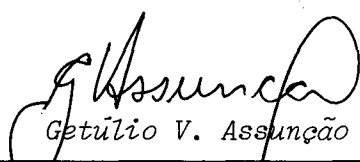
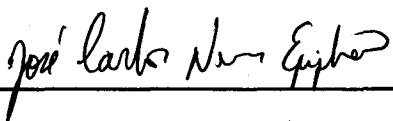
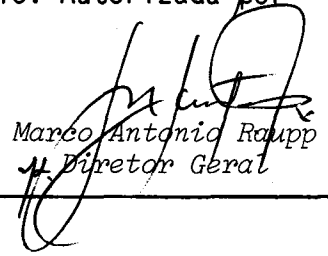


1. Publicação nº INPE-4341-PRE/1181	2. Versão	3. Data Set., 1987	5. Distribuição ☐ Interna ☒ Externa ☐ Restrita
4. Origem DPA	Programa AGRICULTURA		
6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es) INFRAVERMELHO TERMAL TEMPERATURA DO SOLO TM/LANDSAT ANÁLISE DISCRIMINANTE			
7. C.D.U.: 528.711.7:631.4			
8. Título BANDAS TERMAL E REFLETIDAS DO TM/LANDSAT-5 NO ESTUDO DO COMPORTAMENTO ESPECTRAL DE TRÊS LATOSSOLOS		10. Páginas: 42	
		11. Última página: 33	
9. Autoria José Carlos Neves Epiphânio Rubens Augusto Camargo Lamparelli Mathilde Aparecida Bertoldo Antonio Roberto Formaggio		12. Revisada por  Getúlio V. Assunção	
Assinatura responsável 		13. Autorizada por  Marco Antonio Raupp Diretor Geral	
14. Resumo/Notas O presente trabalho tem por objetivo avaliar o comportamento espectral, particularmente na banda termal, de três latossolos (Vermelho Escuro - LE, Roxo - LR e Vermelho-Amarelo - LV) através de dados digitalizados das bandas TM-3, 4, 5, 6 e 7 do LANDSAT-5, passagem de 4 de agosto de 1986. Constatou-se que os solos LE/LR e LR/LV têm boa discriminação espectral, mas LE/LV apresentam alguma confusão. A banda TM-6 termal não discriminou os solos, e considerou-se a hipótese de que o horário de passagem (9:45 h), a época do ano (agosto) e a conseqüente baixa elevação solar (34°) seriam as causas.			
15. Observações Trabalho apresentado no XXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Campinas, SP, 19 a 25 de julho de 1987.			

ABSTRACT

The objective of this study is to assess the spectral behaviour of three oxisols (Dark Red Latosol - LE, Dusk Red Latosol - LR and Red Yellow Latosol - LV), specially in thermal band, using LANDSAT-5/TM-3, 4, 5, 6 and 7 bands digitized data, from august 4th 1986. It was verified that the soils LE/LR and LR/LV present good spectral separability, but the soils LE/LV present some confusion. TM-6 thermal band didn't discriminate the soils and was supposed that the daytime (9:45 a.m.), the year time (august) and the consequent low solar elevation angle (34°) were the causes.

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE TABELAS	vii
1 - <u>INTRODUÇÃO</u>	1
2 - <u>SENSORIAMENTO REMOTO POR SATÉLITE</u>	2
3 - <u>REGIME TÉRMICO DO SOLO</u>	4
3.1 - Radiação líquida e balanço de calor	4
3.2 - Propriedades térmicas do solo	5
4 - <u>COMPORTAMENTO ESPECTRAL DOS SOLOS</u>	8
5 - <u>MATERIAL E MÉTODOS</u>	11
5.1 - Procedimentos	11
5.2 - Descrição da área de estudo	12
5.3 - Descrição dos solos	12
6 - <u>RESULTADOS E DISCUSSÃO</u>	14
7 - <u>CONSIDERAÇÕES FINAIS</u>	29
8 - <u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	31

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
1 - Variações diárias de temperatura do solo à superfície	7
2 - Porcentagem de reflectância versus radiação incidente em função de vários conteúdos de umidade	8
3 - Os cinco tipos de espectros de solos	10
4 - Localização da área de estudo e da cena LANDSAT 221/74D, abrangendo o município de Barretos/SP	13
5 - Valores médios de níveis de cinza e desvios-padrão para os três solos nas 5 bandas TM(3,4,5,6,7)	17
6 - Projeções dos índices discriminantes sobre os eixos das funções discriminantes dos níveis de cinza, com a banda termal.	21
7 - Projeções dos índices discriminantes sobre os eixos das funções discriminantes dos níveis de cinza, sem a banda termal.	24

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
1 - Bandas espectrais do TM/LANDSAT-5 e suas aplicações	3
2 - Análise de variância para as médias dos níveis de cinza na banda TM-6 para os três solos estudados	14
3 - Valores médios de níveis de cinza e desvios-padrão para os três solos nas cinco bandas TM (3,4,5,7,6)	18
4 - Valores da análise discriminante linear para os níveis de cinza das três classes de solos, com a banda termal	20
5 - Valores da análise discriminante linear para os níveis de cinza das três classes de solos, sem a banda termal	23
6 - Matriz de classificação obtida pela análise discriminante, com a banda termal	25
7 - Matriz de classificação obtida pela análise discriminante, sem a banda termal	25
8 - Correlação entre as bandas para os solos estudados	27

1. INTRODUÇÃO

A temperatura do solo exerce grande efeito sobre o desenvolvimento das plantas (envolvendo a germinação das sementes, e seu crescimento), a disponibilidade de nitrogênio, a dinâmica dos insetos e das ervas daninhas, a degradação de herbicidas e de pesticidas, a atividade microbiana (nodulação, dinâmica da matéria orgânica), a atividade funcional das raízes (absorção de água e de nutrientes), influenciando, desta forma, a rapidez de crescimento e o rendimento das colheitas.

O uso crescente de práticas conservacionistas e de manejo integrado de pragas necessita um conhecimento das temperaturas do solo e de outros parâmetros físicos para explorar alternativas de manejo que maximizem a produção agrícola, reduzam a erosão do solo e economizem energia, através do cultivo mínimo. Nestes esquemas, as datas de plantio, de fertilização e de outras aplicações químicas são determinadas pela temperatura do solo. As temperaturas do solo nos primeiros 0,30m do perfil são, muitas vezes, necessárias para decidir sobre alternativas de práticas de manejo (Gupta et alii, 1984).

Cabe destacar que, entre as possíveis informações a serem fornecidas através das técnicas de sensoriamento remoto, está a temperatura dos alvos naturais terrestres. Isto pode ser conseguido através de radiômetro ou de imageadores com bandas termais do espectro eletromagnético.

As informações de temperatura encontram usos e aplicações nos modelos de produtividade de culturas quando se desejam estimativas de safras. Elas também são utilizadas para estudos de umidade de culturas (Epiphânio, 1983a; 1983b) e de solos (Blanchard et alii, 1974; Idso et alii, 1975).

Há algum tempo, um grande esforço de pesquisa está sendo desenvolvido a fim de melhorar o entendimento das relações entre as temperaturas de radiação registradas nas imagens termais e as variações das propriedades termais terrestres (Pratt et alii, 1978).

Neste contexto, desenvolveu-se o presente trabalho, com os objetivos de avaliar preliminarmente a banda termal do TM/LANDSAT quanto às suas relações com três solos do Estado de São Paulo e de verificar as relações entre esta banda e as outras do mesmo sensor quanto aos referidos solos.

2. SENSORIAMENTO REMOTO POR SATÉLITE

Pode-se definir Sensoriamento Remoto como a ciência que estuda as informações sobre um objeto a partir de medidas feitas à distância, isto é, sem entrar em contato com ele (Landgrebe, 1978), sendo, atualmente, a energia eletromagnética refletida ou emitida o veículo condutor das informações entre o alvo de interesse e os sensores remotos utilizados.

Assim, o satélite LANDSAT carrega o sensor imageador de segunda geração denominado "Thematic Mapper" (TM), que opera em sete bandas espectrais, conforme mostra a Tabela 1.

O sensor TM coleta luz refletida e energia emitida pelos alvos terrestres e as focaliza sobre detetores que as transformam em registros numéricos enviados telemetricamente para antenas receptoras terrestres, onde são gravados em fitas digitais. Posteriormente, tais registros são processados de maneira que se tenha uma correspondência entre níveis de cinza das imagens fotográficas e comportamento espectral (para as bandas 1 a 5 e 7) ou temperatura (para a banda 6 do TM) dos alvos naturais.

No caso da imagem da banda 6 do TM, quanto maiores os valores dos níveis de cinza, maiores as temperaturas e vice-versa.

O elemento de resolução no terreno ("pixel") é da ordem de 30 por 30 metros nas seis bandas da luz refletida e da ordem de 120 por 120 metros na banda termal.

