

ESTUDO DE UMIDADE DO SOLO ATRAVÉS DE DADOS DE REFLECTÂNCIA

J.C.N. Epiphanyo e A.R. Formaggio  
Instituto de Pesquisas Espaciais  
Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico  
Caixa Postal 515, 12200 - São José dos Campos, SP, Brasil

RESUMO

O presente trabalho teve por objetivo estudar, em caráter preliminar, as relações de dados de reflectância obtidos no campo com umidade do solo. Esta pesquisa foi conduzida no Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (CPAC-DF), em área de Latossolo Vermelho Escuro. Os dados de reflectância foram obtidos com um espectrorradiômetro portátil, que opera na faixa de 450 a 1050 nanômetros, para 8 comprimentos de onda distintos. O teor de umidade das amostras de solo para as diferentes profundidades (2,5, 10, 20 e 30 cm) foi determinado pelo método gravimétrico. A análise dos dados foi feita de modo a se obterem os coeficientes de correlação linear ( $r^2$ ) entre os valores de umidade e reflectância para cada profundidade e comprimento de onda, a fim de facilitar a visualização de tendências. Verificou-se que quanto maior o teor de umidade do solo, menor a sua reflectância, e que os melhores comprimentos de onda para estudos de umidade dos solos através da sua reflectância encontram-se entre os maiores valores de comprimento de onda utilizados, confirmando-se o que se encontra a respeito na literatura consultada. Não houve uma diferença sensível entre as relações umidade/reflectância para as várias profundidades ressaltando-se porém o solo utilizado. Os resultados permitiram a visualização da importância das potencialidades desse tipo de abordagem de utilização das técnicas de sensoriamento remoto para estudos desse e de outros parâmetros dos solos tropicais.

ABSTRACT

This research was undertaken to study, in a preliminary way, the relationships between reflectance data obtained in the field and soil moisture. The work was conducted in Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (CPAC-DF), in a Latossolo Vermelho Escuro area. The reflectance data were obtained with a portable spectroradiometer, which operates in the range of 450 to 1050nm, for 8 wavelengths. The humidity content of the soil samples for different depths (2, 5, 10, 20 and 30 cm) was determined by the gravimetric method. A data analysis was carried out to obtain the linear correlation coefficients ( $r^2$ ) between the soil moisture and reflectance values for each depth and wavelength, and to facilitate the detection of the interrelationships tendencies. It was verified that the larger the soil moisture content, the smaller its reflectance, and that the best wavelengths to study soil moisture through reflectance data of the soils are between the greatest utilized wavelengths values, confirming what is found in the literature. There was not an appreciable difference between the humidity/reflectance relations for the various depths, emphasising the utilized soil. The results permitted a judgement of the potentiality importance of this approach of remote sensing techniques utilization to study this and other tropical soils parameter.

1. INTRODUÇÃO

Entre os usos potenciais das várias técnicas de sensoriamento remoto, um dos mais práticos e úteis é a possibilidade de avaliação do conteúdo de umidade nas camadas superficiais de solos.

Vários autores têm estudado a utilização de técnicas de sensoriamento remoto para avaliação do conteúdo de água das camadas superficiais de solos. Doll (1973) avaliou a utilização da percentagem de polarização da luz re-

fletida; Skidmore et alii (1973) obtiveram algum sucesso na utilização de um radiômetro sensível a comprimentos de onda selecionados da faixa do infravermelho próximo; outros têm tentado a adaptação de radiômetros de microondas (Schmugge et alii, 1974); outros ainda consideram a possibilidade de medidas do albedo total para a consecução daquele objetivo (Idso et alii, 1975).

Desde 1925, com a publicação do trabalho de Angstrom, tem sido reconhecido que o albedo do solo nu, definido como a relação entre a radiação solar refletida e a incidente, é dependente do estado de umidade da superfície do solo.

A descoberta de que a energia eletromagnética que interage com os solos pode ser usada para estimar o conteúdo de umidade da camada mais superficial destes tem importantes consequências para as pesquisas que estão sendo desenvolvidas atualmente para utilizar mais eficientemente a água na agricultura.

A água contida num determinado volume de solo é fator decisivo para a ocorrência de processos hidrodinâmicos como a percolação, evaporação, armazenamento e outros.

Dentre os ramos das ciências que têm a água como um dos seus objetos de estudo, a agronomia, em particular, considera a água contida no solo fator decisivo para o desenvolvimento satisfatório das culturas agrícolas.

Contudo, estudos da correlação entre umidade do solo e respectiva refletância têm sido conduzidos quase que exclusivamente no exterior, em solos e sob condições ambientais bastante diferentes em relação às prevalentes no Brasil.

Assim sendo, o presente trabalho, desenvolvido em caráter preliminar, tem o objetivo de analisar a correlação entre os dados de refletância e os de umidade de solo de um solo Latossolo Vermelho Escuro, da região do Distrito Federal, através de técnicas de sensoriamento remoto. Os resultados obtidos neste trabalho serão de grande utilidade para estudos posteriores de avaliação do conteúdo de água das camadas superficiais dos solos.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os resultados de pesquisas recentes têm se mostrado promissores no que diz respeito à utilização das técnicas de sensoriamento remoto como apoio para levantamento de solos. Isso tem estimulado grandemente estudos quanto à influência das diferentes propriedades do solo sobre a sua refletância. Dentre tais propriedades, a umidade e a matéria orgânica têm sido referidas como as mais influentes modificadoras das respostas espectrais dos solos.

O escurecimento do solo sob umedecimento é facilmente observado em imagens fotográficas. Um exemplo interessante relatado por Nagler and Soules (1965) é a trilha bem nítida deixada por uma tempestade que cruzou o Estado do Texas, nos EUA, pouco tempo antes da tomada de uma fotografia pelo Gemini IV.

Em 1965, usando um espectrofotômetro, Bowers and Hanks conseguiram medir a diminuição de refletância para o solo "Newtonia silt loam", em 6 níveis de umidade num intervalo espectral de 500 a 2500 nm. Os autores concluíram que a refletância dos solos diminui quando a umidade aumenta, e que as medidas de refletância podem ser usadas para determinar a umidade superficial dos solos, especialmente na região de 1950 nm do espectro eletromagnético. Este fato é melhor visualizado na Figura 1.

De acordo com Laboratory for Applications of Remote Sensing (1970), o mesmo tipo de fenômeno também foi verificado tanto para solos argilosos quanto para arenosos.

A importância da umidade solo como fator que afeta sua cor foi estabelecida também por Beck et alii (1976), usando um espectroradiômetro Exotech 20C. Entre os vários fatores estudados, os autores concluíram que a umidade do solo teve a maior influência na sua refletância no nível de umidade de 1/3 de atmosfera, vindo em seguida o fator matéria orgânica. Entretanto, em um estado mais seco, cerca de 15 atmosferas, os mesmos solos mostraram que a matéria orgânica tem o maior efeito em certos comprimentos de onda.

Sabe-se que a redução da refletância ou da absorção de energia pela água ocorre de maneira diferente nos diversos comprimentos de onda; a absorção pela água é bastante pronunciada aproximadamente em 1450 nm e 1950 nm, conforme pode ser verificado na Figura 1.

O efeito da diminuição da refletância, quando presente em uma substância, de acordo com Peterson et alii (1979), foi atribuído por Angstrom (1925) às reflexões internas totais dentro da camada fina de água que recobre a superfície. Angstrom acreditava que uma porção da energia não seria refletida no espaço, mas seria internamente refletida entre a superfície da partícula e a superfície do filme de água.

Também é conhecido o fato de que a refletância tende a diminuir com o aumento do índice de refração do meio transmitente. Como um resultado de suas pesquisas, Planet (1970) observou que os objetos são mais escuros em meios mais refrativos.

Segundo Rogers and Kerr (1942), citados por Peterson et alii (1979), o índice de refração para uma substância variará em diferentes comprimentos de onda. Por exemplo o índice de refração para o final da faixa vermelha do espectro é menor do que para o final da faixa do violeta, o que faz com que a luz vermelha seja menos desviada do que a luz violeta.

Peterson et alii (1979), estudando a possibilidade de previsão da mudança na refletância do solo sob condições de umidade para

15 solos da região central de Indiana, representativos dos grandes grupos Molisol e Alfisol, encontraram numa análise de regressão valores de  $r^2$  que variaram de 0,9914 a 0,9291

nos 5 intervalos espectrais utilizados dentro da faixa de 520 nm a 1730 nm. Os autores concluíram que existem inter-relações regulares entre tensões de umidade dos solos e valores de reflectância.

