

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

**AVALIAÇÃO DA COR E COMPORTAMENTO
ESPECTRAL DE ALGUMAS CLASSES DE
SOLOS DO RIO GRANDE DO SUL**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

MÁRCIO RAMOS BOTELHO

1960

**Santa Maria, RS, Brasil
2005**

**AVALIAÇÃO DA COR E COMPORTAMENTO
ESPECTRAL DE ALGUMAS CLASSES DE
SOLOS DO RIO GRANDE DO SUL**

por

MÁRCIO RAMOS BOTELHO

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração em Processos Físicos e Morfogenéticos do Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de
Mestre em Ciência do Solo

Orientador: Prof. Ricardo Simão Diniz Dalmolin

**Santa Maria, RS, Brasil
2005**

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**AVALIAÇÃO DA COR E COMPORTAMENTO ESPECTRAL
DE ALGUMAS CLASSES DE SOLOS DO RIO GRANDE DO SUL**

elaborada por
Márcio Ramos Botelho

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Ciência do Solo

COMISSÃO EXAMINADORA:

Ricardo Simão Diniz Dalmolin, Dr.
(Presidente/Orientador)

Antonio Carlos de Azevedo, Dr. (UFSM)

Waterloo Pereira Filho, Dr. (UFSM)

Santa Maria, 23 de fevereiro de 2005.

Botelho, Márcio Ramos, 1978-

B748a

Avaliação da cor e comportamento espectral de algumas classes de solos do Rio Grande do Sul / por Márcio Ramos Botelho ; orientador Ricardo Simão Diniz Dalmolin. – Santa Maria, 2005.

103 f . ; il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, 2005.

1. Ciência do solo 2. Solo 3. Cor do solo 4. Sensoriamento remoto 5. Espectrorradiometria I. Dalmolin, Ricardo Simão Diniz, orient. II. Título

CDU: 631.4

Ficha catalográfica elaborada por
Luiz Marchiotti Fernandes – CRB 10/1160
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Rurais/UFSM

© 2005

Todos os direitos autorais reservados a Márcio Ramos Botelho. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita com autorização por escrito do autor.

Endereço: Rua Dr. Ney Britto, n. 25, Bairro Leonidas, Rio Grande, RS, 96203-330

Fone (0xx)53 2302972; End. Eletr: tchemarcio@hotmail.com

Ofereço em especial a dois amigos:
Luiz Alberto e **Cleusa**, que
orgulhosamente chamo de pai e
mãe!

Dedico com muito amor à **Karen Sanchez**.
Continue sendo maravilhosa!

“Quem anda sempre em caminho reto e plano terá a impressão de não ter saído do lugar. São os obstáculos das subidas e descidas que, superados, nos dão a noção da distância percorrida”.

(Anair Weirich)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, que permitiu-me cumprir mais uma etapa da minha vida, por ajudar-me a enfrentar e superar todas as dificuldades encontradas e por colocar pessoas especiais que, de qualquer forma, ajudaram a construir este trabalho, as quais destaco:

Ao professor Ricardo Simão Diniz Dalmolin, pela amizade, orientação, ensinamentos e por acreditar em meu trabalho.

Ao professor Antonio Carlos de Azevedo, pela amizade, pelos conhecimentos transmitidos e pelo auxílio nos trabalhos de difratometria de raios-X.

Ao professor Auri Brackmann, pelo auxílio prestado na ocasião de ceder o colorímetro, assim como a professora Marta W. do Canto e as mestrandas Liana Canterli e Nívia Streit, do PPG em Ciência e Tecnologia de Alimentos, que se dispuseram a ajudar nas análises colorimétricas.

Aos alunos de iniciação científica Rodrigo, Wilson, Pablo, Lisandra, Adão e Darian pela amizade, convívio e ajuda nos trabalhos de laboratório.

Ao professor Jaime Antônio de Almeida do Departamento de Solos da UDESC, por viabilizar o uso do Difratômetro de Raios-X e pela acolhida em Lages.

Ao professor Waterloo Pereira Filho, cuja ajuda foi imprescindível nos trabalhos de espectrorradiometria.

Ao INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), especialmente à professora Elizabete Caria, por emprestar o laboratório de radiometria para a determinação do comportamento espectral dos solos, e ao Leandro, pelo auxílio no manejo das amostras.

Aos colegas Fabrício Pedron e Paulo Mello (Bafo), pela amizade e momentos de descontração, tornando mais leve a rotina dos meses de mestrado.

A Banca Examinadora, composta pelos professores Ricardo Simão Diniz Dalmolin, Antonio Carlos de Azevedo e Waterloo Pereira Filho, que se dispuseram a analisar este trabalho.

Ao amigo Eduardo Vasconcellos, pelo incentivo a estudar na UFSM e sem o qual não conheceria Santa Maria.

Aos amigos Sônia e Severo, pela amizade, pela acolhida e pelos momentos de alegria.

Aos amigos Lucas e Luís Carlos, pelo convívio, descontração e pela troca de conhecimentos.

Aos funcionários Finamor, Paulinho, Flávio, Gladis e Tarcisio, pelo convívio, os quais também contribuíram para o desenvolvimento dessa dissertação.

Ao curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo pela oportunidade de cursar o mestrado.

Aos colegas e professores do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo pelo convívio e companheirismo ao longo do curso.

A CAPES, pela concessão da bolsa de mestrado.

A Planalto, por proporcionar tantas viagens de idas e vindas entre os municípios de Rio Grande e Santa Maria.

Aos meus pais, Luiz Alberto e Cleusa e minha irmã Simone, os quais não esqueci apesar da distancia, pelo carinho e por estarem sempre ao meu lado.

A minha noiva Karen Sanchez, grande amor da minha vida, por estar ao meu lado em todos os momentos, pelo carinho, compreensão, enfim..., por tornar a minha vida mais bela.

Aos meus sogros José Roberto e Helena Teresinha (*in memorian*), pelo apoio, carinho, e por todos os momentos vividos.

Enfim, a todos aqueles que contribuíram para a execução deste trabalho, agradeço!

Muito Obrigado!

