identificação dos alvos de interesse, foi conduzida levando-se em consideração basicamente os aspectos cor e feições associadas (forma e situação no contexto da área), que representam a expressão dos alvos em função do seu comportamento espectral nas bandas que compõem a composição colorida. Desta forma como exemplo, se o alvo tem uma alta resposta espectral no TM4 (vermelho), alta resposta no TM5 (verde) e baixa no TM7 (azul) ele se evidenciará na cor amarelada, o que significa a composição do vermelho e verde que resulta na cor amarela. Assim sendo, em função das diferentes respostas espectrais que os alvos se apresentam, podemos ter uma diversidade de nuances de cores, as quais são retratadas nas composições coloridas.

Para maior clareza, na identificação das classes de uso/ evidências dos processos de erosão do solo, a denominação das cores e suas variações foram caracterizadas com o apoio de tabelas de cores conforme KELLY & JUDD (1968).

2.3.2. Análise das Fotografias Aéreas

Para complementar as informações de campo, optou-se pela utilização das fotografias aéreas pancromáticas na escala 1:35.000 do recobrimento realizado em setembro de 1984.

Estas fotos, foram analisadas em estereoscopia e com

apoio dos critérios de fotointerpretação (tonalidade e textura) , realizou-se uma compartimentação da área de estudo, permitindo assim, individualizar os diferentes aspectos relativos ao uso do solo/cobertura vegetal e os níveis de degradação do solo.

Posteriormente foi estabelecida uma legenda para as classes de uso do solo e as evidências dos processos de erosão do solo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Análise das Fotografias Aéreas.

As fotografias aéreas pancromáticas, escala 1:35.000 , do aerolevante de 1984, foram analisadas estereoscópicamente para a coleta de informações em cada uma das vinte e cinco glebas selecionadas (Figura 2), referentes às condições de cobertura vegetal/uso atual da terra e da degradação do solo através das marcas dos processos de erosão impostas à superfície das vertentes.

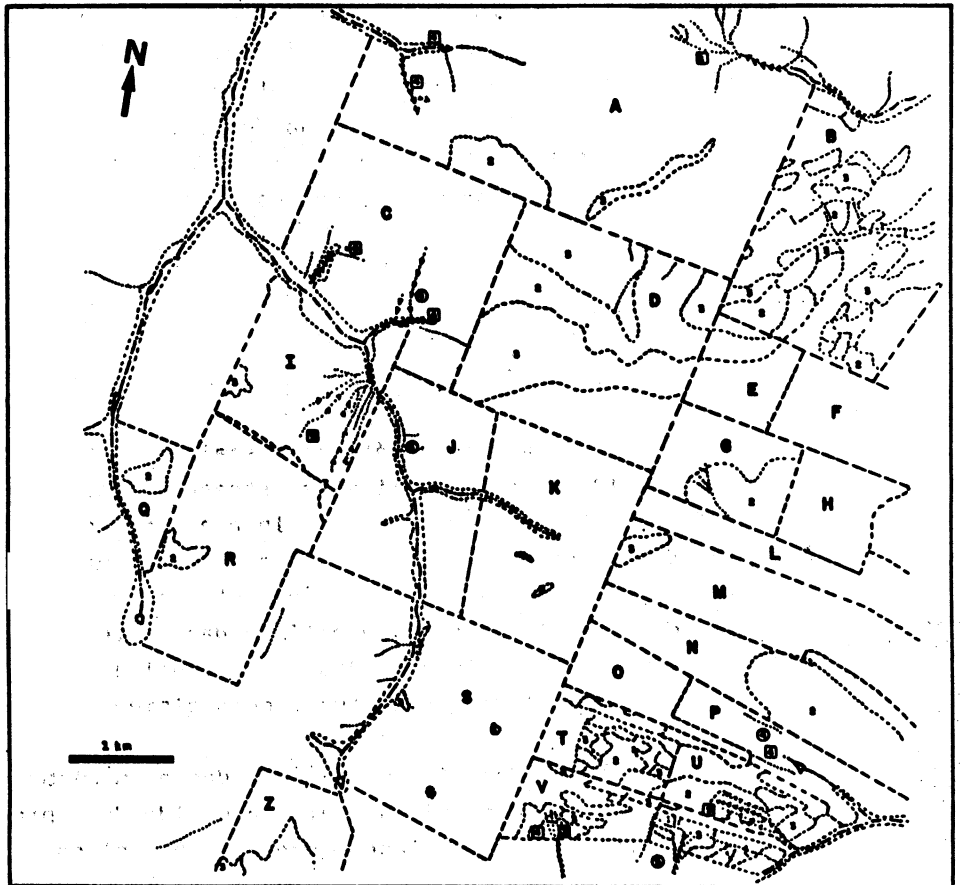
Para a obtenção destas informações foram considerados os aspectos fotográficos de tonalidade e textura, como elementos utilizados na fotointerpretação.