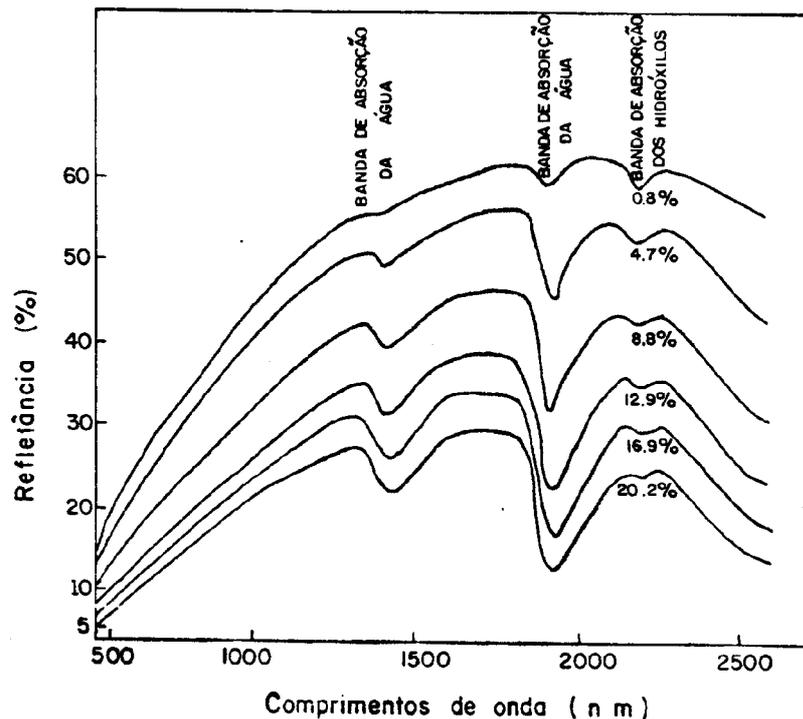


Fig. 1 - Curvas de reflectância espectral em vários níveis de umidade para o solo "Newtonia silt loam".

Fonte : Bowers and Hanks (1965).

Obukhov and Orlov, em citação de Myers and Allen (1968), acentuam que geralmente o umedecimento e a pulverização da superfície do solo induzem suas curvas de reflectância a se tornarem mais próximas umas das outras. Devido a isto, as fotografias de maior contraste podem ser obtidas em condições de baixo conteúdo de umidade do solo.

Num estudo da influência de vários parâmetros dos solos sobre sua reflectância, utilizando 251 amostras de solos dos EUA, da Espanha e do Brasil, Stoner et alii (1980) afirmam que os solos de climas mais úmidos geralmente refletem menos do que aqueles de climas secos, devido ao maior acúmulo de matéria orgânica nos primeiros. Mostram ainda que geralmente a reflectância diminui à medida que as condições de drenagem dos solos pioram. Os solos de drenagem mais pobres refletem consideravelmente menos do que aqueles de outras classes de drenagem, em todos os comprimentos de onda.

Ainda de acordo com Stoner et alii (1980), como uma característica local que integra os efeitos de clima, relevo local e acúmulo de matéria orgânica, as características de drenagem estão intimamente associadas com as pro

priedades de reflectância superficial dos solos. Mantendo todas as propriedades constantes, um aumento no conteúdo de umidade do solo diminui a sua reflectância em todos os comprimentos de onda.

Kristof et alii (1980) afirmam que as bandas de absorção pela água (1430-1450, 1620-1650 e 1910-1940 nm) apresentam um grande potencial para se determinar o conteúdo de umidade do solo.

Em seus estudos, Bowers and Hanks (1965) também indicaram que havia um bom potencial nas medidas de reflectância para especificar o conteúdo de umidade nas camadas superficiais de solos. Outros autores, como Coulson and Reynolds (1921) e Tuller and Van Heuklon (1972) também registraram a importância da reflectância para medir o conteúdo superficial de água dos solos.

Dessa forma, Idso et alii (1975) conduziram uma série de experimentos para melhor avaliar o potencial das medidas de albedo, a fim de estimar o conteúdo de umidade do solo. Concluíram que a simples medição do albedo pode propiciar um razoável meio para avaliar o conteúdo de água do solo, através de tecnologia disponível de sensoriamento remoto.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

Os dados nos quais se baseou o presente trabalho foram obtidos através de um experimento conduzido no Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (CPAC), no Distrito Federal, sobre um solo Latossolo Vermelho Escuro (EMBRAPA/SNLCS, 1978).

O experimento foi realizado em duas parcelas, de 12,5 m<sup>2</sup> cada uma, de solo desprovido de vegetação e preparado para plantio, isto é, em terreno arado, gradeado e passado por enxada rotativa, em setembro de 1981, época seca na região.

No dia 10/9/81 uma das parcelas foi intensamente irrigada, de modo que o solo ficou completamente saturado. Em 11/9/81 iniciaram-se as medidas de reflectância e a coleta de amostras de solo a cinco profundidades para as determinações de umidade.

As determinações de umidade foram feitas pelo método gravimétrico, onde a amostra é pesada antes e depois da secagem por 24 horas, em estufa a 105°C, obtendo-se então a umidade em percentagem do peso seco do solo. As amostras foram diariamente coletadas às profundidades de 2,5, 10, 20 e 30 cm até o dia 17/9/81, quando foi encerrado este ciclo de medidas.

As leituras de reflectância foram realizadas com um espectroradiômetro portátil desenvolvido pela Chiba University, Japão (Emori et alii, 1972). Esse espectroradiômetro opera com um sistema de filtros, os quais determinam o comprimento de onda da observação. Por comparação entre as radiâncias do alvo e as de um painel branco (sulfato de bário) obtém-se a reflectância do alvo.

A direção de observação para a realização das leituras de reflectância foi aproximadamente perpendicular à trajetória diária do sol. O horário de observação foi o mais próximo possível das 9:00 hs, de modo a melhor se assemelhar às condições de observação do satélite LANDSAT. A inclinação foi de cerca de 30° com a vertical.

As medidas foram realizadas em 8 comprimentos de onda diferentes: 450, 500, 550, 600, 650, 750, 850 e 1050 nm. Para cada comprimento de onda fizeram-se três leituras de radiância em locais diferentes da mesma parcela e duas leituras no painel padrão. Através de cálculos adequados, obteve-se a reflectância para cada comprimento de onda.

Para a análise estatística dos dados, elaboraram-se tabelas que relacionam umidade e reflectância para cada comprimento de onda e para cada nível diário de umidade. Este procedimento permitiu a execução de uma análise de regressão, extraído-se os coeficientes (r) de determinação e (r<sup>2</sup>) de correlação (Spiegel, 1972). Posteriormente foram relacionados os coeficientes de determinação acima referidos com os comprimentos de onda para as várias profundidades.

As análises dos dados obtidos no experimento são apresentadas em gráficos e tabelas, que são utilizados para auxiliar na representação de tendências das inter-relações entre umidade do solo e reflectância.

### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do presente estudo são apresentados em três grupos.

O primeiro grupo compõe-se de 40 gráficos que relacionam umidade e reflectância para 8 comprimentos de onda e 5 profundidades. Desses 40 gráficos, apenas para ilustração das relações, são mostrados somente 10 correspondentes aos comprimentos de onda de 450 e 850 nm, para as 5 profundidades.

O segundo grupo apresenta, em forma de tabela, os coeficientes, de determinação (r) para cada relação entre umidade e reflectância nos vários comprimentos de onda e profundidades.

O terceiro grupo apresenta os gráficos que ilustram a relação entre os coeficientes de determinação (r) obtidos no primeiro grupo e o comprimento de onda, para as várias profundidades.

As Figuras 2 a 11 representam os gráficos das relações em umidade (U) e reflectância (ρ), ambos em percentagem, as equações das retas que relacionam essas duas variáveis e seus coeficientes de determinação. As medidas de umidade foram obtidas para 5 profundidades e as de reflectância, para 8 comprimentos de onda, perfazendo um total de 40 gráficos. Porém, servindo de ilustração, estão representados apenas os gráficos de dois comprimentos de onda para cada uma das 5 profundidades.