TABELA 1

BANDAS ESPECTRAIS DO TM/LANDSAT-5 E SUAS APLICAÇÕES

BANDA	INTERVALO ESPECTRAL	APLICAÇÃO
1	0,45 - 0,52 μm (Azul)	Estudos de sedimentos na água
2	0,52 - 0,60 μm (Verde)	Mapeamento de vegetação.
3	0,63 - 0,69 μm (Vermelho)	Diferenciação de espécies vegetais.
4	0,76 - 0,90 μm (Infravermelho)	Delineamento de corpos d'água e geomorfologia.
5	1,55 - 1,74 μm (Infravermelho)	Uso do solo.
6	10,4 - 12,5 μm (Infravermelho Termal)	Propriedades térmicas do solo.
7	2,08 - 2,35 μm (Infravermelho)	Identificação de minerais.

Em termos radiométricos, a banda 6 do TM tem capacidade para distinguir objetos com diferença de temperatura da ordem de 0.5°K .

No caso da banda 6 do TM do LANDSAT-5, o sinal recebido pelo sensor é devido à temperatura do alvo, e todos os corpos com temperatura acima de zero graus Kelvin emitem energia, a qual é proporcional à sua temperatura e emissividade e obedece à lei de Stefan - Boltzmann, expressa pela equação:

$$M = \epsilon \sigma T^4, (\text{W} \cdot \text{m}^{-2}),$$

onde:

$$M = \text{radiação total emitida pelo corpo, } (\text{W} \cdot \text{m}^{-2}),$$

$$\epsilon = \text{emissividade do corpo,}$$

$$\sigma = 5,67 \times 10^{-8} (\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}),$$

$$T = \text{temperatura, } (\text{K}).$$

Quando se analisa a temperatura dos alvos, medida através da energia radiante emitida, é importante ter em mente que esta energia é função não só da temperatura do alvo como também da sua emissividade. Se as emissividades forem as mesmas para dois corpos, as diferenças entre duas energias radiantes poderiam ser atribuídas a diferenças em suas temperaturas. Entretanto, se as emissividades não forem as mesmas, deve-se tomar cuidado na interpretação das radiações detectadas, já que as diferenças nessas radiações não poderão ser automaticamente as sinaladas como devidas unicamente a diferenças de temperatura.

Para informações mais detalhadas a respeito do LANDSAT e do TM, pode-se consultar o manual de usuários (NASA, 1984).

3. REGIME TÉRMICO DO SOLO

Segundo Baver et alii (1972), em cujo trabalho se baseia esta seção, o regime térmico do solo compreende o fluxo de calor que o solo recebe, as características térmicas do solo e as trocas de calor entre o solo e o ar. Tudo isto é expresso comumente em termos de temperatura do solo.

3.1 - RADIAÇÃO LÍQUIDA E BALANÇO DE CALOR

Radiação líquida é a diferença entre o fluxo total de radiação incidente e o fluxo de radiação emitida. É uma medida de radiação aproveitável na superfície do solo. Geiger (1965) expressou a radiação líquida pela equação:

$$S = I + H + G - \sigma T^4 - R,$$

onde:

S = radiação líquida,

I + H = radiação global,

G = contra-radiação,

σT^4 = radiação emitida pela superfície do solo,

R = albedo.

Como $I + H$ e R são zero durante a noite, a radiação torna-se negativa.

O albedo, ou seja, a porcentagem de reflexão, depende da natureza da superfície, do ângulo de incidência, dos raios solares e da altura do Sol sobre o horizonte.

Quanto maior é a elevação do Sol, menor é o albedo da superfície e vice-versa.

As superfícies de água têm baixo albedo, sendo que este é menor para as gramíneas silvestres do que para as plantas cultivadas.

As plantas maduras que cobrem por completo o solo têm um valor máximo de albedo de 25% (aproximadamente) nas latitudes médias e altas (Chang, 1968); porém, nos trópicos dão um albedo muito menor devido à maior elevação solar. Este mesmo autor determinou que a reflexão de um campo de cana-de-açúcar madura é de 16%. Em um campo de cana recém-plantado, a reflexão é de somente 7%.

O albedo é maior pela manhã e ao entardecer, devido ao menor ângulo de elevação do Sol.

O tipo de solo e o conteúdo de umidade determinam o albedo da superfície de um solo sem vegetação. Um dos fatores principais é a cor do solo, por exemplo, os solos desérticos secos de cor clara têm maior valor de albedo do que os solos secos de cor escura. A adição de água aos solos claros obscurece a superfície e reduz o albedo, aproximadamente, à metade.

3.2 - PROPRIEDADES TÉRMICAS DO SOLO

- a) CAPACIDADE CALORÍFICA: entende-se por calor específico de uma substância o número de calorias necessário para elevar de 1°C a temperatura de um grama desta substância. A capacidade calorífica de um material é igual ao seu calor específico multiplicado pela massa.

O calor específico de água é a unidade. O calor específico dos outros componentes do solo é muito menor que o da água.

Os principais componentes dos solos são o quartzo, os silicatos de alumínio, a água e o húmus. O quartzo tem o menor calor específico entre os principais componentes do solo e o húmus, o maior, sendo porém menor que o da água.

Desta forma, fica evidente que a água e o húmus influem consideravelmente na capacidade calorífica do solo.

- b) CONDUTIVIDADE TÉRMICA E DIFUSIVIDADE: sendo o solo um meio granular, composto das fases sólida, líquida e gasosa, a condutividade térmica dependerá das relações volumétricas destes componentes, do tamanho (textura) e da ordenação (estrutura) das partículas sólidas e das relações de interface entre as fases sólida e líquida.

Por exemplo, quanto maior o conteúdo de água e a densidade de um solo, maior a sua condutividade. A quantidade de ar, mau condutor, diminuindo, aumentará a condutividade global.

- c) CONTEÚDO DE UMIDADE DO SOLO: o aumento da condutividade térmica do solo devido à elevação de sua densidade é pequeno em comparação com o efeito causado ao se adicionar água no solo.

As películas de água que se formam nos pontos de contato entre as partículas não só melhoram o contato térmico, como também o ar do espaço poroso é substituído pela água, cuja condutividade térmica é vinte vezes maior que a do ar.

- d) VARIAÇÕES NA TEMPERATURA DO SOLO:

(1) VARIAÇÕES DIÁRIAS: são influenciadas pela natureza do solo, pelo tipo de cobertura vegetal e pela radiação incidente, seguindo um padrão, como mostra a Figura 1.

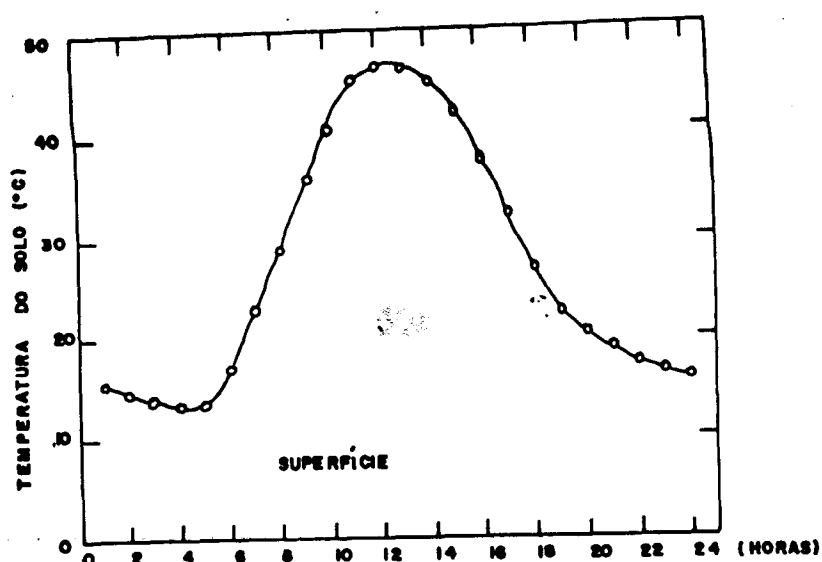


Fig. 1 - Variações diárias de temperatura do solo à superfície.

Yakuma em 1945 (Baver et alii, 1972) observou que a amplitude da temperatura nos 5 cm superficiais de diferentes solos tinha esta ordem: areia > marga > turfa > argila.