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo
Universidade Federal de Santa Maria

AVALIAÇÃO DA COR E COMPORTAMENTO ESPECTRAL DE ALGUMAS CLASSES DE SOLOS DO RIO GRANDE DO SUL

Autor: Márcio Ramos Botelho

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Simão Diniz Dalmolin

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 23 de fevereiro de 2005.

A cor do solo é uma característica facilmente determinada, através da comparação visual com a carta de Munsell e está relacionada à presença de óxidos de ferro e matéria orgânica no solo. A obtenção da cor via instrumentos como colorímetros e espectrorradiômetros tende a maior precisão por apresentar condições controladas. O objetivo do estudo 1 deste trabalho foi comparar a cor de diferentes solos do Rio Grande do Sul determinada através da carta de Munsell com as medidas feitas por colorimetria. Os coeficientes de correlação obtidos indicaram haver coerência entre as medidas de cor realizadas por diferentes observadores (carta de Munsell) e o colorímetro. A precisão dos observadores na determinação da cor para uma mesma amostra de solo foi avaliada, com menor variabilidade para o componente matiz e maior dificuldade na avaliação do croma. O colorímetro mostrou ser eficiente quando pretende-se quantificar a cor, eliminando possíveis erros psicofísicos atribuídos ao método visual. Já os radiômetros ou espectrorradiômetros captam a energia refletida pelo solo nos comprimentos de onda do visível e infravermelho do espectro eletromagnético, sendo que o resultado é um conjunto de dados numéricos ou gráficos chamados curvas espectrais. As relações existentes entre o comportamento espectral e as características específicas do solo, como textura, teor de matéria orgânica e óxidos de ferro, permitem distinguir classes de solos e muitas vezes a quantificação destas características através das curvas espectrais. O objetivo do estudo 2 foi relacionar as características físicas, químicas e mineralógicas com o comportamento espectral de diferentes classes de solos do RS no intervalo de 400 a 2500 nm do espectro óptico procurando um entendimento dos efeitos da interação espectral entre os diferentes componentes do solo. Os resultados obtidos no estudo 2 mostraram que é possível identificar e correlacionar características do solo como o teor de matéria orgânica, óxidos de ferro, cor e granulometria por meio da espectrorradiometria de solos.

Palavras-chave: Cor do solo, Espectrorradiometria, Sensoriamento remoto.

ABSTRACT

Master's Degree Dissertation
Soil Science Graduate Program
Federal University of Santa Maria

EVALUATION OF THE SOIL COLOR AND SPECTRAL BEHAVIOR OF SOME SOILS CLASSES OF THE RIO GRANDE DO SUL

Author: Márcio Ramos Botelho

Adviser: Prof. Dr. Ricardo Simão Diniz Dalmolin

Date and defense's place: Santa Maria, February 23th, 2005.

The soil color is a characteristic easily determined, through the visual comparison with the Munsell Charts and is related to the presence of iron oxide and organic matter in the soil. The obtention of the color through instruments as colorimeters and spectroradiometers tend to increase precision since are done under controlled conditions. The objective of study 1 of this work was to compare the color of different soils of the Rio Grande do Sul, determined through the Munsell Charts with the measures made by colorimetry. The coefficients of correlation obtained had indicated that coherence between the color measures carried through for different observers (Munsell Charts) and the colorimeter. The precision of the observers in the determination of the color for the same soil sample was evaluated, with lesser variability for the component shade and greater difficulty in the evaluation of chromes. The colorimeter showed to be efficient when used to quantify the color, eliminating possible psychophysical errors attributed to the visual method. Radiometers or spectroradiometers record the energy reflected from the soil in the wavelengths of visible and the infrared region of the electromagnetic specter, in a numerical or graphical data sets called spectral curves. The existing relations between the spectral behavior and the specific soil characteristics, as texture, content organic matter and iron oxides, allow distinguishing soils classes and the quantification of some characteristics through the spectral curves. The objective of study 2 was to relate the physical, chemical, and mineralogical characteristics with the spectral behavior of different soils classes of the RS in the 400 to 2500 nm interval of the optic specter to seek an agreement of the effect of the spectral interaction with the different soil components. The results obtained in study 2 had shown that it is possible to identify and to correlate the soil characteristics as the content organic matter, iron oxides, color and granulometry through the soil spectroradiometry.

Keywords: Soil color, Spectroradiometry, Remote sensing

SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO	16
2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1 Sensoriamento remoto	18
2.2 Cor do solo	19
2.2.1 Sistema Munsell	20
2.2.2 Sistemas triestímulos	21
2.3 Espectrorradiometria de solos	23
2.4 Relação entre a reflectância e as características dos solos	25
3 – ESTUDO 1: MEDIDA DA COR DO SOLO SOB DIFERENTES MODOLOGIAS: CARTA DE MUNSELL E COLORIMETRIA	31
3.1 INTRODUÇÃO	31
3.2 MATERIAIS E MÉTODOS	32
3.2.1 Solos e área de estudo	32
3.2.2 Análise granulométrica e química	32
3.2.3 Análises mineralógicas	35
3.2.4 Índices de vermelho	36
3.2.5 Colorimetria	36
3.2.6 Análises estatísticas	37
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
3.3.1 Características dos solos estudados	38
3.3.2 Mineralogia	40
3.3.3 Correlação entre as medidas de cor realizadas pelo método visual e por colorimetria	44

3.3.4 Relação da cor com as características do solo	49
3.4 CONCLUSÕES	56
4 – ESTUDO 2: COMPORTAMENTO ESPECTRAL DE SOLOS DO RIO GRANDE DO SUL	58
4.1 INTRODUÇÃO	58
4.2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	60
4.2.1 Espectrorradiometria.....	60
4.2.2 Análises estatísticas.....	61
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	62
4.3.1 Forma geral das curvas espectrais - TFSA 0-20 cm	63
4.3.2 Comportamento espectral dos solos	67
4.3.3 Correlações entre as características dos solos e a reflectância	77
4.4 CONCLUSÕES	81
5 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83
ANEXOS	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Matizes de óxidos, oxihidróxidos e hidróxidos de ferro comuns em solos	27
Tabela 2 - Classificação dos solos estudados.....	33
Tabela 3 - Granulometria, teores de matéria orgânica, ferro extraído com ditionito (Fed) e com oxalato (Feo), relação Feo/Fed e índices de vermelho.....	39
Tabela 4 - Medidas de cor dos solos estudados	45
Tabela 5 - Coeficientes de correlação para as medidas da cor realizada por comparação visual e pelo colorímetro	48
Tabela 6 - Análise da variabilidade das medidas da cor entre os observadores para uma mesma amostra de solo	49
Tabela 7 - Correlações e regressões entre as características dos solos e os componentes da cor	50