Com relação à tonalidade foram consideradas os seguintes níveis: cinza escuro, cinza médio, cinza claro acrescido da presença de manchas e/ou faixas esbranquiçadas contidas nos alvos analisados.

Quanto ao aspecto textura dos alvos analisados, considerou-se as seguintes categorias : lisa, fina, média e grossa.

A partir da análise interpretativa dos pares fotográficos foram definidas classes de cobertura vegetal/uso da terra nas glebas selecionadas, conforme indicado abaixo :

- . Mata
- . cobertura residual (rebrota de vegetação + pousio)
- . pasto
- . pasto sujo
- . café
- . café abandonado
- . terreno preparado



LEGENDA: A.....Z - glebas seleccionadas
 ----- limite das glebas
 erosão laminar | ligeira - 1
 | moderada - 2
 | severa - 3
 erosão em sulcos: | isolado - 4
 | muitos - 5
 rasão - ○
 profundo - □
 voçorocas - ƒ

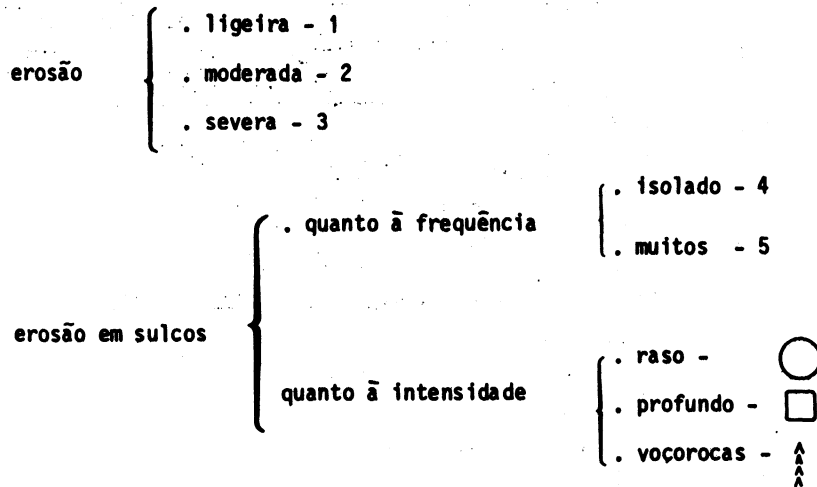
Fig. 2 - Mapa esquemático da área de estudo apresentando a distribuição de evidências de erosão nas glebas seleccionadas.

Estas classes de cobertura vegetal/uso da terra assim como os elementos de fotointerpretação utilizados, foram definidos e caracterizados com apoio dos trabalhos realizados por CHIARINI et alii (1976) e SERRA FILHO et alii (1974).

As evidências dos processos de erosão do solo foram interpretadas considerando-se também atributos espaciais como por exemplo a presença de feições lineares. O tema erosão foi abordado identificando-se os indícios de erosão laminar e erosão em sulcos (incluindo aqui as ravinas e voçorocas).