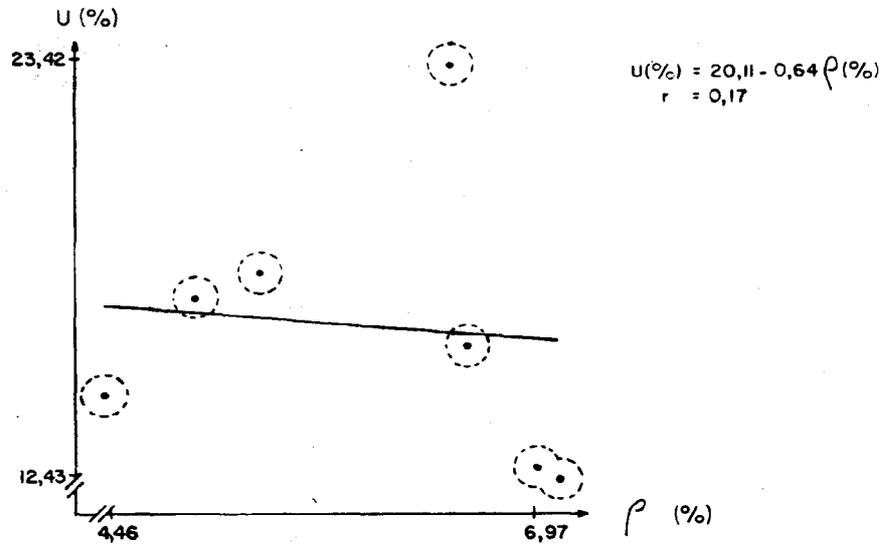


Fig.2 - Gráfico representativo da relação entre umidade e reflectância para a profundidade de 2 cm e o comprimento de onda de 450 nm.

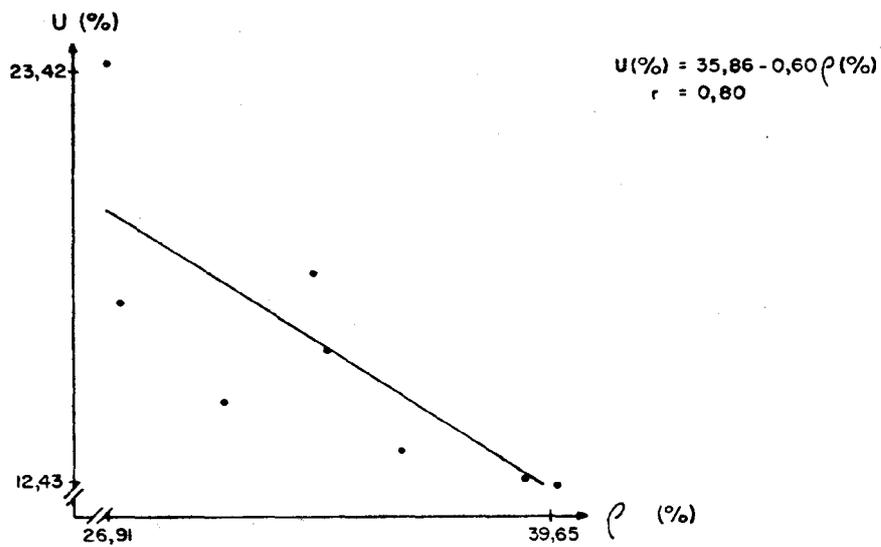


Fig. 3 - Gráfico representativo da relação entre umidade e reflectância para a profundidade de 2 cm e o comprimento de onda de 850 nm.

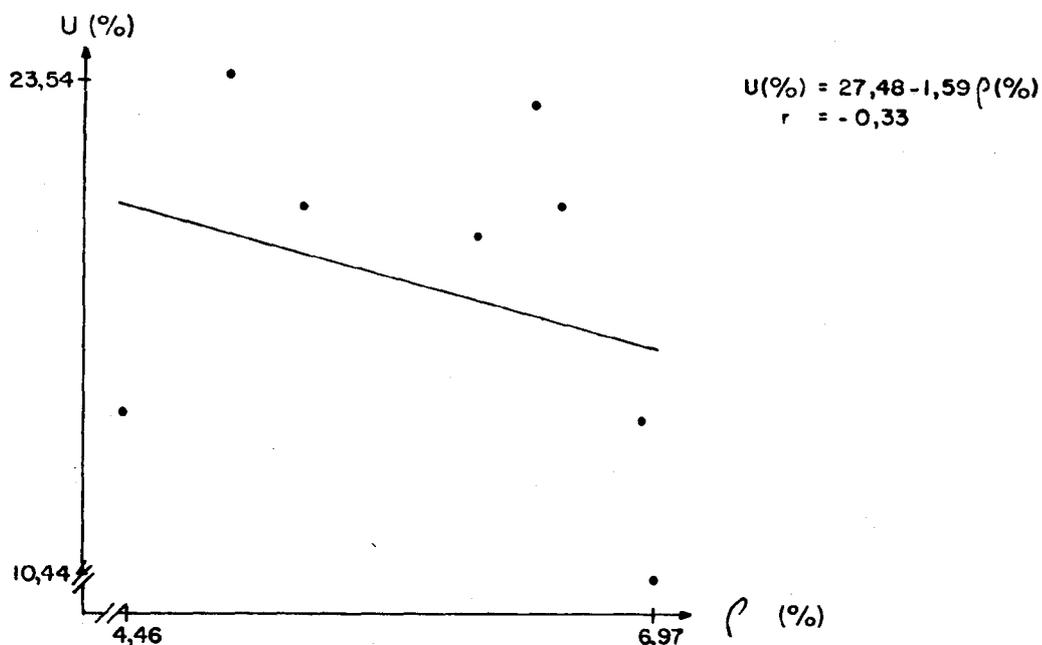


Fig. 4 - Gráfico representativo da relação entre umidade e reflectância para a profundidade de 5 cm e o comprimento de onda de 450 nm.

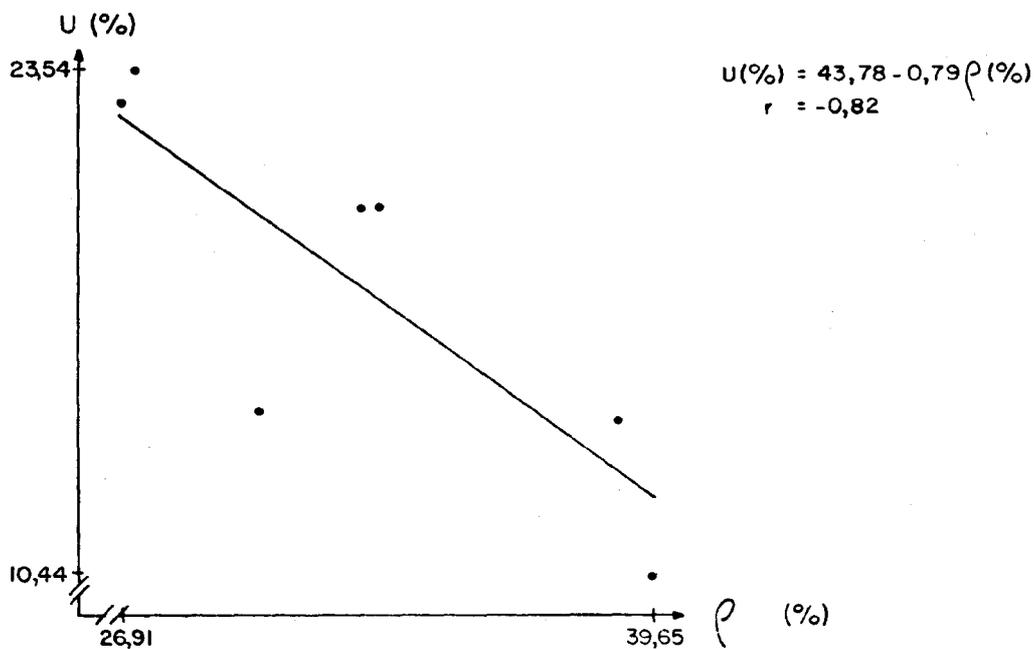


Fig. 5 - Gráfico representativo da relação entre umidade e reflectância para a profundidade de 5 cm e o comprimento de onda de 850 nm.