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Disposição dos componentes matiz, valor e croma no espaço de cores do sistema Munsell (Adaptado de Mathieu et al., 1998).....	20
Figura 2 - Disposição dos componentes da cor no sistema de cores L*a*b*	22
Figura 3 - Locais de coletas dos solos estudados.....	34
Figura 4 - Detalhes da determinação da cor por colorimetria: (A) colorímetro; (B) placa de calibração; (C) suporte com a fonte de iluminação e observador padrão; (D) solos nas placas de petri	37
Figura 5 - Difratomogramas da fração argila das amostras em pó para os Latossolos goethíticos LVdf1 e LBa (Radiação Co K α)	41
Figura 6 - Difratomogramas da fração argila das amostras em pó para os Latossolos hematíticos LVd1, LVd2 e LVdf2 (Radiação Co K α)	41
Figura 7 - Difratomogramas da fração argila das amostras em pó para os Argissolos PVd1 e PVd2 (Radiação Co K α).....	42
Figura 8 - Difratomogramas da fração argila das amostras em pó para o Alissolo APt e Argissolo PVd3 (Radiação Co K α).....	43
Figura 9 - Difratomogramas da fração argila das amostras em pó para os Planossolos SGe e SXe (Radiação Co K α)	43
Figura 10 - Difrátograma da fração argila da amostra em pó para o Vertissolo VEo (Radiação Co K α).....	44
Figura 11 - Relação entre o componente matiz determinado por comparação visual e por colorimetria	46
Figura 12 - Relação entre o componente valor determinado por comparação visual e por colorimetria	47
Figura 13 - Relação entre o componente croma determinado por comparação visual e por colorimetria	47
Figura 14 - Relação entre o valor Munsell e a areia para os solos, exceto LVd1 e LVd2.....	52
Figura 15 - Relação entre o valor Munsell e a argila para todos os solos	52

Figura 16 - Relação entre o valor Munsell e o Fed para os solos estudados, exceto para o LBa, LVdf1 e LVdf2.....	53
Figura 17 - Relação entre o valor Munsell e a matéria orgânica para os solos APt, LBa, LVdf2, PVd2, PVd3, SGe, SXe e VEO	54
Figura 18 - Relação entre os índices de vermelho e o matiz para todos os solos	54
Figura 19 - Relação entre os índices de vermelho e o valor para todos os solos	55
Figura 20 - Relação entre os índices de vermelho e o croma para todos os solos.....	55
Figura 21 - Detalhes da espectrorradiometria: (A) espectrorradiômetro; (B) computador que gerencia o software; (C) fonte de iluminação; (D) pistola que realiza as leituras; (E) solos nas placas de petri.	62
Figura 22 - Curvas espectrais para os solos LVd1, LVd2 e PVd1 na profundidade de 0-20 cm	64
Figura 23 - Curvas espectrais para os solos LVdf1, LVdf2 e LBa na profundidade de 0-20 cm	65
Figura 24 - Curvas espectrais para os solos APt, PVd2 e PVd3 na profundidade de 0-20 cm	66
Figura 25 - Curvas espectrais para os Planossolos (SGe e SXE) e Vertissolo (VEo) na profundidade de 0-20 cm	67
Figura 26 - Curvas espectrais para as profundidades de 0-20 e 20-40 cm (TFSA), moído e sem matéria orgânica (0-20 cm) para o solo LVd1	68
Figura 27 - Curvas espectrais para as profundidades de 0-20 e 20-40 cm (TFSA), moído e sem matéria orgânica (0-20 cm) para o solo LVd2	69
Figura 28 - Curvas espectrais para as profundidades de 0-20 e 20-40 cm (TFSA), moído e sem matéria orgânica (0-20 cm) para o solo LVdf1	69
Figura 29 - Curvas espectrais para as profundidades de 0-20 e 20-40 cm (TFSA), moído e sem matéria orgânica (0-20 cm) para o solo LBa ..	70
Figura 30 - Curvas espectrais para as profundidades de 0-20 e 20-40 cm (TFSA), moído e sem matéria orgânica (0-20 cm) para o solo LVdf2.....	72
Figura 31 - Curvas espectrais para as profundidades de 0-20 e 20-40 cm (TFSA), moído e sem matéria orgânica (0-20 cm) para o solo PVd1	72
Figura 32 - Curvas espectrais para as profundidades de 0-20 e 20-40 cm (TFSA), moído e sem matéria orgânica (0-20 cm) para o solo PVd2	73

Figura 33 - Curvas espectrais para as profundidades de 0-20 e 20-40 cm (TFSA), moído e sem matéria orgânica (0-20 cm) para o solo PVd3	73
Figura 34 - Curvas espectrais para as profundidades de 0-20 e 20-40 cm (TFSA), moído e sem matéria orgânica (0-20 cm) para o solo APt...	75
Figura 35 - Curvas espectrais para as profundidades de 0-20 e 20-40 cm (TFSA), moído e sem matéria orgânica (0-20 cm) para o solo SGe .	75
Figura 36 - Curvas espectrais para as profundidades de 0-20 e 20-40 cm (TFSA), moído e sem matéria orgânica (0-20 cm) para o solo SXe..	76
Figura 37 - Curvas espectrais para as profundidades de 0-20 e 20-40 cm (TFSA), moído e sem matéria orgânica (0-20 cm) para o solo VEO..	76
Figura 38 - Relação entre a reflectância (1900 nm) e a argila para todos os solos estudados	78
Figura 39 - Relação entre a reflectância (470 nm) e o Fed para os solos, exceto LBa, LVdf1 e LVdf2	78
Figura 40 - Relação entre a reflectância (770 nm) e a matéria orgânica para os solos APt, LBa, LVdf1, PVd2, PVd3, SGe, SXe e VEO	79
Figura 41 - Relação entre a reflectância (770 nm) e o valor Munsell para todos os solos	80
Figura 42 - Relação entre a reflectância (540 nm) e o croma para os solos estudados, exceto o VEO	80