(2) VARIAÇÕES ESTACIONAIS: são semelhantes às variações diárias. Nos meses de verão têm-se o máximo de radiação global e as máximas temperaturas (sendo semelhantes, ao meio dia, nas variações diárias). Nos meses de inverno têm-se um efeito similar ao das temperaturas noturnas diárias.

e) MODIFICAÇÃO DO REGIME TÉRMICO DO SOLO: o regime térmico do solo pode ser modificado mediante a regulação de radiação que entra e da que sai, ou ainda, trocando-se as propriedades térmicas do solo. Em geral, isto é influenciado pelos seguintes fatores:

- VEGETAÇÃO: a vegetação influi notavelmente na temperatura do solo pela ação protetora das plantas que o recobrem. O solo desnudo, sem proteção contra os raios solares, aquece-se muito durante as horas mais quentes do dia. No inverno, este solo não-protegido perde calor rapidamente, o qual dissipa-se na atmosfera. Em contrapartida, uma adequada cobertura vegetal intercepta grande parte da energia solar radiante e evita o

excessivo aquecimento do solo no verão. A cobertura vegetal reduz as variações diárias de temperatura do solo, que são muito maiores no solo desnudo de vegetação.

- IRRIGAÇÃO E DRENAGEM: a irrigação aumenta a capacidade calorífica do solo e a umidade do ar, diminui a temperatura do ar sobre o solo e aumenta a condutividade térmica. Isto reduz as variações de temperatura do solo durante o dia. A drenagem diminui a capacidade calorífica dos solos úmidos, o que faz elevar a sua temperatura.
- MANEJO DO SOLO: a ocorrência de compactação torna maior o contato entre as partículas, fazendo elevar a temperatura do solo. A cobertura do solo ("mulching") e a manipulação mecânica da superfície também exercem influência no regime térmico do solo. Os resíduos culturais têm seu efeito dependente da quantidade, do tipo e da disposição na superfície. Geralmente os resíduos superficiais diminuem a temperatura do solo na zona da raiz, agindo como camada isolante e refletindo grande parte da radiação solar de volta para a atmosfera. Os diferentes sistemas de plantio e de manejo (ex.: plantio direto, preparo convencional e cobertura permanente do solo) causam diferentes efeitos no comportamento térmico dos solos; sendo que, quanto maior a cobertura, menores as temperaturas (Sidiras e Pavan, 1986). Gupta et alii (1984) concluíram que os solos arados sem resíduo apresentavam maiores temperaturas que os solos arados com resíduos, seguido por solos não-arados com resíduos.

4. COMPORTAMENTO ESPECTRAL DOS SOLOS

Os contrastes de reflectância espectral para os alvos naturais aparecem como contrastes tonais em imagens fotográficas e não-fotográficas e são importantes em todo o intervalo espectral de energia solar refletida, no sensoriamento remoto.

No caso dos solos, o seu comportamento espectral varia de acordo com diversos fatores intrínsecos a eles, dentre os quais têm sido citados como os mais importantes: a umidade, o conteúdo de matéria orgânica, a textura, a cor, a capacidade de troca catiônica, o conteúdo de óxido de ferro e as suas condições de superfície.

Segundo Bowers e Hanks (1965), à medida que aumenta a umidade, há uma diminuição da reflectância, porém, a forma geral das curvas espectrais não é afetada, como é ilustrado na Figura 2.

Baumgardner et alii (1970) e Al-Abbas et alii (1972) afirmaram que aumentando o conteúdo de matéria orgânica de um solo, a sua reflectância diminui, havendo uma relação semelhante para o conteúdo de argila dos solos e o seu comportamento espectral. A matéria orgânica, em quantidades maiores que 2%, pode provocar um mascaramento da contribuição que os outros componentes dão para as propriedades espectrais dos solos.

Condit (1970) determinou, a partir do estudo de 160 amostras de solos coletados em 36 estados americanos, apenas três tipos de formas de curvas espectrais.

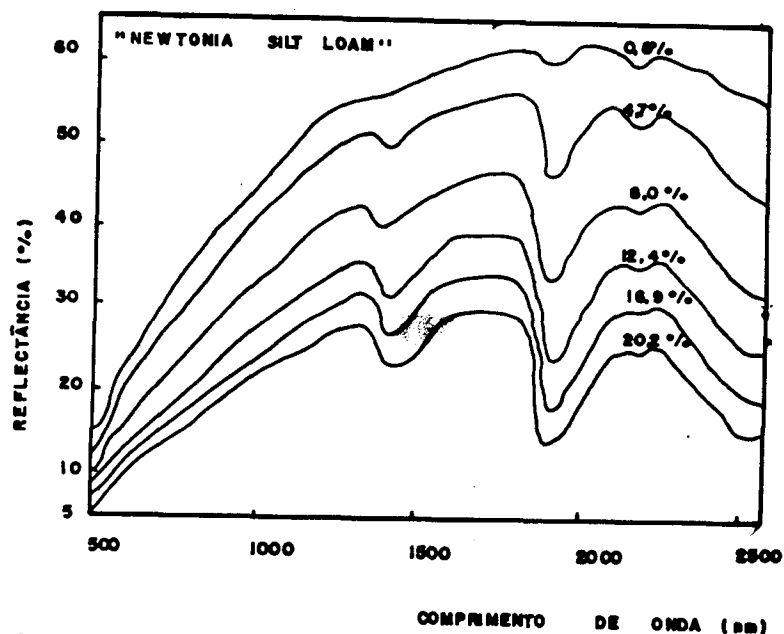


Fig. 2 - Porcentagem de reflectância versus radiação incidente em função de vários conteúdos de umidade.

Num estudo mais abrangente, Stoner e Baumgardner (1980) determinaram, a partir de 485 amostras de solos (incluindo os latossolos do Sul do Brasil), a existência de cinco tipos diferentes de curvas de reflectância, as quais são mostradas na Figura 3. Estas curvas podem ser distinguidas como tendo em comum certas características diferenciais, devidas principalmente ao conteúdo de matéria orgânica e de óxido de ferro.

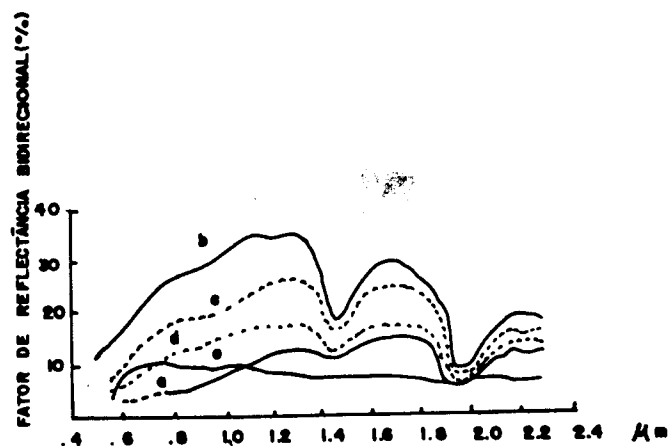


Fig. 3 - Os cinco tipos de espectros de solos.

a) domínio orgânico; b) pouco alterado (baixa m.o.; ferro médio); c) afetado por ferro; d) afetado por m.o.; e) domínio do ferro.

FONTE: Stoner e Baumgardner (1980).

Montgomery (1974) constatou que aumentando a Capacidade de Troca Catiônica (CTC) ocorre um decréscimo na reflectância dos solos para todos os intervalos de comprimento de onda utilizados. Admitiu que a influência da CTC sobre a reflectância pode ser explicada pela sua relação com os conteúdos de argila de matéria orgânica dos solos. Um aumento no conteúdo de argila ou de matéria orgânica aumenta a CTC dos solos.

Formaggio (1983), estudando solos dos grandes grupos Latossolo Vermelho-Amarelo (LV), Latossolo Vermelho Escuro (LE), Latossolo Roxo (LR) e Podzólico Vermelho-Amarelo (PV) do Estado de São Paulo, concluiu que os quatro solos apresentam dois tipos de padrões espectrais: LV/PV, do tipo 1 e LR/LE, do tipo 2. Os solos do tipo 1 são separáveis dos do tipo 2, porém dentro de cada um deles não há separabilidade. Os fatores que mais influenciaram os comportamentos espectrais destes solos foram as suas características físicas e químicas, principalmente as suas condições superficiais e os conteúdos de óxidos de ferro e de matéria orgânica.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1 - PROCEDIMENTOS

Para a realização deste trabalho, foram utilizados dados digitalizados obtidos pelo sensor TM do satélite LANDSAT-5. Esses dados digitalizados foram gravados em fitas compatíveis com computador (CCTs). Para a finalidade do trabalho foram utilizadas as bandas TM-3, TM-4, TM-5, TM-7 e TM-6, referentes à órbita 221 ponto 74 da passagem de 04/08/86.

A extração de informações dessas fitas magnéticas foi feita através da utilização do sistema computacional de análise de imagens, denominado I-100 (INPE, 1985).

Inicialmente, procedeu-se à correção atmosférica a fim de poder trabalhar com níveis de cinza proporcionais aos valores de reflexão dos alvos. Para tanto, foram utilizados os valores dos níveis de cinza de corpos d'água profundos, conforme descrito por Schowengerdt (1983).