Para a erosão laminar considerou-se a sua intensidade através das categorias : ausente, ligeira, moderada e severa. Estas classes foram caracterizadas a partir da análise da tonalidade, como decorrência da variação da cobertura vegetal, que promove maior ou menor participação de solo exposto. Desta forma, a presença de solo exposto foi considerada um indicador do processo de erosão laminar, principalmente nas glebas em que se observava uma graduação da densidade da vegetação. Para o caso das glebas sob condições de solo preparado a erosão laminar foi identificada a partir da existência de manchas tonais diferentes do padrão geral da gleba, tomando-se o cuidado de não incluir variação de características superficiais do solo.

A situação de erosão em sulcos foi analisada considerando-se a frequência e intensidade do processo (raso, profundo e voçoroca). O esquema abaixo ilustra as classes selecionadas:



A legenda para a categoria erosão em sulcos, como pode se observar, compõe-se de informação combinada, exemplificando-se a situação [5] que significa a presença de sulcos muito frequentes e profundos.

A interpretação das fotos aéreas (uso da terra e condições de degradação do solo), nas glebas selecionadas foi transposta em uma tabela descritiva (Tabela 1). O posicionamento das glebas e as informações referentes à erosão do solo encontram-se exemplificadas na Figura 3.

3.2. Análise Integrada dos Dados.

As informações coletadas a partir das fotografias aéreas, das bandas TM3 e TM4 e composições coloridas TM/LANDSAT foram compiladas na Tabela 1, associando, por gleba, a situação de uso da terra/cobertura vegetal e as evidências de erosão do solo. Também compõem esta tabela de dados referentes aos tipos de solos e os elementos de interpretação (tonalidade, textura e cor).

No caso específico das cores observáveis nas composições TM/LANDSAT, as informações foram obtidas através de tabelas de cores conforme Kelly e Judd (1968), considerando-se seu índice numérico e seu aspecto colorimétrico descritivo. Como ilustração pode-se exemplificar o tipo de cor 163 descrita como sendo verde azulado claro.

Na tabela 1 foram consideradas as cores para as categorias de uso atual e para as evidências de erosão laminar e em sulcos. Na medida em que foram observadas, visualmente, variações entre os alvos adjacentes.

A partir da análise das informações referentes às evidências dos processos de erosão do solo, nesta tabela pode-se observar algumas tendências e associações que serão apresentadas a seguir.

No que se refere aos indícios de erosão laminar, interpretados nas composições TM7(B), 5(G), 4(R) e TM5 (B), 5(G), 4(R), verifica-se que as categorias erosão moderada e severa associam-se preferencialmente à cor 171 (azul esverdeado muito claro). Verificou-se também que, de um modo geral, as porções das glebas