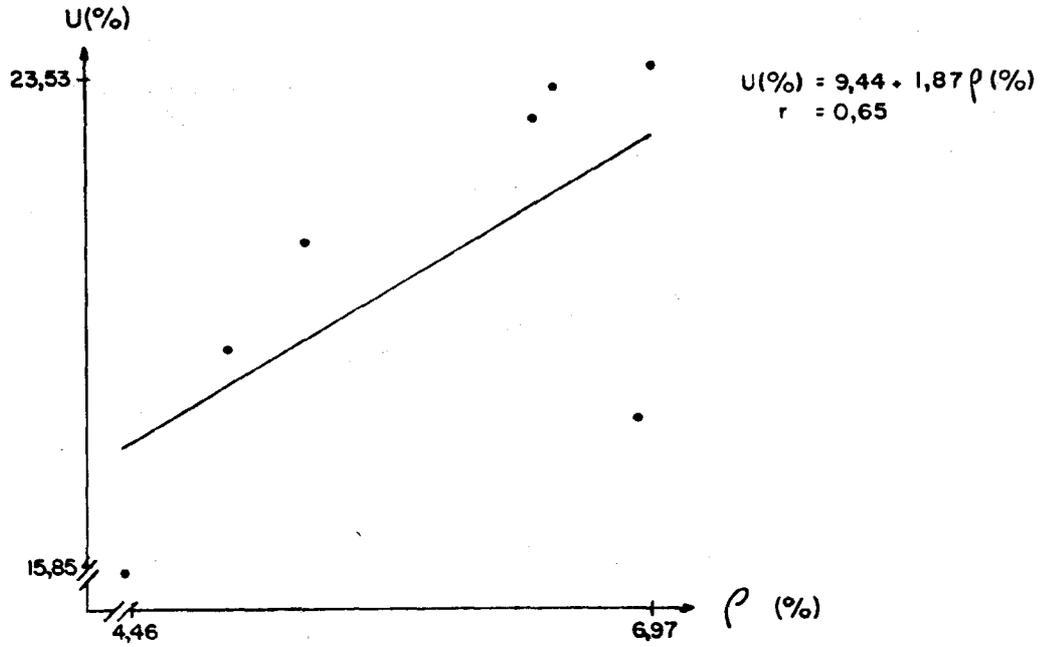


Fig. 6 - Gráfico representativo da relação entre umidade e reflectância para a profundidade de 10 cm e o comprimento de onda de 450 nm.

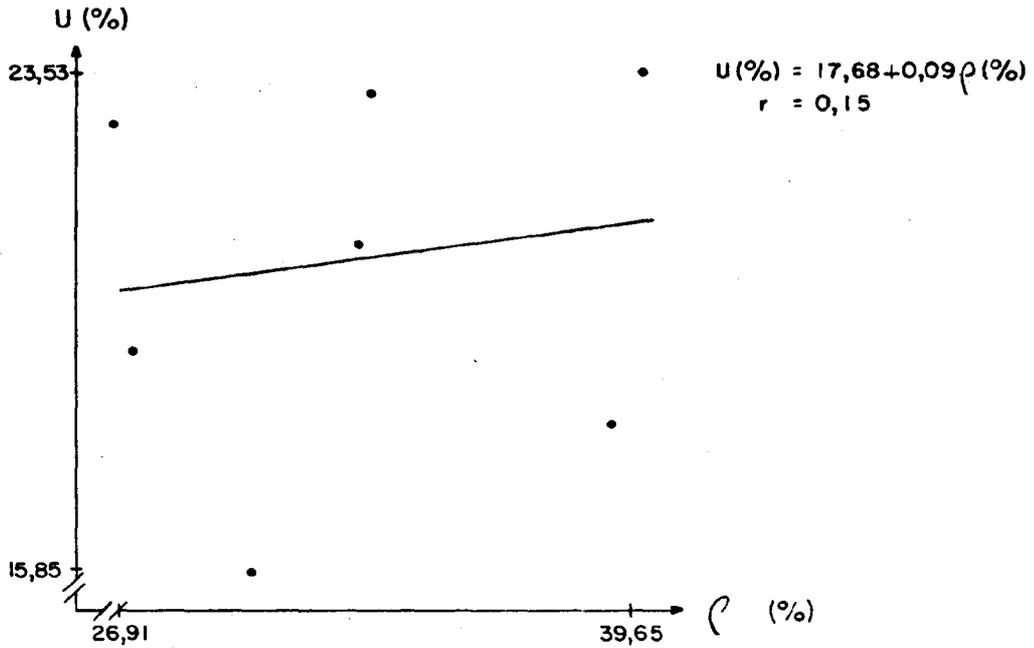


Fig. 7 - Gráfico representativo da relação entre umidade e reflectância para a profundidade de 10 cm e o comprimento de onda de 850 nm.

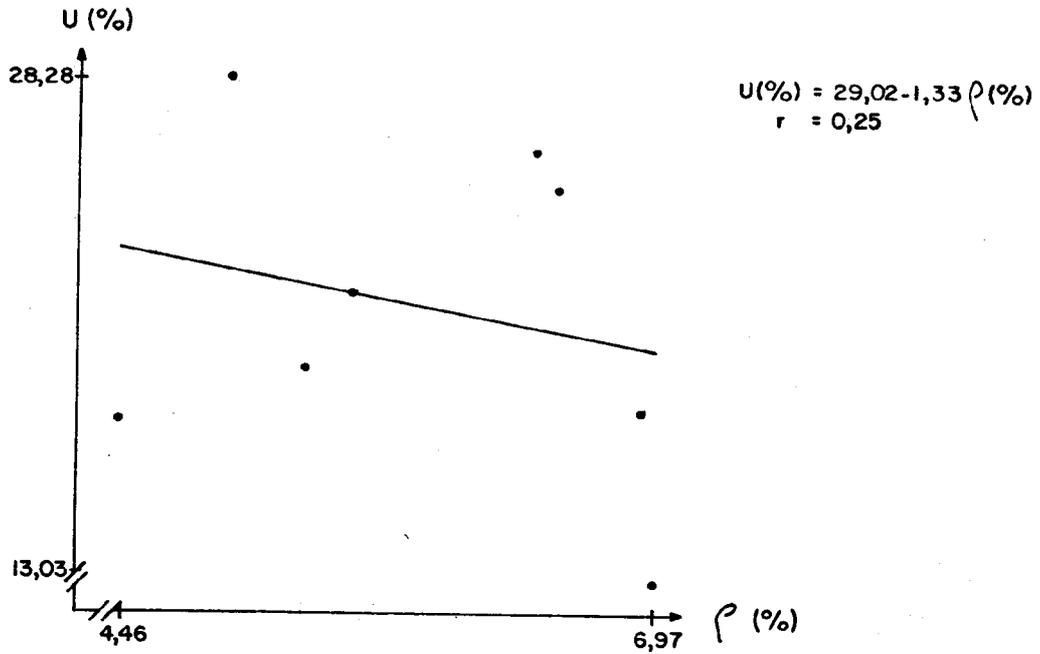


Fig. 8 - Gráfico representativo da relação entre umidade e reflectância para a profundidade de 20 cm e o comprimento de onda de 450 nm.

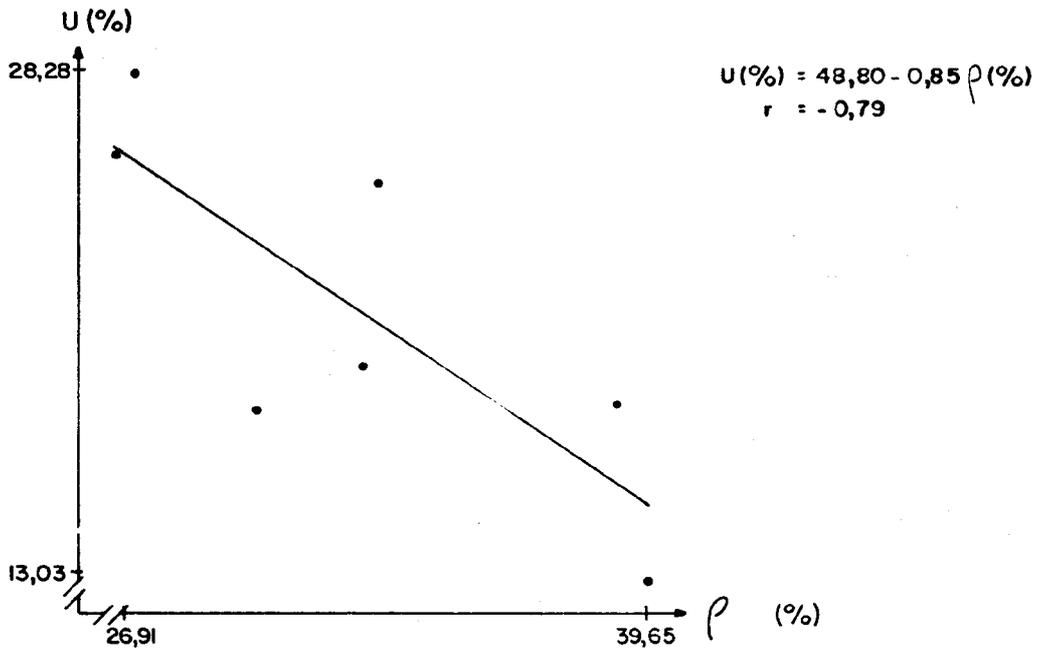


Fig. 9 - Gráfico representativo da relação entre umidade e reflectância para a profundidade de 20 cm e o comprimento de onda de 850 nm.