Após essa correção para efeitos atmosféricos, extraíram-se os níveis de cinza de áreas interpretadas visualmente como de solos expostos. Como a resolução espacial da banda TM-6 é diferente das outras bandas, foi necessário um ajuste através de alteração de escala,

a fim de que os níveis de cinza fossem extraídos pelo programa IMPLIM (INPE, 1985) exatamente dos mesmos locais em todas as bandas. Ao final desse processo de extração de níveis de cinza, havia sete amostras para cada solo.

De posse dos níveis de cinza, realizaram-se as análises estatísticas, onde foram aplicadas análise de variância (Zar, 1974), análise discriminante (Davis, 1973; Landin, 1984; Burroughs, 1975) e análise de correlação (Burroughs, 1975).

5.2 - DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área escolhida para a realização do trabalho localiza-se na região que compreende parte dos municípios de Barretos, Guaiúba, Terra Roxa e Colômbia no Estado de São Paulo (Figura 4). A escolha deu-se à importância dos solos de interesse, a algum controle de campo realizado no local e à boa qualidade das imagens disponíveis.

Para o estudo de solos, optou-se pelos três mais comuns na região: Latossolo Vermelho-Amarelo, Latossolo Vermelho Escuro e Latossolo Roxo.

5.3 - DESCRIÇÃO DOS SOLOS

A descrição dos solos é feita segundo o Levantamento de Reconhecimento de Solos do Estado de São Paulo (Brasil, 1960), como se segue:

- a) Latossolo Vermelho Amarelo (LV): são solos profundos, de textura leve, bem drenados, de coloração vermelho amarelado, formados a partir de arenito. São solos ácidos, de baixa fertilidade. Relevo - estes solos apresentam topografia suavemente ondulada com pendentes de centenas de metros, ou completamente plana e, mais raramente, ondulada.

Material de Origem - as rochas responsáveis pela origem destes solos são: arenito de Botucatu, arenito de Furnas e possivelmente sedimentos do terciário.

- b) Latossolo Vermelho Escuro (LE): são solos profundos, arenosos, acentuadamente drenados, de cor geralmente vermelho a vermelho escuro, originados do arenito Bauru sem cimento calcário.

Relevo - o dominante é o relevo suavemente ondulado, embora haja também relevo ondulado. Quanto mais ondulado é o relevo mais pesada é a textura.

- c) Latossolo Roxo (LR): são solos muito profundos, argilosos, bem drenados e de coloração básica.

Relevo - são solos que possuem topografia de suavemente ondulada a ondulada, com declives longos.

Material de origem - são provenientes do magma diabásico.

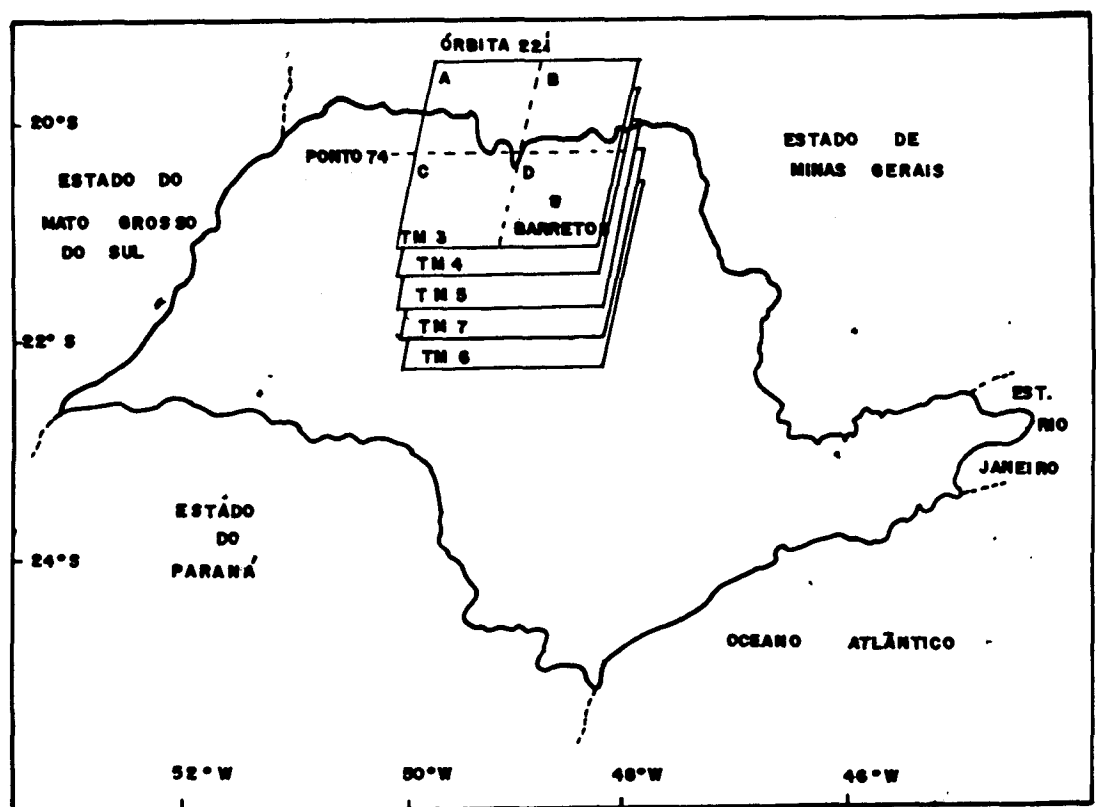


Fig. 4 - Localização da área de estudo e da cena LANDSAT 221/74D, abrangendo o município de Barretos/SP.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A fim de verificar se as condições térmicas dos três solos eram diferentes no momento da passagem do satélite, foi utilizada a banda TM-6.

Para tanto, apresenta-se a Tabela 2 com os resultados de análise de variância para as médias dos níveis de cinza na banda TM-6 para os três solos.

TABELA 2

ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA AS MÉDIAS DOS NÍVEIS DE CINZA NA
BANDA TM-6 PARA OS TRÊS SOLOS ESTUDADOS

SOLOS	TEMPERATURA EQUIVALENTE MÉDIA(°C)	MÉDIA DOS NÍVEIS DE CINZA	F TABELADO	F CALCULADO
LV	27,49	143,44	4,56	1,92 (n.s)
LE	28,02	144,40		
LR	28,26	144,94		

(n.s.) = não-significativo ao nível de 5% de probabilidade.
OBS.: A análise de variância foi realizada apenas para as médias dos níveis de cinza.

Pela análise da Tabela 2, observa-se que não houve diferença significativa, ao nível de 5% de probabilidade, entre as médias dos solos.

Considerando os diversos fatores que influenciam o comportamento térmico dos solos e que os três solos são distintos quanto a vários desses fatores, seria de esperar que tivesse havido alguma diferenciação térmica.

Algumas hipóteses podem ser aventadas para explicar essa não-diferenciação entre os solos.

A primeira seria quanto ao horário de passagem do satêlite que, no caso do LANDSAT-5, é 9:45 horas. Neste sentido, como se pode observar na literatura em geral, por exemplo Baver et alii (1972), nesse horário os solos estão no início do processo de aquecimento após o resfriamento havido durante a noite, conforme é mostrado pela equação do balanço de energia de Geiger (1965). Este fato faz com que as diferenças de temperatura para os diferentes solos sejam muito sutis nesse horário, o que prejudica a significância da discriminação.

Aliado a isso, a data em que a imagem foi obtida (04/08/86) é caracterizada por baixo ângulo de elevação solar, o que propicia menor quantidade de energia incidente e maior albedo. Isto faz com que haja menor energia disponível nos solos, até aquele horário, para reaquecê-los a um nível discriminável.

Além dessas, outra hipótese a ser considerada, apesar da exígua literatura sobre o assunto, seria a da possibilidade de os solos estarem apresentando valores diferenciados da emissividade. Entretanto, quando se supõe este fato, a análise torna-se mais complexa, já que se pode ter valores iguais de níveis de cinza que correspondem a valores diferentes de temperatura real. Da mesma forma, poderia haver casos onde temperaturas iguais corresponderem a valores diferentes de níveis de cinza devido a variações na emissividade.

A Figura 5, que é um esboço gráfico da Tabela 3, mostra o comportamento espectral médio das amostras referentes aos três solos (LV, LE e LR) nas bandas TM-3, TM-4, TM-5, TM-7 e TM-6. Nesta tabela também é apresentado o desvio padrão para cada média.

Observa-se que, nas bandas refletidas do espectro eletromagnético (TM-3, TM-4, TM-5 e TM-7), os solos LE e LV apresentam médios níveis de cinza muito próximos, e o LE apresenta maiores valores de desvio padrão.