Continuação da TABELA 1

TOMADA DE AMPLITUDE		LEGENDA		TOMADA DE AMPLITUDE DESEMPENHO DE CATEGORIA				ASPECTOS ASSOCIADOS PRESENTADOS NA CATEGORIA							
CANAL 3	CANAL 4	CONTEÚDO	CATEGORIA	CANAL 3	CANAL 4	CANAL 3	CANAL 4	CANAL 3	CANAL 4	CANAL 3	CANAL 4	CANAL 3	CANAL 4		
1	1	VERIFICAÇÃO DE PONTE BALANÇO/RASTRO	Cobertura Residual (combustível-óleo, óleo, etc.)	6.5	6.5	4a	Cobertura Residual (combustível-óleo, óleo, etc.)	6.5	6.5	Plano	Plano	canal 3	canal 4		
2	2			5.5,2	5.5,2			canal 3	canal 4	canal 3	canal 4	canal 3	canal 4	canal 3	canal 4
3	3			4.3	4.3			canal 3	canal 4	canal 3	canal 4	canal 3	canal 4	canal 3	canal 4
4	4			4.3	4.3			canal 3	canal 4	canal 3	canal 4	canal 3	canal 4	canal 3	canal 4
5	5	VERIFICAÇÃO DE PONTE BALANÇO/RASTRO	Cano Natural	5.5,2	5.5,2	5a	Cano Natural	5.5,2	5.5,2	canal 3	canal 4	canal 3	canal 4		
6	6			5.5,2	5.5,2			canal 3	canal 4	canal 3	canal 4	canal 3	canal 4	canal 3	canal 4
7	7			5.5,2	5.5,2			canal 3	canal 4	canal 3	canal 4	canal 3	canal 4	canal 3	canal 4
8	8			5.5,2	5.5,2			canal 3	canal 4	canal 3	canal 4	canal 3	canal 4	canal 3	canal 4
9	9	OBSERVAÇÕES	Cobertura Residual (combustível-óleo, óleo, etc.)	6.5,2,3	6.5,2,3	6a	Cobertura Residual (combustível-óleo, óleo, etc.)	6.5,2,3	6.5,2,3	canal 3	canal 4	canal 3	canal 4		
10	10			6.5,2,3	6.5,2,3			canal 3	canal 4	canal 3	canal 4	canal 3	canal 4	canal 3	canal 4
11	11			6.5,2,3	6.5,2,3			canal 3	canal 4	canal 3	canal 4	canal 3	canal 4	canal 3	canal 4
12	12			6.5,2,3	6.5,2,3			canal 3	canal 4	canal 3	canal 4	canal 3	canal 4	canal 3	canal 4
13	13	OBSERVAÇÕES	Vista Panorâmica	6.5,2,3,7,8	6.5,2,3,7,8	7a	Vista Panorâmica	6.5,2,3,7,8	6.5,2,3,7,8	canal 3	canal 4	canal 3	canal 4		
14	14			6.5,2,3,7,8	6.5,2,3,7,8			canal 3	canal 4	canal 3	canal 4	canal 3	canal 4	canal 3	canal 4
15	15			6.5,2,3,7,8	6.5,2,3,7,8			canal 3	canal 4	canal 3	canal 4	canal 3	canal 4	canal 3	canal 4
16	16			6.5,2,3,7,8	6.5,2,3,7,8			canal 3	canal 4	canal 3	canal 4	canal 3	canal 4	canal 3	canal 4
17	17	OBSERVAÇÕES	Estreito	6.5,2,3,7,8	6.5,2,3,7,8	7b	Estreito	6.5,2,3,7,8	6.5,2,3,7,8	canal 3	canal 4	canal 3	canal 4		
18	18			6.5,2,3,7,8	6.5,2,3,7,8			canal 3	canal 4	canal 3	canal 4	canal 3	canal 4	canal 3	canal 4
19	19			6.5,2,3,7,8	6.5,2,3,7,8			canal 3	canal 4	canal 3	canal 4	canal 3	canal 4	canal 3	canal 4
20	20			6.5,2,3,7,8	6.5,2,3,7,8			canal 3	canal 4	canal 3	canal 4	canal 3	canal 4	canal 3	canal 4

* Quando aplicado, tem mais comens.
 ** Sempre lateral canal 3-conteúdo-se com a respectiva espectral de categoria

selecionadas submetidas à erosão laminar severa (com base na interpretação das fotografias aéreas) apresentam cores mais claras.

Este fato pode ser explicado através das características superficiais do solo exposto, principalmente em termos de cor, teor de umidade e condições texturais. Para o caso da área de estudo há a predominância de solos podzólicos de cores claras com horizontes superficiais apresentando textura arenosa, que promove a presença de padrões de cores claras nas composições TM.

Comparando-se as informações obtidas através das fotografias aéreas e composições coloridas verifica-se que, na totalidade das observações, a erosão laminar moderada/severa foram integralmente mapeadas na interpretação preliminar das composições TM, enquanto que a categoria de erosão laminar moderada foi parcialmente identificada. Esta dificuldade de identificação está associada em geral às condições de cobertura vegetal/uso da terra que a gleba apresenta, contribuindo espectralmente de forma diferenciada e interferindo nos padrões de cores.