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 - Resultados das análises químicas de rotina	91
Anexo 2 - Coeficientes de correlação de Pearson para as medidas do matiz determinadas pelos observadores e pelo colorímetro	92
Anexo 3 - Coeficientes de correlação de Pearson para as medidas do valor determinadas pelos observadores e pelo colorímetro	93
Anexo 4 - Coeficientes de correlação de Pearson para as medidas do croma determinadas pelos observadores e pelo colorímetro	94
Anexo 5 - Análise da variabilidade do componente matiz para uma mesma amostra de solo	95
Anexo 6 - Análise da variabilidade do componente valor para uma mesma amostra de solo	96
Anexo 7 - Análise da variabilidade do componente croma para uma mesma amostra de solo	97
Anexo 8 - Correlação não significativa entre os teores de matéria orgânica e o valor Munsell para os solos hematíticos	98
Anexo 9 - Correlações significativas e regressões entre as características dos solos e a reflectância	99
Anexo 10 - Relação entre os teores de Fed e a reflectância (1550 nm) para todos os solos	102
Anexo 11 - Correlação e regressão entre os teores de matéria orgânica e a reflectância dos solos APt, LBa, LVdf1, PVd2, PVd3, SGe, SXe e VEO	103
Anexo 12 - Correlação e regressão entre os teores de matéria orgânica e a reflectância dos solos LVd1, LVd2, LVdf2 e PVd1	103

1- INTRODUÇÃO

A cor do solo é uma característica facilmente determinada, sendo amplamente utilizada para identificar e descrever os solos no campo. A cor está relacionada à presença de óxidos de ferro e matéria orgânica, e pode informar sobre propriedades importantes do solo como composição, aeração e drenagem.

A cor do solo é determinada por comparação visual utilizando a carta de Munsell, onde determina-se o matiz (comprimento de onda da luz), valor (brilho ou luminosidade) e croma (intensidade ou pureza da cor em relação ao cinza). Este sistema está baseado na percepção visual, sendo utilizado mundialmente pelos pedólogos devido a sua rápida e fácil aplicação em trabalhos de campo. A interpretação da cor por comparação visual depende da luz incidente, da percepção do observador, assim como da energia refletida pelo solo. A cor obtida com instrumentos de medida via sensoriamento remoto (colorímetros e espectrorradiômetros) também depende da luz incidente e de características que irão aumentar ou diminuir a reflectância do solo, com tendência a maior precisão, por apresentarem condições controladas.

Os colorímetros possuem um sensor que quantifica a energia refletida, resultante da interação da luz com o solo, sendo usados os valores triestímulos propostos pela CIE (Comisión Internationale L'Eclairage). Estes valores triestímulos representam a natureza da percepção humana das cores e constituem três eixos imaginários (X, Y, Z) representando as cores primárias do espectro eletromagnético (vermelho, verde e azul, respectivamente). O sistema de cores $L^*a^*b^*$, proposto pela CIE em 1976, estabelece coordenadas uniformes no espaço tridimensional de cor, sendo que L é a luminosidade e a e b contêm a informação do croma. O a é um eixo que varia do vermelho ao verde e b um eixo que varia do amarelo ao azul.

Os espectrorradiômetros captam a energia refletida pelo solo nos comprimentos de onda visível e infravermelho do espectro eletromagnético, fornecendo um conjunto de dados numéricos ou gráficos, conhecidos como curvas espectrais. A aplicação da espectrorradiometria no estudo dos solos é relativamente recente, sendo que o entendimento das relações existentes entre o comportamento

espectral e características do solo, como textura, teor de matéria orgânica, mineralogia e óxidos de ferro, podem auxiliar na identificação e muitas vezes na quantificação destas características através da análise das curvas espectrais.

Nesse contexto, este trabalho divide-se em dois estudos, ambos realizados em condições de laboratório: o propósito do estudo 1 foi realizar as análises químicas, granulométrica e mineralógica de classes de solos do RS, determinar a cor dos solos por comparação visual (carta de Munsell) e por colorimetria e correlacionar a cor com as características do solo. O estudo 2 teve como objetivo caracterizar o comportamento espectral dos diferentes tipos de solos no intervalo de 400 a 2500 nm do espectro óptico e correlacionar a reflectância dos solos com seus constituintes.

2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Sensoriamento remoto

Sensoriamento remoto é um conjunto de técnicas relacionadas com a coleta e armazenamento das informações sobre determinado objeto através de sensores, utilizando a energia radiante chamada radiação eletromagnética (Florenzano, 2002).

O termo sensoriamento refere-se ao modo de obtenção dos dados (por meio de sensores), e remoto (distante) significa que a obtenção é feita à distância, ou seja, sem que haja o contato direto entre o sensor e o objeto. Os objetos de interesse, como vegetação, áreas agrícolas, solos, formações rochosas, corpos d'água e áreas urbanas são genericamente denominados de alvos. As informações são obtidas basicamente através do estudo da interação da radiação eletromagnética, gerada por fontes naturais, como o Sol ou por fontes artificiais, como um radar ou uma lâmpada, com estes alvos (Rosa, 1995; Florenzano, 2002).

O fundamento do sensoriamento remoto está na interação da energia eletromagnética com a matéria que constitui os objetos, uma vez que esta energia proveniente do alvo conterá informações sobre suas propriedades espectrais: reflectância, absortância e transmitância. Os alvos interagem de forma distinta em relação à energia iluminante, sendo que alguns absorvem ou refletem maiores ou menores quantidades de radiação eletromagnética do que outros, em diferentes regiões do espectro (Demattê, 1995; D'Arco et al., 2003; Alvarenga et al., 2003).

A energia refletida ou emitida pelos alvos é captada e registrada por sensores remotos instalados em nível orbital (satélites artificiais), aéreo (helicópteros e aviões) e terrestre (espectrorradiômetros), que operam em diferentes regiões do espectro. Um exemplo de sensor natural é o olho humano, que responde apenas à luz ou energia refletida na região do visível (Florenzano, 2002).