No caso do Latossolo Roxo (LR), as médias de níveis de cinza foram inferiores aos outros dois solos em todas as quatro bandas, e os valores de desvio padrão foram pequenos, o que indica uma boa homogeneidade das características físicas e químicas deste solo, já que estas são responsáveis pelo comportamento espectral dos solos (Montgomery, 1974; Stoner and Baumgardner, 1980; Formaggio, 1983).

As principais características determinantes desse comportamento diferencial entre o LR e os outros dois solos (LE e LV) são o conteúdo de óxido de ferro (Fe_2O_3) e o teor de argila.

Na região de estudo, os LR são provenientes de rochas eruptivas básicas, apresentando, conseqüentemente, elevados teores de argila e de óxido de ferro (cerca de 60% e 25%, respectivamente).

No caso dos solos LV e LE, que têm como material de origem arenito Bauru sem cimento calcário, caracterizam-se por baixos teores de argila e de óxidos de ferro (20% e 9%, respectivamente), sendo bastante arenosos.

Estas características diferenciais podem ser observadas através dos perfis 36 e 45, apresentados no relatório do Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado de São Paulo (Brasil, 1960).

Esta indiferenciação entre LE e LV, bem como a diferenciação entre LV/LE e LR, não pode ser tomada como regra geral, uma vez que Formaggio (1983) observou um comportamento diferente, ou seja, um agrupamento LE/LR significativamente diferenciado do LV, e uma indiferenciação entre o LE e o LR.

A explicação para essa discordância de resultados pode ser atribuída ao fato de que na região estudada por Formaggio (1983) os LE são argilosos (folhelhos e argilitos como material de origem) e aproximam-se mais do LR, ao contrário dos Latossolos Vermelho-Escuro da região do presente trabalho.

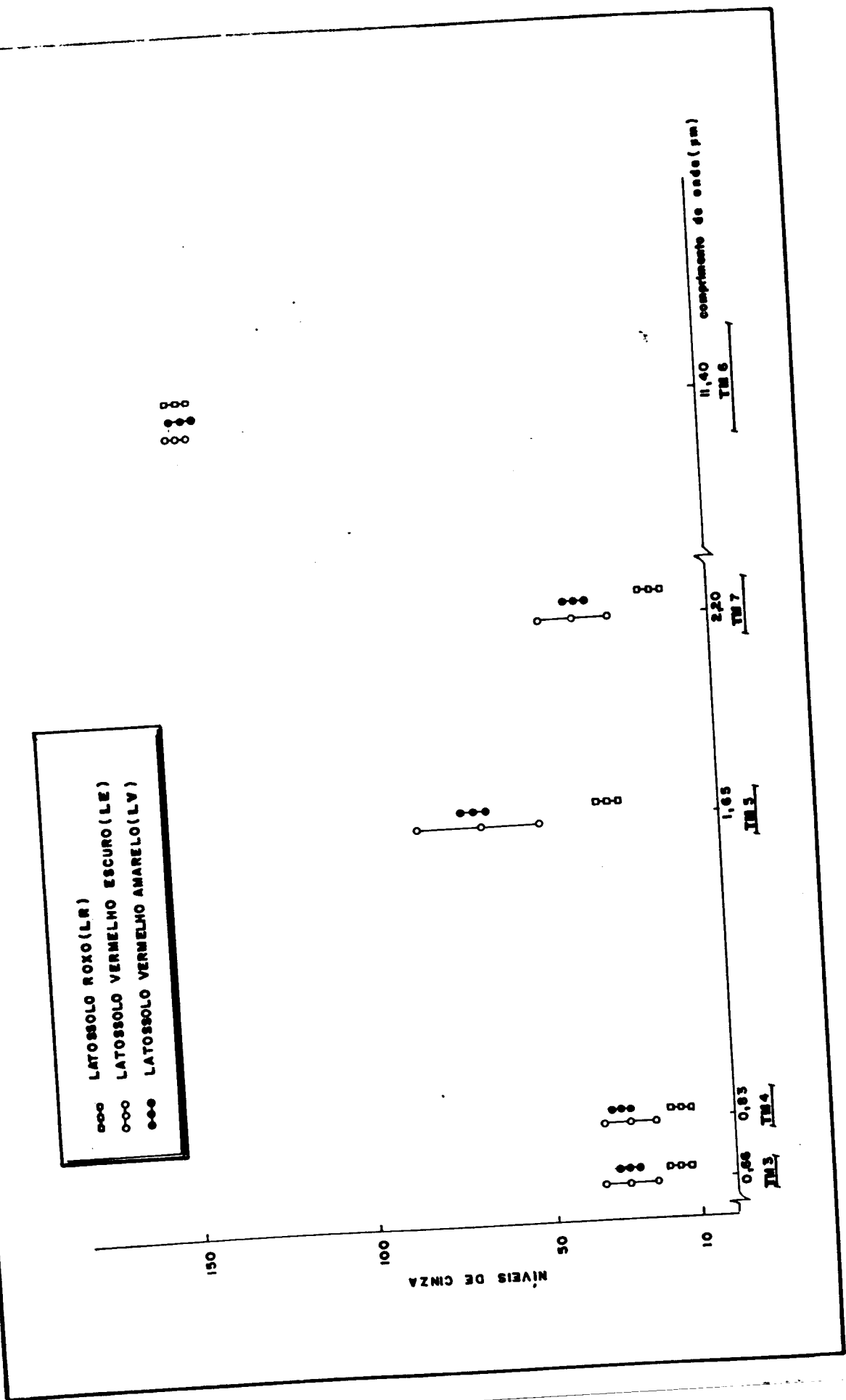


Fig. 5 - Valores médios de níveis de cinza e desvios-padrão para os três solos, nas cinco bandas TM(3,4 5,6,7).

TABELA 3

VALORES MÉDIOS DE NÍVEIS DE CINZA E DESVIOS-PADRÃO PARA OS TRÊS SOLOS NAS CINCO BANDAS TM (3, 4, 5, 7, 6)

BANDAS		B3	B4	B5	B7	B6
SOLOS						
	Média	29,5	28,8	65,8	37,0	144,4
	Desvio Padrão	6,7	6,4	17,4	9,9	1,1
LV	Média	31,0	31,3	68,2	35,7	143,1
	Desvio Padrão	1,7	3,3	4,0	3,1	2,6
LR	Média	17,6	16,6	31,3	16,5	144,9
	Desvio P.	1,6	1,4	2,4	1,6	1,7

Nota-se uma concordância entre o comportamento espectral dos solos apresentado na Figura 5 e as curvas gerais apresentadas por Stoner e Baumgardner (1980). Evidencia-se certa semelhança de níveis de cinza entre as bandas TM-3 e TM-4 e, a partir daí, um comportamento ascendente até a banda 5, com um decréscimo para a banda TM-7. Cabe salientar ainda a grande concordância entre o comportamento espectral do LR (Figura 5) e a curva espectral dos solos dominados por ferro, apresentada na Figura 3 de Stoner e Baumgardner (1980).

Embora estejam no mesmo gráfico, Figura 5, os valores referentes à banda TM-6 são níveis de cinza associados a temperaturas de superfície e não a valores de reflectância como ocorre nas outras bandas. Nota-se que a diferença entre as médias dos três solos é praticamente inexistente, o que mostra que os três solos apresentavam, nas condições de obtenção da imagem, o mesmo comportamento térmico, em termos de níveis de cinza.

A fim de quantificar a separabilidade espectral dos três solos, foi efetuado o procedimento estatístico de Análise Discriminante Linear (Davis, 1973; Landin, 1984).

Os resultados desse procedimento foram reunidos nas Tabelas 4 (para as quatro bandas refletidas mais a banda termal) e 5 (para as quatro bandas sem a banda termal).

Esta inclusão ou não da banda termal teve como objetivo verificar a sua contribuição na discriminação dos solos.

Observa-se na Tabela 4 e na Figura 6, as quais incluem a banda termal, que o valor da distância de Mahalanobis é pequeno para os solos (LE x LV), intermediário para os solos (LE x LR) e grande para os solos (LV x LR).

A significância estatística da distância de Mahalanobis entre os solos comparados dois a dois foi avaliada através do teste de F, o qual indicou a não-significância para a dupla LE x LV, significância ao nível de 5% de probabilidade para a dupla LE x LR e significância ao nível de 1% de probabilidade para a dupla LV x LR.

Observa-se na Tabela 5 e Figura 7 as quais não incluem a banda termal, que os valores da distância de Mahalanobis são pequenos para os solos LE x LV, intermediária para os solos LE x LR e grandes para os solos LV x LR, da mesma forma que na análise anterior. Entretanto, quanto à análise dos valores da distância de Mahalanobis no caso da dupla LE x LR, observa-se que eles passaram a ser significativos ao nível de 1% da probabilidade.

Comparando as duas Tabelas 4 e 5, verifica-se que os valores de F calculado para a Tabela 5 aumentaram para as três comparações de solos realizadas, o que indica que a retirada da banda termal ampliou a consistência das separabilidades.