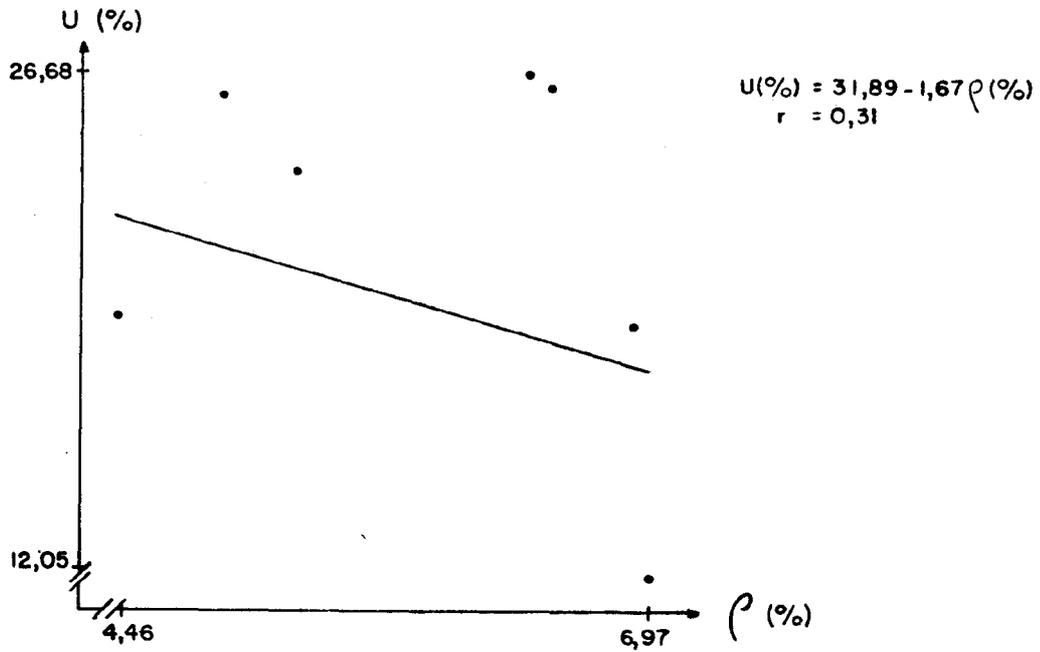


Fig. 10 - Gráfico representativo da relação entre umidade e reflectância para a profundidade de 30 cm e o comprimento de onda de 450 nm.

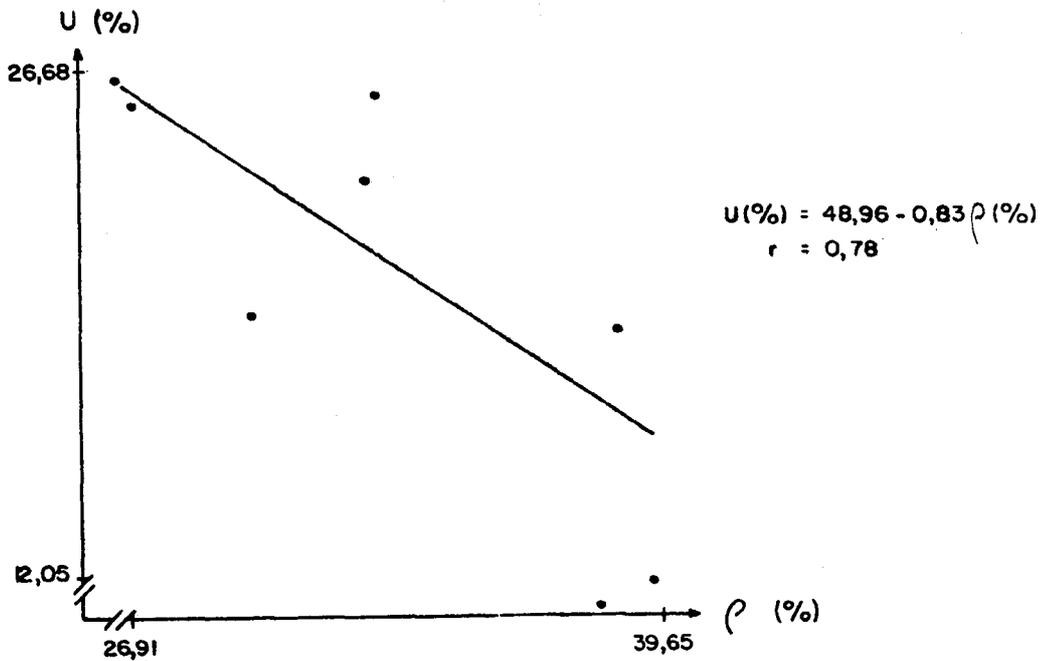


Fig. 11 - Gráfico representativo da relação entre umidade e reflectância para a profundidade de 30 cm e o comprimento de onda de 850 nm.

Nos gráficos apresentados, embora as relações entre umidade e reflectância estejam representados por *pontos*, deve-se ressaltar que, devido à imprecisão do instrumento de medida de reflectância e também das medidas de umidade, tais pontos seriam mais adequadamente representados por *regiões*, como as de limitadas por linhas pontilhadas na Figura 2

Serão analisados e discutidos a seguir os gráficos correspondentes às profundidades de 2,5, 20 e 30 cm. Posteriormente serão analisados os gráficos relativos à profundidade de 10 cm.

Analisando-se a Figura 12, demonstrativa da relação entre reflectância ( $\rho$ ) e comprimentos de onda ( $\lambda$ ) para os 7 níveis de umidade observados, pode-se verificar que a todos os comprimentos de onda menores correspondem menores valores de reflectância. Isto está de acordo com as afirmações de Ångstrom (1925), Rogers and Kerr (1942) e Planet (1970), segundo as quais a reflectância tende a diminuir com o aumento do índice de refração do meio transmitente, pois para comprimentos de onda menores o índice de refração é maior.