Considerando todas as categorias de erosão laminar, em dezenove áreas, verificou-se que 70% das ocorrências interpretadas anteriormente nas fotografias aéreas, foram mapeadas preliminarmente nos dois tipos de composições coloridas TM analisadas. Esta informação pode ser considerada como um indicador do desempenho da interpretação obtida através daquelas composições.

Por sua vez a análise individual das imagens nas bandas TM3 e TM4 apresentaram desempenho inferior aqueles das composições coloridas. No caso da banda 3 o desempenho favorável foi de 10% enquanto que o da banda 4 foi da ordem de 36%. Entretanto deve-se salientar que esta verificação refere-se à interpretação individual daquelas bandas TM, que provavelmente apresentaria melhor desempenho se a interpretação fosse conduzida utilizando as imagens de forma conjugada.

No que se refere às evidências de erosão linear (sulcos, ravinas e voçorocas), a interpretação da composição colorida TM7(B), 5(G), 4(R) mostrou que a categoria sulcos profundos associa-se aos padrões de cores 164 (verde azulado moderado) e 184 (azul muito pálido). Para a composição TM5(B), 7(G), 4(R) aquelas feições lineares profundas apresentaram preferencialmente a

cor 169 (azul esverdeado forte) em relação às cores dominantes das glebas onde ocorreu.

Comparando a informação obtida através das fotografias aéreas verificou-se que o desempenho da composição colorida TM7(A), 5(G), 4(R) foi da ordem de 66%, enquanto que para a composição TM5(B), 7(G), 4(R) foi de 55%. Já para a interpretação individual das bandas TM3 e TM4 o desempenho relativo foi de 11% e 44%, respectivamente.

Quanto à situação de erosão linear em sulcos rasos, observados nas fotografias aéreas não se verificou um padrão de cor que fosse suficiente para identificar estas feições lineares nas composições coloridas.

A dificuldade de identificação de determinadas feições lineares está intimamente ligada à resolução geométrica do sistema sensor TM/LANDSAT, que é da ordem de 30 metros (pixel). Neste caso as ravinas e voçorocas que apresentam valores de largura e comprimento acima da dimensão do pixel são passíveis de serem identificadas.

Também deve-se considerar como elementos influenciadores na detecção destas feições lineares, as características da cobertura vegetal/uso da terra das vizinhanças, expressas em termos de contrastes de níveis de cinza, nas imagens em preto e branco, e de padrões de cores nas composições TM. Por outro lado a identificação de um alvo também depende da interação da energia radiante dele proveniente, com aquela originada dos alvos vizinhos, sendo que desta forma a sua discriminação pode ser afetada pela posição dos pixels nas linhas de varredura do sistema sensor.

4. CONCLUSÕES

A análise e interpretação dos dados obtidos na área de estudo e com o material e métodos empregados permitiram obter as seguintes conclusões:

- As imagens digitais TM/LANDSAT apresentam potencialidade para a detecção de áreas submetidas a processos de degradação dos solos;

- As composições coloridas permitem o reconhecimento da gradação de cores, as quais estão associadas à variação de cobertura vegetal que em função do comportamento espectral dos alvos associados, pode retratar os estágios de degradação dos solos.
- Dentre as composições coloridas analisadas, as combinações das bandas TM7, TM5, TM4 e TM5, TM7 e TM4, associadas respectivamente às cores azul, verde e vermelho, foram as mais informativas, sendo que a primeira apresentou melhor desempenho;
- O apoio das fotografias aéreas pancromáticas na escala 1:34.000 permitiu a identificação, nas composições coloridas, de processos de erosão laminar (moderada e severa) e processos de erosão linear (ravinas e voçorocas).
- A erosão em ravinas e voçorocas podem ser perceptíveis nas composições através do contraste de cor bem como de suas feições lineares.