VALORES DA ANÁLISE DISCRIMINANTE LINEAR PARA OS NÍVEIS DE CINZA DAS TRÊS CLASSES DE SOLOS, COM A

BANDA THERMAL

	LE		X	LV	LE	X	LR	LV	X	LR
D_i	34,652			37,801	-41,0881		-52,5807	-281,1828		-543,5685
D_0	36,227				-46,3344			-412,3756		
D^2	3,149				11,4926			262,3857		
$F_{calc.}$	-1,469		N.S.		5,36*			122,45**		
$F_{tab.}$	5%		3,69		3,69			3,69		
	1%		6,63		6,63			6,63		

N.S.→ Não-significativo.

D_i → Centro do Grupo de amostras do solo i .

i → Solos (LE, LV, LR).

D_0 → Ponto central da distância estatística entre dois grupos de amostras.

D^2 → Distância estatística de Mahalanobis entre dois solos.

* = significativa ao nível de 5% de probabilidade.

** = significativa ao nível de 1% de probabilidade.

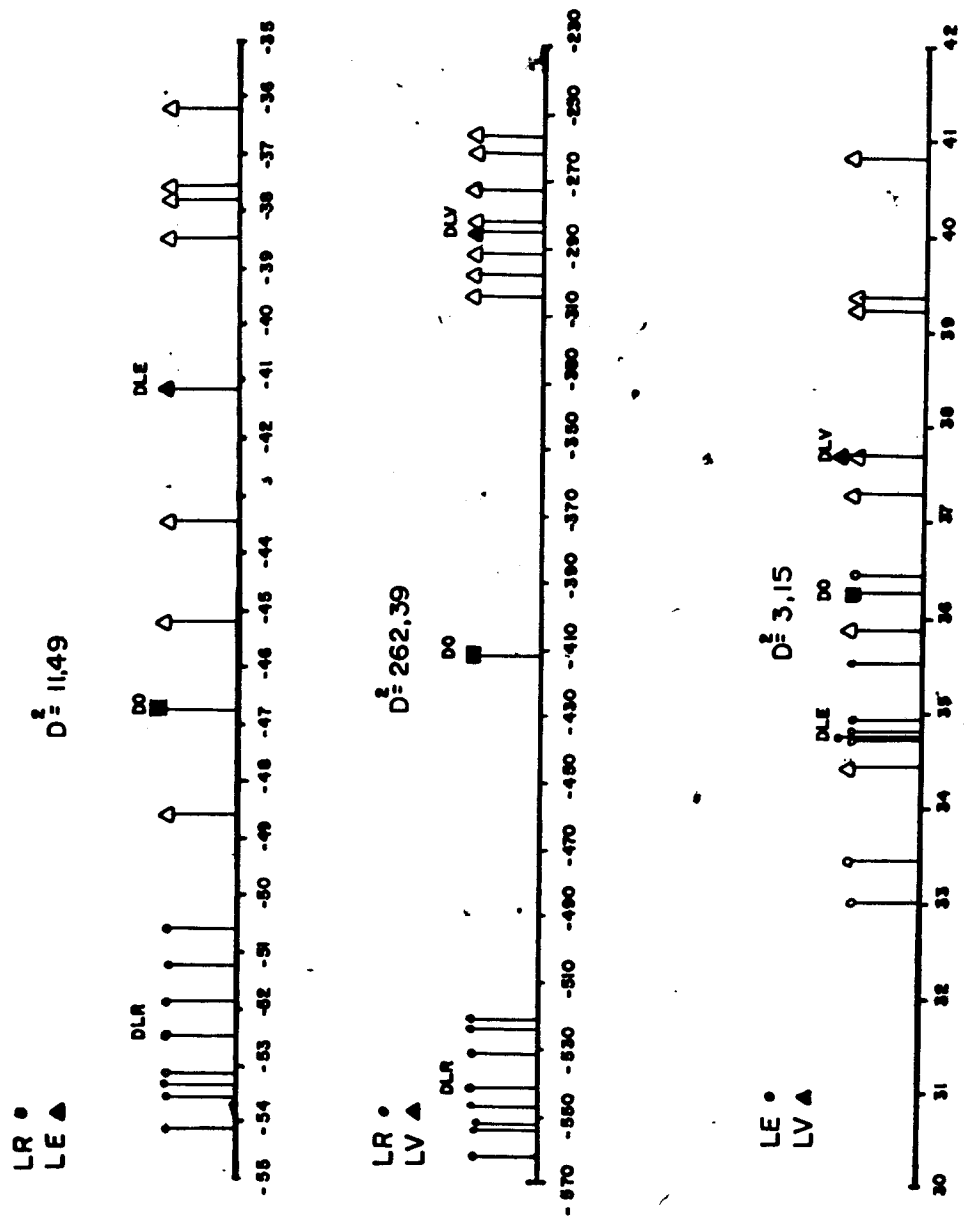


Fig. 6 - Projeções dos Índices discriminantes sobre os eixos das funções discriminantes dos níveis de cinza, com a banda termal.

Assim, pode-se concluir dessas duas tabelas que a banda termal contribuiu negativamente para a separação entre os solos. No entanto, cabe destacar que, nas condições em que foram obtidas as medidas pelo satélite, as respostas espectrais nas bandas TM3, 4, 5 e 7 expressaram os comportamentos diferenciados dos solos. Entretanto, como discutido anteriormente, supõe-se que a banda TM-6 não demonstrou as diferenças entre os solos através da temperatura.

Outro resultado que permite discussão é fruto da análise discriminante, apresentado nas Tabelas 6 e 7 (com e sem a banda termal, respectivamente). Estas tabelas mostram o número de amostras que se atribuiu como pertencente a um determinado solo, embora a análise discriminante tenha mostrado ser de outro solo na análise dois a dois. A visualização gráfica desta confusão de amostras pode ser feita nas Figuras 6 e 7.

Na análise LV x LR, com e sem a banda termal, há plena discriminação entre os solos. As sete amostras utilizadas como do LV foram confirmadas pela análise discriminante como efetivamente do LV. O mesmo aconteceu com as amostras do LR.

No caso LE x LR, já se nota alguma confusão, onde uma amostra de LE foi agrupada no LR pela análise discriminante. Todas as amostras assinaladas como do LR foram efetivamente confirmadas como pertencentes ao LR. Observa-se que a inclusão ou não da banda termal não influenciou neste resultado. Esta indicação de que uma amostra de LE deve pertencer verdadeiramente ao LR significa que o comportamento espectral daquela amostra aproxima-se mais do comportamento espectral do LR que do LE, embora no mapa de solos sua posição esteja indicada como LE. Pode-se aventar ainda a hipótese de que algum fator localizado (por exemplo, maior umidade) pudesse estar produzindo um efeito de abaixamento geral dos valores de níveis de cinza daquela amostra, fazendo com que seu comportamento espectral se aproximasse mais do LR.

TABELA 5
VALORES DA ANÁLISE DISCRIMINANTE LINEAR PARA OS NÍVEIS DE CINZA DAS TRÊS CLASSES DE SOLOS, SEM A BANDA TERMAL

	LE		X	LV	LE		X	LR	LV		X	LR
D _i	1,4379			4,5151	13,3118			2,1246	350,0854			125,7067
D ₀	2,9765				7,7182				237,8960			
D ₂	3,0772				11,1872				224,4376			
F _{calc.}	2,019		N.S.		7,3416**				147,2496**			
F _{tab.}	5%		3,63		3,63				3,63			
	1%		6,42		6,42				6,42			

N.S. → Não-significativo.
D_i → Centro do grupo de amostras do solo i.
i → Solos (LE, LV, LR).
D₀ → Ponto central da distância estatística entre dois grupos de amostras
D₂ → Distância estatística de Mahalanobis entre dois grupos de solos.
* = significativa ao nível de 5% de probabilidade,
**= significativa ao nível de 1% de probabilidade.