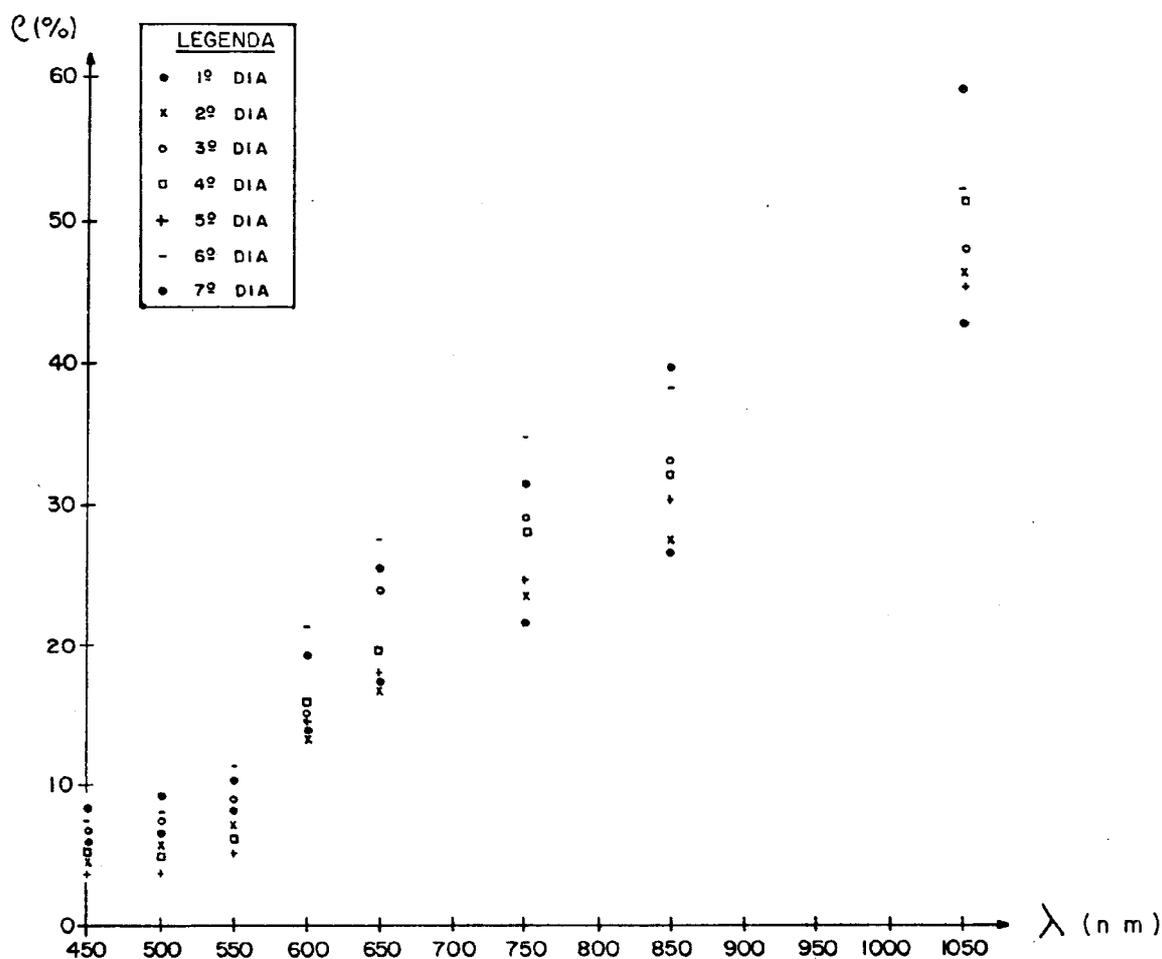


Fig. 12 - Gráfico ilustrativo da relação entre reflectância ( $\rho$ ) e comprimento de onda ( $\lambda$ ) para as umidades observadas nos vários dias.

Considerando-se o exposto acima e uma tendência de aumento do coeficiente de correlação ( $r^2$ ) para os comprimentos de onda maiores, seria interessante que se dispusesse, em trabalhos futuros, de equipamentos capazes de operar em comprimentos de onda além dos aqui estudados.

Ainda quanto a esse primeiro grupo de resultados, pode-se observar que para as diversas profundidades não há uma diferença sensível nos coeficientes de correlação ( $r^2$ ). Possivelmente, isto possa ser explicado pelo fato de que para o solo em estudo a perda de umidade dá-se de maneira uniforme entre as

camadas superficiais, de modo que a reflectância representativa da camada mais superficial seja também representativa das camadas sub-superficiais, até um limite não determinado aqui.

Caso essa hipótese seja constatada em larga escala, para alguns solos a umidade até uma certa profundidade limite poderá ser avaliada através de dados de reflectância.

Para os solos que possuem um horizonte B textural, a ocorrência de um teor de umidade de distribuição razoavelmente uniforme, até uma determinada profundidade, é bem menos pro-

vável. Desta forma, para tais solos não se ria esperada uma inter-relação entre umidade e reflectância, para algumas profundidades, tão boa quanto a encontrada para o latossolo em estudo.

Pelos resultados apresentados nos gráficos do primeiro grupo (Figuras 2 a 11) pode-se concluir também que, diminuindo-se a umi-

dade do solo, aumenta a sua reflectância, o que concorda plenamente com as afirmações de Bowers and Hanks (1965), LARS (1970) e Stoner et alii (1980).

A Tabela 1 resume os dados do segundo grupo de resultados. Esta tabela apresenta os 40 coeficientes de determinação (r), obtidos nas relações entre umidade a 5 profundidades e reflectância em 8 comprimentos de onda.

TABELA 1  
COEFICIENTES DE DETERMINAÇÃO (r) OBTIDOS DAS RELAÇÕES ENTRE  
UMIDADE E REFLECTÂNCIA, PARA 5 PROFUNDIDADES E 8 COMPRIMENTOS DE ONDA

<u>COMPRIMENTO DE ONDA (nm)</u> <u>PROFUNDIDADE (cm)</u>	450	500	550	600	650	750	850	1050
2	-0,17	-0,27	-0,49	-0,61	-0,64	-0,80	-0,80	-0,70
5	-0,33	-0,21	-0,51	-0,63	-0,57	-0,68	-0,82	-0,73
10	0,65	0,34	0,28	0,13	0,31	-0,03	0,15	0,33
20	0,25	-0,04	-0,42	-0,65	-0,48	-0,66	-0,79	-0,77
30	-0,31	-0,13	-0,45	-0,63	-0,49	-0,61	-0,78	-0,79

Analisando-se a Tabela 1, pode-se verificar que, geralmente, aumentando-se o comprimento de onda, existe um aumento do valor do coeficiente de determinação (r), em valores absolutos. Esta afirmativa não é válida para os dados obtidos à profundidade de 10 cm, que será discutida posteriormente.

Pode-se dividir a Tabela 1 em três secções, por comprimento de onda. A primeira abrange de 450 a 550 nm, com coeficientes de determinação considerados baixos (em valores absolutos); a segunda abrange de 600 e 650 nm, considerada uma secção de transição, com valores intermediários de coeficientes de determinação (em valores absolutos); a terceira secção, de 750 a 1050 nm, apresenta os maiores coeficientes de determinação (em valores absolutos), bem como uma maior homogeneidade de valores, sempre excetuando-se a profundidade de 10 cm.

Dessa divisão da Tabela 1 em secções ressaltam-se dois aspectos importantes.

O primeiro aspecto refere-se ao comprimento de onda de 850 nm, que apresenta os melhores coeficientes de determinação e é o mais homogêneo quanto a tal coeficiente em todas as profundidades, exceto para a de 10 cm. Isto evidencia o fato de que é principalmente neste comprimento de onda que a reflectância está associada à umidade, nas várias profundidades, nas condições em que este estudo foi realizado. O segundo aspecto relaciona-se ao fato de que a secção de 750 a 1050 nm é muito semelhante à faixa espectral abrangida pelos canais 6 e 7 do MSS/LANDSAT.

Este segundo aspecto abre perspectivas de que possam ser iniciados estudos para avaliação de umidade do solo através da utilização de imagens MSS/LANDSAT para o tipo de solo em que o experimento foi realizado.

O terceiro grupo de resultados representado pelas Figuras 13 a 17, que constituem gráficos que relacionam o coeficiente de determinação (r), em valores absolutos, com o

comprimento de onda para as cinco profundidades estudadas. Estes coeficientes de determinação são os mesmos apresentados no 1º grupo

de resultados e foram obtidos da relação entre reflectância e umidade para cada profundidade e comprimento de onda.

$$(r) = -1,0677 \cdot 10^{-2} + 8,3418 \cdot 10^{-4} \lambda \text{ (nm)}$$

$$r = +0,7638$$

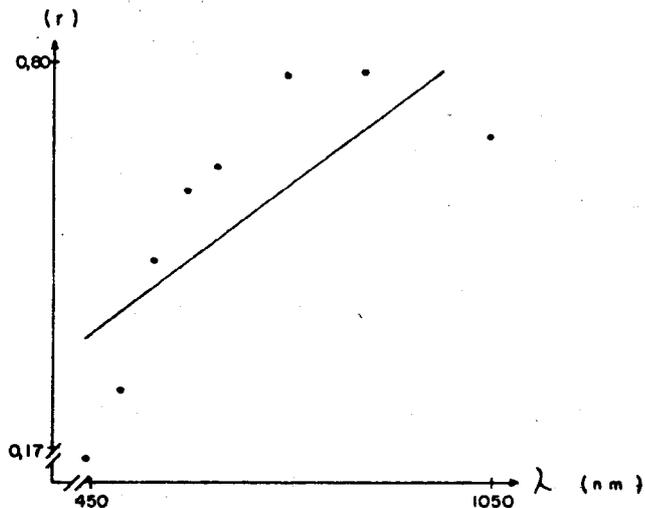


Fig. 13 - Gráfico representativo da relação entre os valores absolutos dos coeficientes de determinação (r) e comprimento de onda, para a profundidade de 2 cm.