5. BIBLIOGRAFIA

ALMEIDA, F.F.M. de. Fundamentos geológicos do relevo paulista. Boletim do Instituto Geográfico e Geológico, São Paulo, (41), 1964.

CHIARINI, J.V.; NOGUEIRA, F.P.; DONZELI, P.L.; BARBIERI, J.L.; COELHO, A.G.S.; IVANCKO, C.A.M.; BITTENCOURT, I. Uso Atual das terras do Estado de São Paulo. Instituto Agrônomo. Campinas, Boletim Técnico, nº 37, 35p.; 1976.

GESCH, D.B.; NAUGLE, B.I. An analysis of the utility of LANDSAT Thematic Mapper data and digital elevation model data for prediction soil erosion. In: Machine Processing of Remotely Sensed Data Symposium, Purdue. In, 1984. Proceedings. West Lafayette, IN, Purdue University, LARS, 1984, p. 260-265.

Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo. Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia, São Paulo, 1981.

Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), Mapa Geológico do Estado de São Paulo. Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia. São Paulo. 1981.

KELLY, K.L.; JUDD, D.B. ISCC - NBS centroid color system. In: Manual of color aerial photography. Virginia. Falls Church, 1968 p. 523-545.

MORRISON, R.B.; COOLEY, M.E. Application of ERTS-1 multi spectral imagery to monitoring the present episode of accelerated erosion in Southern Arizona. In: NASA. Symposium on Significant Results Obtained from the Earth Resources Technology Satellite-1 Proceedings of a Symposium held at New Carrallton, MD, Mar, 5-9 1973. Washington, DC, 1973, v.1, Section A, p. 283-290. (NASA SP 327).

PAZAR, S.E.; VAN SCOYOC, G.E.; WEISMILLER, R.A.; BAUMGARDNER, M.F. Spectral characterization of iron oxide and organic matter interactions in eroded soils. IN: Machine Processing of Remotely Sensed Data, 8, Purdue, IN, 1982. Proceedings. West Lafayette, IN, Purdue University, LARS, 1982, p.309.

PICKUP, G.; NELSON, D.J. Use of LANDSAT radiance parameters to distinguish soil erosion, stability and deposition in arid Central Australia. Remote Sensing of Environment, 16:195-209, 1984.

PINTO, S.A.F. Utilização de técnicas de sensoriamento remoto para a caracterização de erosão do solo no SW do Estado de São Paulo. Tese de Mestrado em Sensoriamento Remoto. São José dos Campos, INPE, Abril, 1983. (INPE - 2694 - TDL/128).

SERRA FILHO, R.; CAVALLI, A.C.; GUILIAMMONT, J.R. Levantamento da cobertura vegetal natural e reflorestamento no Estado de São Paulo. Instituto Florestal, São Paulo, 1974. (Boletim Técnico nº 11).

SEUBERT,C.E.; BAUMGARDNER,M.F.; WEISMILLER,R.A.; KIRSCHNER, F.R.
Mapping and estimating areal extend of severely eroded soils
of selected sites in Northern Indiana. In: Machine Processing
of Remotely Sensed Data Symposium, Purdue, In, 1979. Proceedings
West Lafayette, In, Purdue University, LARS, 1979, p.234-238.

STEPHENS,P.R.; CIHLAR,J. The potencial of remote sensing to moni
tor soil erosion on cropland. IN: International Symposium on
Remote Sensing of Environment,15., Ann Arbor,MI, 1981, Procee
dings. Ann Arbor, MI, ERIM, 1981, p.1-11.

VALÉRIO FILHO,M.; PINTO,S.A.F. Resultados preliminares da utiliza
ção de imagens TM/LANDSAT na identificação de áreas submetidas
a processos de erosão. São Jose dos Campos, INPE, fevereiro
1987. (INPE- 4111 - PRE/1036).