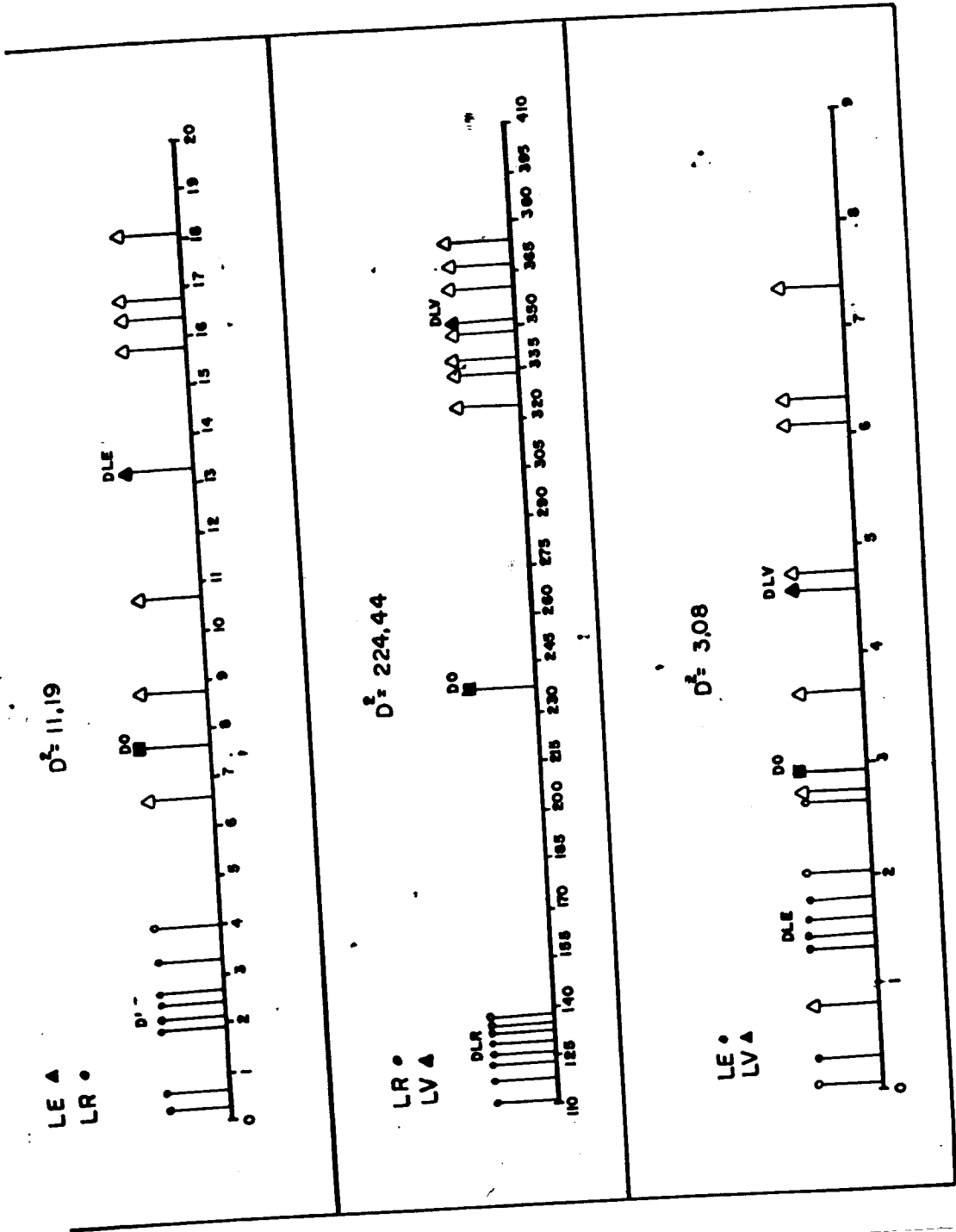


Fig. 7 - Projeções dos índices discriminantes sobre os eixos das funções discriminantes dos níveis de cinza, sem a banda terminal.

TABELA 6

MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO OBTIDA PELA ANÁLISE DISCRIMINANTE
COM A BANDA TERMAL

PARES DE GRUPOS ANALISADOS	GRUPOS DAS AMOSTRAS COLETADAS	Nº DE AMOSTRAS DE CADA GRUPO	GRUPO INDICADO PELA ANÁLISE DISCRIMINANTE			TOTAL
			LV	LE	LR	
LV X LE	LV	7	5	2	-	7
	LE	7	1	6	-	7
LV X LR	LV	7	7	-	0	7
	LR	7	0	-	7	7
LE X LR	LE	7	-	6	1	7
	LR	7	-	0	7	7

TABELA 7

MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO OBTIDA PELA ANÁLISE DISCRIMINANTE
SEM A BANDA TERMAL

PARES DE GRUPOS ANALISADOS	GRUPOS DAS AMOSTRAS COLETADAS	Nº DE AMOSTRAS DE CADA GRUPO	GRUPO INDICADO PELA ANÁLISE DISCRIMINANTE			TOTAL
			LV	LE	LR	
LV X LE	LV	7	5	2	-	7
	LE	7	0	7	-	7
LV X LR	LV	7	7	-	0	7
	LR	7	0	-	7	7
LE X LR	LE	7	-	6	1	7
	LR	7	-	0	7	7

No caso LE X LR, já se nota alguma confusão, onde 1 amostra de LE foi agrupada no LR pela análise discriminante. Todas assinaladas como sendo do LR foram efetivamente confirmadas como pertencentes ao LR. Observa-se que a inclusão ou não da banda termal não influenciou nesse resultado. Essa indicação de que uma amostra de LE deve pertencer verdadeiramente ao LR significa que o comportamento espectral daquela amostra aproxima-se mais do comportamento espectral do LR que do LE, embora no mapa de solos sua posição esteja indicada como sendo LE. Pode-se aventar ainda a hipótese de que algum fator localizado (por exemplo, maior umidade) pudesse estar produzindo um efeito de abaixamento geral dos valores de níveis de cinza daquela amostra, fazendo com que seu comportamento espectral se aproximasse mais do LR.

O caso que apresenta maior confusão de amostras é o LV X LE, como já seria de esperar. Aí, duas amostras de LV foram agrupadas no solo LE e uma de LE foi agrupada no LV, na análise que incluiu o termal. Quanto se retirou a banda termal (Tabela 7) o LE já não foi mais incluído no grupo LV. Estas confusões de agrupamento de amostras sugerem que estas amostras, pelo seu comportamento espectral, não pertencem à classe de solo indicada pelo levantamento de solos. Como essas amostras foram localizadas através do mapa de solos (1:500.000) e não houve correspondência efetiva com o grupo a que foram inicialmente atribuídas, constituem-se em pontos interessantes para verificações "in loco".

Um outro ponto a ser discutido no presente trabalho é a correlação entre as bandas analisadas. Tal análise de correlação está apresentada na Tabela 8, onde foi feita a correlação entre bandas para cada solo isoladamente e para todos os solos juntos.

O caso que apresenta maior confusão de amostras é o LV X LE, como seria de esperar. Aí, duas amostras de LV foram agrupadas no solo LE e uma de LE foi agrupada no LV, na análise que incluiu a banda termal. Quando se retirou a banda termal (Tabela 7), o LE já não foi mais incluído no grupo LV. Estas confusões de agrupamento de amostras sugerem que elas, pelo seu comportamento espectral, não pertencem à classe de solo indicada pelo levantamento de solos. Como estas amostras foram localizadas através do mapa de solos (1:500.000) e não houve correspondência efetiva com o grupo a que foram inicialmente atribuídas, elas constituem-se em pontos interessantes para verificações in loco.

Um outro ponto a ser discutido no presente trabalho é a correlação entre as bandas analisadas. Tal análise de correlação está apresentada na Tabela 8, onde foi feita a correlação entre bandas para cada solo isoladamente e para todos os solos juntos.

TABELA 8

CORRELAÇÃO ENTRE AS BANDAS PARA OS SOLOS ESTUDADOS

	LV	LE	LR	TODOS OS SOLOS JUNTOS
TM-3 x TM-4	0,304	0,979**	0,969**	0,964**
TM-3 x TM-5	0,830*	0,951**	0,953**	0,982**
TM-3 x TM-7	0,403	0,954**	0,987**	0,965**
TM-3 x TM-6	-0,101	0,030	0,432	-0,241
TM-4 x TM-5	-0,070	0,973**	0,975**	0,953**
TM-4 x TM-7	-0,554	0,965**	0,959**	0,913**
TM-4 x TM-6	-0,723	0,091	0,242	-0,375
TM-5 x TM-7	0,720	0,996**	0,945**	0,988**
TM-5 x TM-6	0,400	0,181	0,185	-0,199
TM-7 x TM-6	0,847**	0,123	0,374	-0,105

(*) = significativa ao nível de 5% de probabilidade,

(**) = significativa ao nível de 1% de probabilidade.

Observando a Tabela 8 vê-se que, para o solo LV, a correlação entre bandas é baixa para todas as interações (exceto TM3 x TM5 e TM3 x TM6). Tal fato não ocorre para os outros solos, nem para a análise de todos os solos juntos.

Uma possível explicação para a não-correlação do LV é que houve contaminação de amostras, ou seja, há amostras de LV que na verdade seriam LE. Isto pode ser corroborado pela observação da análise discriminante do LV x LE, onde há inclusão de duas amostras de LV como pertencentes ao LE. Como o número de amostras foi sete, pequenas inversões no comportamento espectral levam a alterações sensíveis na correlação. Embora estas pequenas inversões tivessem afetado a correlação entre bandas, o comportamento espectral ocorreu dentro do esperado e com baixo grau de dispersão em cada banda.