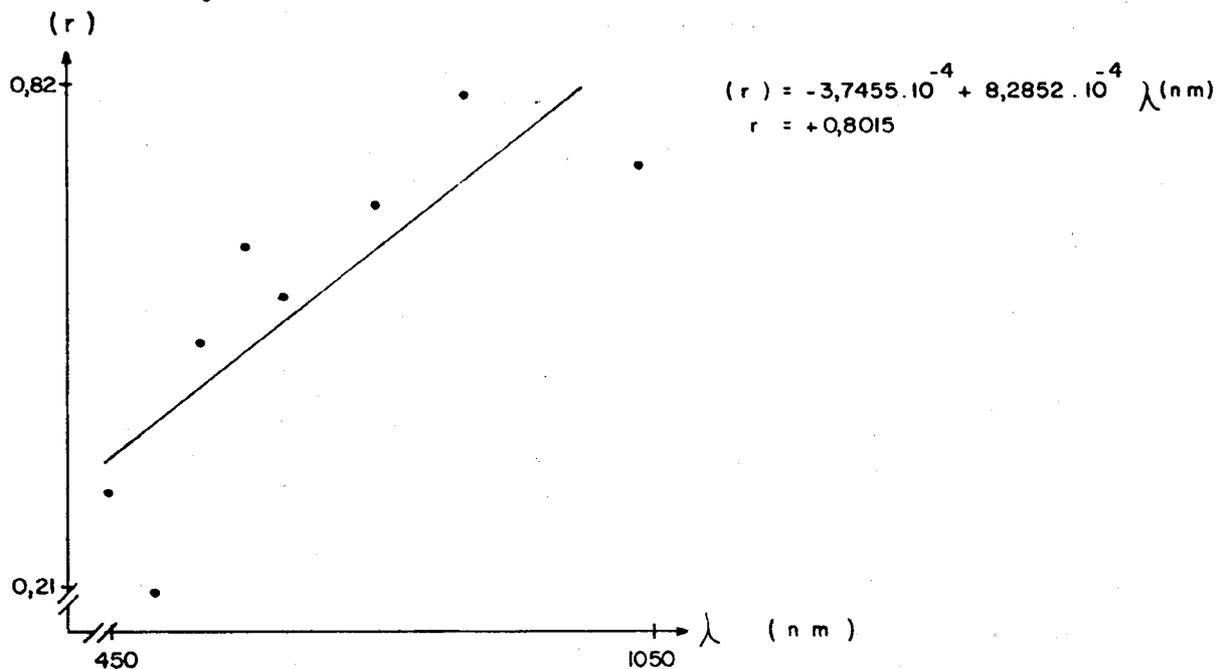


Fig. 14 - Gráfico representativo da relação entre os valores absolutos dos coeficientes de determinação (r) e comprimento de onda, para a profundidade de 5 cm.

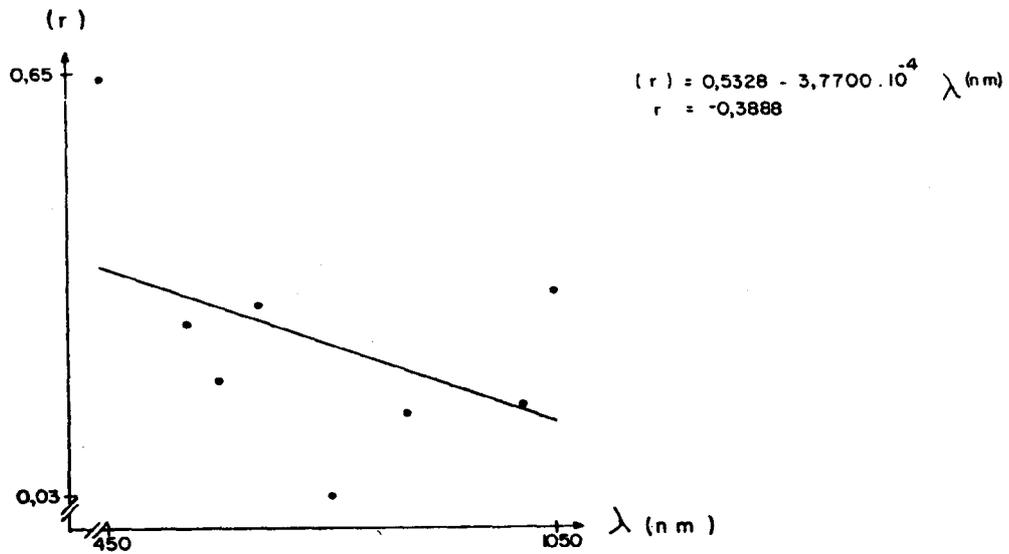


Fig. 15 - Gráfico representativo da relação entre os valores absolutos dos coeficientes de determinação (r) e comprimento de onda, para a profundidade de 10 cm.

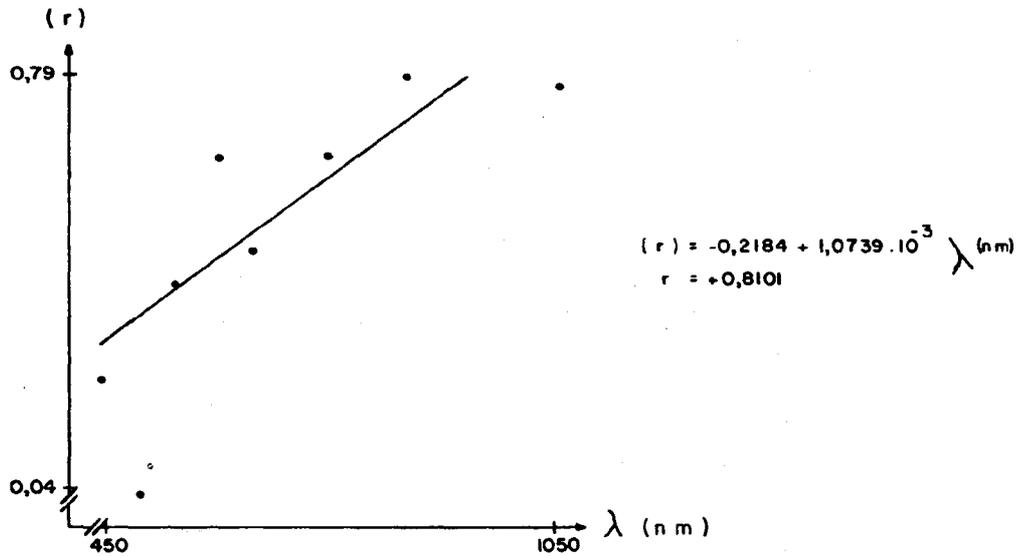


Fig. 16 - Gráfico representativo da relação entre os valores absolutos dos coeficientes de determinação (r) e comprimento de onda, para a profundidade de 20 cm.

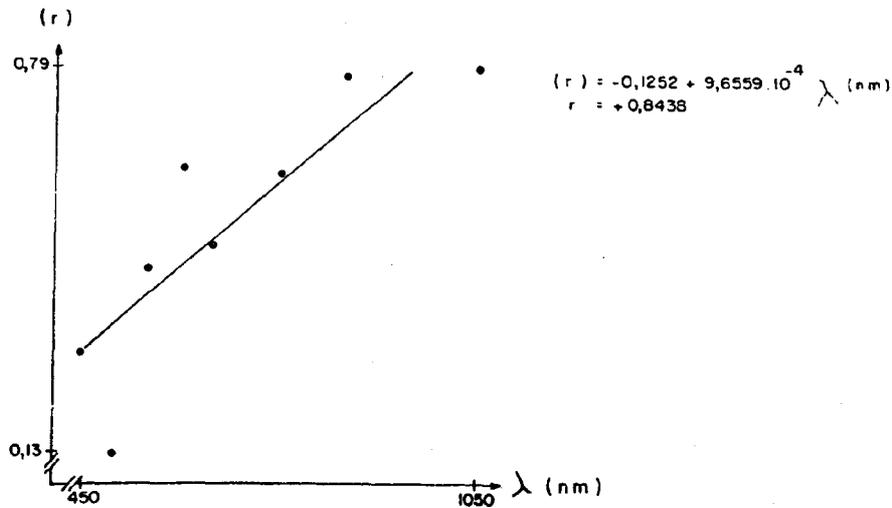


Fig. 17 - Gráfico representativo da relação entre os valores absolutos dos coeficientes de determinação ( $r$ ) e comprimento de onda, para a profundidade de 30 cm.