2.2 Cor do solo

O solo é um corpo natural que possui sua própria organização interna e história de formação, compreendendo um sistema dinâmico e aberto, composto por material sólido, líquido e gasoso, encontrado em diferentes posições na paisagem, resultante da ação do clima e dos organismos vivos agindo sobre o material de origem ao longo do tempo e sujeito a modificações pelo homem (Jenny, 1941).

A aparência de um solo no perfil é dada por suas características morfológicas, as quais podem ser visíveis a olho nu ou perceptíveis por manipulação e estão associadas às propriedades físicas, químicas e mineralógicas do solo.

No exame de um perfil de solo, a cor é uma das características morfológicas que merece destaque, pois é facilmente perceptível e determinável, sendo por isso utilizada para diferenciar classes de solos nos sistemas de classificação, permitindo também a avaliação de propriedades relacionadas com a composição, aeração e drenagem do solo. Segundo Baumgardner et al. (1985), a cor do solo pode ser designada como a reflectância na região do visível, do espectro eletromagnético.

Em termos de composição, a importância do estudo da cor do solo reside no fato de que a matéria orgânica e os óxidos de ferro estão associados a ela, sendo a cor uma referência obrigatória em qualquer descrição de perfil e útil para fazer interpretação sobre os solos (Post et al., 1993; Barrón et al., 2000).

Geralmente, as cores escuras são atribuídas à presença de matéria orgânica nos horizontes superficiais, enquanto as cores vermelhas, amarelas e suas variações estão associadas à presença de óxidos de ferro. Cores acinzentadas estão associadas a condições de má drenagem. Solos com cores claras e esbranquiçadas geralmente são ricos em quartzo e indicam a ausência de matéria orgânica e óxidos de ferro. Na literatura são encontrados diversos trabalhos que mostram a influência dos óxidos de ferro (Kämpf e Schwertmann, 1983; Schwertmann, 1993; Campos, 2001) e da matéria orgânica (Fernandez et al., 1988; Schulze et al., 1993) sobre a cor do solo.

Convencionalmente, a cor do solo é determinada através da comparação visual entre uma amostra de solo e os padrões de cores encontrados na caderneta de Munsell. Este método é utilizado mundialmente pelos pedólogos devido a sua rápida e fácil aplicação em trabalhos de campo.

2.2.1 Sistema Munsell

O sistema Munsell está fundamentado nos princípios da percepção visual, onde a cor é definida em três componentes: matiz, valor e croma.

O espaço de cores do sistema Munsell está representado por um sólido tridimensional, ilustrando o arranjo dos componentes da cor, conforme a figura 1. O matiz corresponde ao comprimento de onda da luz e denota as cores principais do espectro visível em função de uma escala radial: vermelho (R), amarelo (Y), verde (G), azul (B) e violeta (P), somados a cinco cores intermediárias a estes comprimentos de onda. Cada matiz possui uma escala numérica de 10 unidades que representam variações específicas do comprimento de onda (exemplo: 2,5R, 5R, 7,5R e 10R). O valor refere-se ao brilho ou tonalidade da cor em uma escala que varia verticalmente de 0 (preto absoluto) a 10 (branco absoluto). O croma é a pureza relativa do espectro de cores em relação ao cinza, variando numa escala de 0 a 20 (Post et al., 1993; Torrent e Barrón, 1993; Mattikalli, 1997; Mathieu et al., 1998).

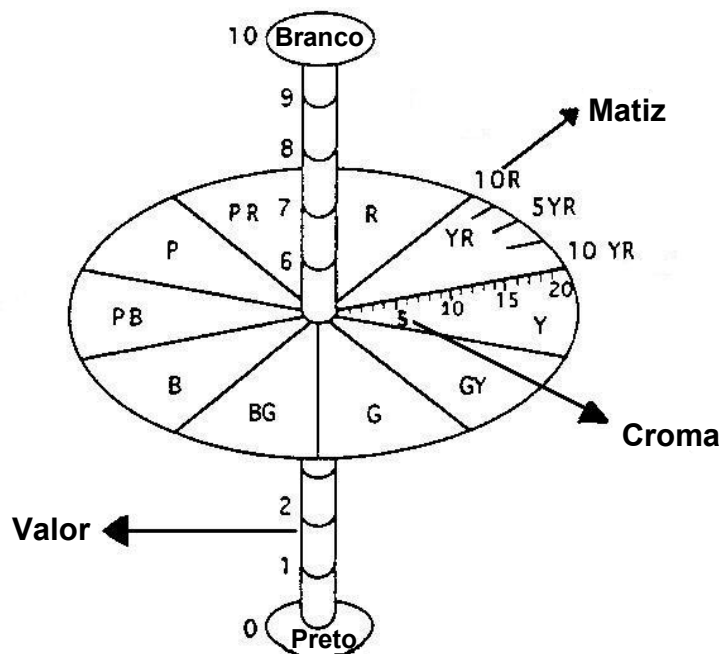


Figura 1 - Disposição dos componentes matiz, valor e croma no espaço de cores do sistema Munsell (Adaptado de Mathieu et al., 1998)

Segundo Melville e Atkinson (1985), as características da iluminação incidente, percepção do observador e energia refletida pela superfície do objeto são os fatores que influenciam a interpretação da cor pelo olho humano.

Como na determinação da cor do solo por comparação visual existem variações nas condições de iluminação e a percepção visual depende de cada observador, surgem algumas limitações do sistema Munsell. Entre estas limitações destaca-se a dificuldade em selecionar a página certa do matiz; a determinação de cores que situam-se entre duas páginas, relacionado a grande distância entre duas páginas do matiz e obrigando a interpolações nem sempre adequadas; e o caráter subjetivo da carta de Munsell, em função de aspectos psico-físicos pessoais (Scheinost e Schwertmann, 1999; Barrón e Torrent, 2000).

2.2.2 Sistemas triestímulos

Estes sistemas especificam a cor numericamente a partir de valores triestímulos visuais. Os valores triestímulos básicos foram propostos pela CIE em 1931 para simular a percepção visual por um olho humano padronizado, utilizando as cores primárias do espectro eletromagnético (HunterLab, 1996a).