Para os outros solos a correlação foi consistente entre todas as bandas, exceto para a TM-6. O mesmo ocorreu quando se utilizaram todos os solos para a correlação entre bandas. É interessante notar que, ao utilizar todos os solos, o efeito de abaixamento da correlação ocorrido no caso do LV não se manifestou, já que aquelas pequenas inversões ocorridas no LV perderam sua significância.

A análise de correlação mostra que, de modo geral, não há correlação entre a banda termal e as outras bandas. Embora se saiba que muitos dos fatores que condicionam a temperatura do solo sejam diferentes dos que condicionam a reflectância, há alguns que agem concomitantemente (por exemplo, a umidade). Como discutido anteriormente, os fatores condicionantes da temperatura do solo podem não ter atuado adequadamente, o que leva à não-possibilidade de afirmação definitiva de que não haja correlação entre a banda TM-6 e as outras bandas em outras situações.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a realização desse trabalho, onde se procurou avaliar, mesmo que de maneira inicial, a banda TM-6 para estudos de solos, puderam-se tecer algumas considerações.

Como se pode observar pelas várias análises e discussões realizadas, a banda termal não trouxe grande contribuição para o estudo do comportamento térmico diferencial dos solos. Isto ocorreu não so para o estudo isolado da banda TM-6 como para o estudo desta banda aliada às outras bandas refletidas do espectro eletromagnético.

Dentre as hipóteses levantadas para essa baixa contribuição da banda termal está a do horário de passagem do satélite, o que sugere a impropriedade do horário para esse tipo de estudo. A determinação do horário de obtenção de dados por satélites deve ser considerada à luz dos fatores determinantes dos fenômenos a serem medidos.

Isso corrobora a afirmação de Lynn (1986), segundo a qual a discriminabilidade potencial de imagens infravermelhas termais depende grandemente do momento de aquisição dos dados por satélite, tanto em relação ao horário do dia, quanto em relação às diferentes épocas do ano.

Outro aspecto que merece consideração é o da complexidade de fatores envolvidos na manifestação da temperatura do solo. Os fatores de uso do solo e toda a dinâmica agrícola a que ele está sujeito tem grande influência no seu comportamento térmico. Isto torna extremamente difícil a modelagem explicativa do resultado final da temperatura.

Como a disponibilidade dos dados de temperatura da superfície por satélite é repetida a cada 16 dias e está ao alcance pleno da comunidade, vários pontos de estudo poderão ser considerados. Dentre estes, o principal é o de entender a relação entre o sinal captado pelo satélite e os fatores determinantes da temperatura do solo.

Quanto às outras bandas estudadas no presente trabalho, elas evidenciaram-se altamente significativas em estudos de solos, já que, além da diferenciação de solos através do comportamento espectral, mostraram-se eficientes na possibilidade de estabelecimento de inferências sobre os materiais de origem. Além disto, indicaram as possibilidades de inferir as propriedades como óxidos de ferro e granulometria através da análise do comportamento espectral dos solos.

Cabe salientar que os dados infravermelhos termais não fornecem um substitutivo para os dados refletidos; onde for possível, deverá ser altamente benéfico obter os dois tipos de informações, complementando-se mutuamente.

Uma outra consideração que merece destaque é a da utilização da análise discriminante em estudos espectrais de solos. Esta análise mostrou-se extremamente interessante para diversas variáveis medidas sobre diversos objetos. Em termos de análise multivariada, quando se fizer comparações entre comportamentos espectrais de solos, a análise discriminante deverá ser considerada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AL-ABBAS, A.H.; SWAIN, P.H.; BAUMGARDNER, M.F. Relating organic matter and clay content to multispectral radiance of soils. *Soil Science*, 114(6):477-485, 1972.
- BAUMGARDNER, M.F.; KRISTOF, S.J.; JOHANNSEN, C.J.; ZACHARY, A.L. Effects of organic matter on the multispectral properties of soils. *Proceedings of Indiana Academy of Science*, 79:413-422, 1970.
- BAVER, L.D.; GARDNER, W.H.; GARDNER, W.R. Física de Suelos. Tradução de J.M. Rodriguez y Rodriguez. Barcelona. Editora Union Tipografica Editorial Hispano-Americana. 1972.
- BLANCHARD, M.B.; GREELEY, R.; GOETTELMAN, R. *Use of visible, near-infrared, and Thermal Infrared Remote sensing to study soil moisture*. Washington, DC, NASA, 1974. (NASA TMX-62.363).
- BOWERS, S.A.; HANKS, R.J. Reflectance of radiant energy from soils. *Soil Science*, 100(2):130-138, 1965.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Centro de Pesquisas Agronômicas. *Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo*. Rio de Janeiro, 1960. 634p. (Boletim 12).
- BURROUGHS. *Advanced statistical inquiry system (Basis) - Large Systems; user's manual*. Detroit, MI, 1975.
- CHANG, J. *Climate and agriculture*. Chicago, Illinois, Aldine, 1968.
- CONDIT, H.R. The spectral reflectance of American soils. *Photogrammetric Engineering*, 36(s.d):955-966, 1970.
- DAVIS, J.C. Analysis of multivariate data. In: _____ statistics and data analysis in geology. John Wiley and Sons, Inc. 1973. p.413-533.
- EPIPHÂNIO, J.C.N. *Sensoriamento remoto termal para avaliação de produtividade e deficiência hídrica de milho (Zea mays L.) na Região dos Cerrados*. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto. São José dos Campos, INPE, abr. 1983a. 76p. (INPE-2704-TDL/129).
- _____. Avaliação da condição hídrica da cultura do milho através de Sensoriamento Remoto Termal. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 18(11): 1233-1241, nov. 1983b.

- FORMAGGIO, A.R. *Comportamento espectral de quatro solos do Estado de São Paulo nos níveis orbital, de campo e de laboratório*. Dissertação de mestrado em Sensoriamento Remoto. São José dos Campos, INPE, set., 1983. 140p. (INPE-2878-TDL/144).
- GEIGER, R. *The climate near the ground*. Cambridge, Harvard University Press, 1965.
- GUPTA, S.C.; LARSON, W.E.; ALLMARAS, R.R. Predicting Soil Temperature and Soil Heat Flux under Different Tillage - Surface Residue Conditions. *Soil Science Society of America Journal*, 42(2):223-232, Mar./Ap. 1984.
- IDSO, S.B.; JACKSON, R.D.; REGINATO, R.J. Detection of soil moisture by remote surveillance. *American Scientist*, 63(5):549-557. 1975.
- INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS: DIVISÃO DE SUPORTE COMPUTACIONAL. LABORATÓRIO DE TRATAMENTO DE IMAGENS DIGITAIS (INPE.DPI.LTID). *Sistemas de tratamento de imagens; Manual de usuário*. São José dos Campos, nov. 1985.
- LANDGREBE, D.A. The Quantitative Approach: Concept and Rationale. In: SWAIN, P.H.; DAVIS, S.M. *Remote sensing: The quantitative approach*. West Lafayette, IN. Cap. 1, p.1-20. 1978.
- LANDIM, P.M.B. *Análise de Dados Multivariantes em Geologia*. Rio Claro, UNESP, Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Departamento de Geologia Geral e Aplicada, 1984. Publicação didática mimeografada.
- LYNN, D.W. Monotemporal, multitemporal, and multirate thermal infrared data acquisition from satellites for soil and surface - material survey. *International Journal of Remote Sensing*, 7(2):213-231, 1986.
- MONTGOMERY, O.L. *The effects of the physical and chemical properties of soil on the spectral reflectance of soils*. M.S. Thesis. West Lafayette, IN, Purdue University, LARS. 1974.
- NASA. *LANDSAT 4 Data Users handbook*. Washington, USGS/EDC. 1984.
- PRATT, D.A.; ELLYETT, C.D.; McLAUCHLAN, E.C.; McNABB, P. Recent Advances in the Application of Thermal Infrared Scanning to Geological and Hydrological studies. *Remote sensing of Environment*, 7(2):177-184. 1978.

- SCHOWENGERDT, R.D. *Techniques for image processing and classification in remote sensing*. Orlando, Florida. Academic Press. 1983.
- SIDIRAS, N.; PAVAN, M.A. Influência do Sistema de Manejo da Temperatura do Solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 10(3):181-308, set/dez. 1986.
- STONER, E.R.; BAUMGARDNER, M.F. *Physicochemical, site, and bidirectional reflectance factor characteristics of uniformly moist soil*. West Lafayette. IN., Purdue University, LARS, 1980, 94p. (Technical Report 111679).
- ZAR, J.H. *Biostatistical analysis*. Englewood Cliffs, N.J. Prentice - Hall, 1974. 620p.