Para melhor visualização desses resultados, elaborou-se também a Tabela 2, que contém

os coeficientes de determinação para essas relações.

TABELA 2

COEFICIENTES DE DETERMINAÇÃO ( $r$ ) OBTIDOS DA RELAÇÃO ENTRE [REFLECTÂNCIA ( $\rho$ ) E UMIDADE ( $U$ )] E COMPRIMENTO DE ONDA, PARA AS 5 PROFUNDIDADES ANALISADAS

Prof. (cm)	2	5	10	20	30
$r$	0,7638	0,8015	-0,3888	0,8101	0,8438

Pode-se verificar que, a não ser para a profundidade de 10 cm, não houve uma variação sensível nos coeficientes de determinação ( $r$ ) para as várias profundidades. Isto ratifica a hipótese da homogeneidade de distribuição da umidade até 30 cm de profundidade para o solo em estudo.

Em todas as análises efetuadas houve discrepâncias com relação à profundidade de 10 cm. Inicialmente essas discrepâncias foram associadas à possível ocorrência de alguma camada diferenciada a 10 cm, em relação às outras profundidades analisadas. Tal hipótese seria contrária à anteriormente aventada da uniformidade de distribuição da umidade. Além disso, os índices observados para as profundidades inferiores obedecem à tendência normal, o que é mostrado pelos respectivos coeficientes de determinação. Diante do exposto, acredita-se mais que tenha havi

do algum problema na amostragem que na existência de uma camada diferenciada.

Após esta análise pôde-se perceber, também, que se torna necessária a continuação desse tipo de estudo, isto é, da tentativa de avaliação de umidade nas camadas superficiais de solos através de medidas de reflectância. Mesmo que os coeficientes encontrados não tenham sido tão altos, são suficientemente encorajadores para a continuidade do estudo em outras condições de solo, controlando-se outros parâmetros influenciadores de sua reflectância a fim de se viabilizar o uso de técnicas de sensoriamento remoto para avaliar a umidade dos solos.

É importante ressaltar que, mesmo contando-se com um número reduzido de observações, optou-se pela execução de uma análise de regressão a fim de observar melhor as tendências das relações entre umidade e reflectância; isto porque apenas através de diagramas de dispersão, ou mesmo de tabelas de agrupamento dos dados, tal objetivo poderia não ser alcançado.

Esse experimento serviu também para que se pudessem fazer observações quanto a procedimentos úteis em outros experimentos que sigam a mesma linha de abordagem, ou seja, verificação da possibilidade de avaliação da umidade do solo pela utilização de dados de reflectância. Entre esses procedimentos pode-se citar a necessidade de execução de um maior número de repetições de observações, de modo que seja possível uma análise estatística melhor assentada; a análise de alguns parâmetros do solo como textura, estrutura, etc, para que eventuais discrepâncias observadas possam ser melhor explicadas.

#### 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através dos dados obtidos e das análises efetuadas e sob as condições em que o presente experimento foi realizado, pôde-se chegar às seguintes afirmações:

- Relacionando-se umidade do solo com a reflectância, os coeficientes de correlação aumentam dos menores para os maiores comprimentos de onda para a região espectral utilizada

- De maneira geral, a reflectância está inversamente relacionada com o conteúdo de umidade do solo.

- Há uma razoável correlação entre umidade e reflectância, mesmo em algumas camadas superficiais do solo estudado, exceto para 10 cm de profundidade.

- Dos comprimentos de onda analisados, os incluídos no intervalo de 750 a 1050 nm foram os que apresentaram os maiores coeficientes de correlação, bem como maior homogeneidade desses valores em todas as profundidades, exceto a 10 cm de profundidade.

- Esse tipo de abordagem da utilização de técnicas de sensoriamento remoto abre perspectivas para estudos posteriores desse e de outros parâmetros do solo, em condições brasileiras.

#### 6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (CPAC) o apoio material e aos seus pesquisadores, Eng<sup>os</sup>. Agr<sup>os</sup>. Ariovaldo Luchiarí Júnior, Luiz Joaquim Castelo Branco Carvalho e Michikazu Fukuhara, o incentivo e discussões.

#### 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ÅNGSTROM, A. The albedo of various surfaces of ground. *Geografiska Annaler*, 7 (sf): 323 - 342, 1925.
- BECK, R.H.; ROBINSON, B.F.; MCFEE, W.H.; PETERSON, J.B. *Spectral characteristics of soils related to the interaction of soil moisture, organic carbon and clay content*. West Lafayette, In, Purdue Univ., LARS, 1976. (LARS Information Note 081176).
- BOWERS, S.A.; HANKS, R.J. Reflectance of radiant energy from soils. *Soil Science*, 100 (sf) : 130-138, 1965.
- COULSON, K.L.; REYNOLDS, D.W. The spectral reflectance of natural surfaces. *Journal of Applied Meteorology*, 10 (sf): 1285-1295, 1971.
- DOLL, B. *The potencial use of polarized reflected light in the remote sensing of soil moisture*. Fort Monmouth, N.J., Army Electronics Command, 1973. (Report NO. ECOM 5501).
- EMORI, Y.; YASUDA, Y.; FUKUHARA, M.; HIRATA, K. Trial production portable spectroradiometer. *Proceedings of the Japan Society of Photogrammetry*. Tokio, 1972. p. 19-22.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAS AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). *Levantamento de reconhecimento dos solos do Distrito Federal*. Brasília, Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, 1978. 455p. (Boletim Técnico n<sup>o</sup> 53).
- IDSO, J.B.; JACKSON, R.D.; REGINATO, R.J.; KIMBALL, B.A.; NAKAYAMA, F.J. The dependence of bare soil albedo on soil water content. *Journal of Applied Meteorology*, 14 (sf): 109-113, 1975.
- KRISTOF, S.J.; BAUMGARDNER, M.F.; WEISMILLER, R.A.; DAVIS, S. Application of multispectral reflectance studies of soils: Pre-Landsat. In: Annual Symposium Machine Processing of Remotely Sensed Data and Soil Information Systems and Remote Sensing and Soil Survey, 6., West Lafayette, In, 1980. *Proceedings*. West Lafayette, In, Purdue University, 1980, p. 52-61.
- LABORATORY FOR APPLICATIONS OF REMOTE SENSING (LARS). *Remote Sensing of Agriculture*; annual report. West Lafayette, In, Purdue University, Agricultural Experimental Station, 1970. v.4, p.82-83. (Agricultural Experiment Station Bulletin 873).

MYERS, V.I.; ALLEN, W.A. Electrooptical remote sensing methods as non destructive testing and measuring techniques in agriculture. *Applied Optics*, 7 (9): 1819-1838, Sept. 1968.

NAGLER, K.M.; SOULES, S.C. Cloud photography from the Gemini spacecraft. *Bulletin of American Meteorological Society*, 46 (sf): 522-527, 1965.

PETERSON, J.B.; ROBINSON, B.F.; BECK, R.H. Predictability of change in soil reflectance on wetting. In: Annual Symposium Machine Processing of Remotely Sensed Data, 5., West Lafayette, In, 1979. *Proceedings*. West Lafayette, In, Purdue University, 1980, p.264-268.

PLANET, W.G. Some comments on reflectance measurements of wet soils. *Remote Sensing of Environment*, 1 (2): 127-129, 1970.

ROGERS, A.F.; KERR, P.F. *Optical mineralogy*. New York, McGraw-Hill, 1942.

SCHMUGGE, T.; GLOERSEN, P.; WILHEIT, T.; GEIGER, F. Remote Sensing of soil moisture with microwave radiometers. *Journal Geophysical Research*, 79 (sf): 317-323, 1974.

SKIDMORE, E.L.; DICKERSON, J.D.; SCHIMMELPFENNIG, H. Evaluating surface soil water content by reflectance measurement. *Apud Agronomy Journal*, 1973. Resumo.

SPIEGEL, M.R. *Estatística*. São Paulo, McGraw-Hill, 1972. 580 p.

STONER, E.R.; BAUMGARDNER, M.F.; BIEHL, L. L.; ROBINSON, B.F. *Atlas of soil reflectance properties*. West Lafayette, In, Purdue University, Agricultural Experiment Station, 1980. 75p. (Research Bulletin 962).

TULLER, S.E.; VARHEUKLON, T. The relation of net and solar radiation over bare sand surfaces. *Achiv fuer Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie*, B 20 (sf): 179-190, 1972.