De acordo com MINOLTA (1998), os valores triestímulos são três eixos imaginários (X , Y , Z) que representam as cores primárias do espectro eletromagnético (vermelho, verde e azul, respectivamente) e a natureza triestímulo da percepção humana das cores.

Os valores triestímulos X , Y e Z são calculados por integração da curva de reflectância, considerando o comprimento de onda da radiação, a fonte de iluminação e a reflectância espectral da amostra, segundo equações padronizadas pela CIE e podem ser transformados em diversos sistemas de cores, como o $L^*a^*b^*$ e Munsell, manualmente ou através de softwares adequados.

Em 1976, a CIE definiu o sistema de cores $L^*a^*b^*$ ou CIELAB. O $L^*a^*b^*$ é um sistema de cores que emprega os valores L^* , a^* e b^* em um espaço tridimensional com três eixos ortogonais (Torrent e Barrón, 1993; HunterLab, 1996b; MINOLTA, 1998; Barrón et al., 2000), sendo que L representa a luminosidade e as coordenadas a e b contêm a informação do croma. O a é um eixo que varia do vermelho ao verde e b um eixo que varia do amarelo ao azul, conforme a figura 2.

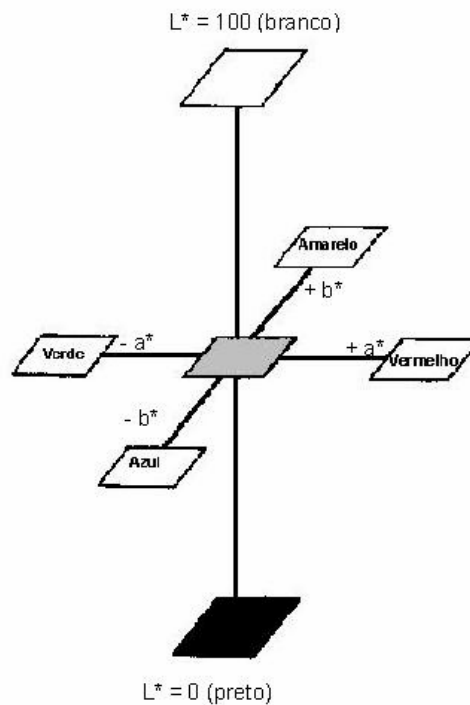


Figura 2 - Disposição dos componentes da cor no sistema de cores $L^*a^*b^*$

Baseado nestes princípios, vários trabalhos têm empregado instrumentos de medida via sensoriamento remoto (colorímetros e espectrorradiômetros) para quantificar a cor do solo. Scheinost e Schwertmann (1999) discriminaram com precisão a cor de amostras naturais e sintéticas de hidroxissulfatos e óxidos de ferro, medidas com um colorímetro CR-300, utilizando os valores triestímulos X, Y e Z, posteriormente convertidos para os sistemas $L^*a^*b^*$ e Munsell.

Fernandez e Schulze (1987), utilizando um espectrofotômetro, calcularam os valores triestímulos a partir do espectro de reflectância para avaliar a cor do solo e constataram haver vantagens em exatidão e precisão em relação ao método visual, permitindo quantificar pequenas diferenças de cor nos solos, as quais são de difícil detecção quando utiliza-se apenas o recurso do olho humano.

Post et al. (1993) efetuaram análises da cor do solo para amostras secas e úmidas utilizando um colorímetro modelo CR-200 e compararam estas medidas com determinações da cor feita por diferentes observadores através da carta de Munsell. Neste procedimento, ocorreram divergências entre as medidas da cor realizadas pelo método visual e pelo colorímetro. Apesar das diferenças nas medidas da cor, estes autores mostraram que o colorímetro possui grande precisão e rapidez para

quantificar a cor, sugerindo o uso deste equipamento para medir a cor do solo tanto no campo como no laboratório, além de auxiliar no treinamento e na avaliação da cor pelos pedólogos. A precisão dos observadores na determinação da cor do solo também foi avaliada individualmente através de análises estatísticas, com uma concordância de média de 71% entre os pedólogos quando considerado somente um único componente da cor e uma concordância de 52% na interpretação da cor para a mesma amostra de solo.

Campos (2001) avaliou o comportamento de observadores na determinação do matiz para diferentes solos do estado de São Paulo, comparando as medidas de cor obtidas pelo método visual e pelo colorímetro. Houve afinidades e disparidades entre as medidas de matiz realizadas por cada observador e pelo colorímetro, confirmando o caráter subjetivo atribuído às particularidades de cada observador, podendo influenciar na classificação de solos. O uso de equipamentos que eliminem a subjetividade nas determinações da cor do solo, como colorímetros e radiômetros é proposto como nova metodologia em laboratórios de análises de solos, visando o ganho em exatidão, eliminando a possibilidade de erros na leitura da cor do solo.

Post et al. (1994) determinaram a relação entre a notação Munsell (matiz, valor e croma) obtida por comparação visual e por colorimetria e as características espectrais do sistema Landsat. O matiz e o valor apresentaram as melhores correlações na região do visível e ainda nas bandas de 800 a 1100 nm, do infravermelho próximo.

2.3 Espectrorradiometria de solos

A espectrorradiometria de reflectância é uma técnica de sensoriamento remoto que registra o fluxo de radiação eletromagnética refletida por objetos em diferentes comprimentos de onda (Dalmolin et al., 2005). A reflectância do alvo é medida de maneira contínua ao longo do espectro eletromagnético, fornecendo um conjunto de dados numéricos ou gráficos, conhecidos como curvas ou assinaturas espectrais (Novo, 1992; Meneses, 2001). A medida de reflectância depende da energia eletromagnética incidente sobre os objetos, sendo que Stoner e Baumgardner (1986) expressam esta relação através da equação $R\lambda = I\lambda - (A\lambda + T\lambda)$, onde R compreende a reflectância do alvo em um determinado comprimento de onda (λ), I é a energia incidente, A é a energia absorvida e T é a energia transmitida.

Tanto os solos, como a vegetação e a água possuem padrões próprios de resposta a interações com a energia eletromagnética, propiciando a possibilidade de obter-se informações sobre os mesmos através de sensores colocados em plataformas remotas.

Como os objetos possuem propriedades de reflectância diferentes, eles podem ser identificados. Contudo, os valores de reflectância em cada comprimento de onda dependem da composição física e química do objeto, sendo possível estudar as relações entre as propriedades espectrais dos alvos e as características dos mesmos através da sua reflectância.

O uso da espectrorradiometria no estudo dos solos é relativamente recente, sendo a maior parte da literatura publicada a partir da década de setenta. De acordo com Dalmolin et al. (2005), o interesse de pesquisadores pelo estudo do comportamento espectral dos solos no Brasil vem crescendo desde a década de 80, sendo ainda uma linha de pesquisa recente.

Madeira Netto (2001) comenta que a importância da espectrorradiometria de solos, tanto em condições de campo quanto em laboratório, pode auxiliar na interpretação das imagens de satélite, visando diferenciar e quantificar os tipos de solos, sua composição mineral e orgânica e propriedades texturais por meio das curvas de reflectância. O estudo da espectrorradiometria é estimulado à medida que são desenvolvidos sensores remotos a bordo de satélites capazes de medir a energia radiante refletida pelos alvos em amplos comprimentos de onda e com alta resolução espectral.

Trabalhos de Stoner et al. (1980), Coleman e Montgomery (1987), Demattê e Garcia (1999) e Formaggio e Epiphanyo (2001) evidenciam a aplicação prática dos dados espectrais de solos, que reside no fato de predizer algumas características do solo, como a granulometria, teor de matéria orgânica e óxidos de ferro, umidade e mineralogia através da correlação entre as particularidades das curvas espectrais e os constituintes do solo.

Demattê (2002) verificou a discriminação de solos através da avaliação espectral descritiva, identificando diferenças na forma geral das curvas, intensidade das bandas de absorção e tendências de angulação. Dalmolin (2002) encontrou correlações significativas entre a reflectância do solo e propriedades como a granulometria, teor de óxidos de ferro e matéria orgânica para diferentes Latossolos,

constatando o potencial da espectrorradiometria para identificar as características referidas.

Demattê et al. (2001) avaliaram as técnicas de sensoriamento remoto no mapeamento de solos, comparando mapas obtidos por fotografias aéreas e cartas planialtimétricas com dados espectrais obtidos em laboratório. A avaliação das informações espectrais pareceu ser uma ferramenta útil no auxílio em levantamentos de solos em níveis próximos ao detalhado, uma vez que cada classe de solo possui uma assinatura espectral diferente, possibilitando a discriminação de solos.

Por outro lado, problemas podem ocorrer ao cruzar dados espectrais obtidos em condições de laboratório com as imagens obtidas por sensores orbitais. Entre eles está o fato de não existir um padrão de referência para calibração de reflectância com imagens orbitais (Stoner et al., 1991) e a complexidade natural das relações entre as propriedades dos solos que afetam a reflectância de maneira diferenciada em várias regiões do espectro óptico (Demattê, 1995). Apesar disso, Dalmolin et al. (2005) comentam que esta ferramenta tem tido importância crescente na pedologia.

2.4 Relação entre a reflectância e as características dos solos

Os fatores que influenciam o comportamento espectral dos solos, quando estudados em condições de laboratório, são analisados a seguir.

A composição e o conteúdo da matéria orgânica no solo são conhecidos por influenciar a reflectância do solo, tendo efeito na forma da curva espectral na região de 400 a 2500 nm do espectro eletromagnético. De modo geral, a reflectância do solo diminui com o aumento da matéria orgânica em todo o espectro óptico (Henderson et al., 1989; Coleman et al., 1991).

Fernandez et al. (1988) correlacionaram a cor do solo com os teores de matéria orgânica para os horizontes Ap e B de Alfisols e Molisols localizados em duas toposequências. Este estudo revelou que os componentes valor e croma da notação Munsell possuem correlações significativas com a matéria orgânica do solo, e que o aumento nos teores de matéria orgânica é inversamente proporcional ao aumento do valor e do croma.

Schulze et al. (1993) também estudaram a influência da matéria orgânica na cor do solo enfocando o horizonte Ap dos solos de diferentes áreas geográficas de

Indiana – EUA. As medidas de cor foram obtidas em laboratório com um espectrofotômetro, em que os valores triestímulos foram calculados e posteriormente convertidos para a notação Munsell, mostrando ser possível correlacionar os teores de matéria orgânica com o componente valor da carta de Munsell. Houve decréscimo do valor com o incremento da matéria orgânica, separando solos de uma determinada paisagem. Por outro lado, estes autores não encontraram correlações entre o valor e a matéria orgânica ao considerar todos os solos da área em estudo. Ao contrário de Fernandez et al. (1988), estes autores não encontraram correlações entre o croma e a matéria orgânica do solo.

Baumgardner et al. (1970) mostram o efeito de máscara da matéria orgânica nas feições espectrais causadas por outros componentes do solo ao estudarem solos de Indiana (EUA) com quantidades de matéria orgânica superiores a 2%.

Galvão e Vitorello (1998) demonstraram que a matéria orgânica oblitera a influência do ferro na reflectância e na cor, principalmente para solos com teores de matéria orgânica superiores a 1,7%, sendo esta influência mais forte na região do visível. Estes autores observaram feições mais definidas no intervalo do visível e na região de 900 nm, ocasionada pelo ferro, com a diminuição nos teores de matéria orgânica.

A seleção das bandas para predizer a matéria orgânica do solo varia com cada pesquisador, sendo as regiões do visível e do infravermelho próximo, entre 500 e 1100 nm, as melhores para discriminar os níveis de matéria orgânica no solo. Krishnan et al. (1980) relatam que os comprimentos de onda na região do visível, especialmente a faixa entre 564 e 623 nm, oferecem as melhores informações, quando comparado ao infravermelho, para predizer os teores de matéria orgânica. O coeficiente máximo de correlação obtido para estes modelos foi de 0,98 e 0,87 para as bandas na região de 623 e 564 nm e para o infravermelho, respectivamente. Henderson et al. (1992) consideraram a região do visível entre 425 e 695 nm como a melhor para prever os teores de matéria orgânica em solos formados a partir do mesmo material de origem.

Coleman e Montgomery (1987) elegeram a região do infravermelho próximo entre 760 e 900 nm como a mais importante para predizer o conteúdo de matéria orgânica do solo, ao estudarem Alfisols e Vertisols do Alabama (EUA) e utilizando um espectrorradiômetro de campo. Posteriormente, Coleman et al. (1991) constataram que o conteúdo de matéria orgânica foi melhor estimado nas faixas

espectrais de 520 a 600 nm (verde), 1550 a 1750 e 2030 a 2350 nm (infravermelho médio) e 10400 a 12500 nm (infravermelho termal), também com um radiômetro de campo.

Os óxidos de ferro são comuns em solos e abrangem vários tipos de minerais, cuja formação é condicionada por condições pedoambientais específicas. Apresentam vasta amplitude de cor segundo a carta de Munsell (Tabela 1), imprimindo colorações típicas aos solos pelo seu forte poder pigmentante, mesmo quando presente em pequenas concentrações. Podem estar distribuídos homogeneamente no perfil ou localizados na matriz do solo sob a forma de mosqueados, ferricretes, mosqueados, nódulos, plintitas, etc. (Schwertmann e Taylor, 1989; Schwertmann, 1993; Kämpf e Curi, 2000).

A goethita e a hematita são os óxidos de ferro mais freqüentes nos solos. A goethita imprime cores amareladas ou brunadas aos solos, sendo típica de ambientes frios e/ou úmidos, enquanto a hematita é característica de climas mais quentes e ambientes bem drenados, conferindo cores avermelhadas aos solos (Schwertmann, 1993). Segundo este autor, os diferentes tipos de óxidos de ferro podem ser reconhecidos através de suas cores específicas. Mesmo na presença da matéria orgânica, pode-se distinguir facilmente os matizes amarelados da goethita dos matizes avermelhados da hematita, sendo a cor um indicador seguro da presença destes minerais no solo.

Tabela 1 - Matizes de óxidos, oxihidróxidos e hidróxidos de ferro comuns em solos

Tipo	Fórmula	Matiz
Hematita	α - Fe ₂ O ₃	7,5R – 5YR*
Goethita	α -FeOOH	7,5YR – 2,5Y*
Ferrihidrita	Fe ₅ HO ₈ .4H ₂ O	5YR – 7,5YR (valor \leq 6)*
Maghemita	γ - Fe ₂ O ₃	2,5YR – 5YR**
Lepidrococita	γ - FeOOH	5YR – 7,5YR (valor \geq 6)*

* Kämpf e Curi (2000)

** Schwertmann (1993)

Kämpf e Schwertmann (1983) estudaram as relações entre a cor e os óxidos de ferro em solos do Rio Grande do Sul, constatando que a coloração vermelho-amarelada dos solos é determinada principalmente pelo teor e tipo de óxido de ferro. Conforme estes autores, os solos caulíníficos podem ser separados em dois grupos considerando o matiz e a relação $Hm/(Hm+Gt)$: solos hematíticos e solos goethíticos. Os solos hematíticos apresentam razão $Hm/(Hm+Gt) > 0,4$ e matizes mais vermelhos que 3,75YR (úmido) e 6,25 YR (seco), enquanto solos com matizes mais amarelos que 3,75YR e 6,25YR e a razão $Hm/(Hm+Gt) < 0,4$ caracterizam solos goethíticos.

A quantificação dos óxidos de ferro através da cor do solo pode ser verificada no trabalho de Campos et al. (2003), que calcularam índices de avermelhamento por meio das coordenadas cromáticas do sistema $L^*a^*b^*$ e da notação Munsell usando um colorímetro e um espectrorradiômetro para semiquantificar os teores de hematita. Os índices de avermelhamento apresentaram boas correlações com os teores de hematita tanto por colorimetria quanto por radiometria.

Fernandes et al. (2004) quantificaram os óxidos de ferro hematita e goethita através da reflectância difusa em Latossolos brasileiros e o efeito da matéria orgânica nos coeficientes de cor. Segundo os autores, houve pouca influência da matéria orgânica na estimativa dos óxidos de ferro, apesar de promover alteração no espectro de reflectância.

A presença de óxidos de ferro no solo influencia o comportamento da curva espectral, principalmente na região do visível e do infravermelho próximo, ou mesmo no infravermelho médio, diminuindo o albedo conforme aumenta seu teor no solo (Stoner, 1979; Formaggio et al, 1996). A absorção seletiva da luz na região do visível, causada pela transição dos elétrons na camada orbital, é responsável pelas diferentes cores dos óxidos de ferro. Sherman e Waite (1985) definiram transições eletrônicas centradas em 530 nm para a hematita e 480 nm para a goethita. Kosmas et al. (1984), estudaram Oxisols do Brasil e observaram que a hematita absorve mais radiação em relação a goethita na região entre 380 e 800 nm. Dalmolin (2002) elegeu a região de 450 nm como chave para diferenciar solos hematíticos e goethíticos.

Mathews et al. (1973) observaram que a faixa espectral entre 500 e 1200 nm foi a que melhor diferenciou o mesmo solo, com e sem óxidos de ferro no horizonte B. Já Coleman e Montgomery (1987) utilizaram um espectrorradiômetro de campo e

consideraram as bandas espectrais 3 (630 a 690 nm) e 5 (1150 a 1300 nm) como ideais para diferenciar os teores de óxidos de ferro entre os solos.

Demattê e Garcia (1999), estudando solos na região de Guarapuava - PR, registraram diferenças nas intensidades e feições espectrais entre os dois solos, atribuídas principalmente à diferença no teor e tipo de óxidos de ferro presentes nas amostras. Clemente et al. (2000), também observaram comportamento espectral diferenciado em solos com diferentes teores de óxidos de ferro.

Stoner e Baumgardner (1981) identificaram um efeito de máscara dos óxidos de ferro sobre os constituintes do solo, inclusive os teores de matéria orgânica, quando seus teores ultrapassam 4%.

Outra característica que influencia a reflectância é a granulometria. A granulometria refere-se à distribuição do tamanho de partículas minerais do solo. Solos de textura arenosa possuem baixos teores de matéria orgânica, óxidos de ferro e menores teores de água e são ricos em quartzo, apresentando uma reflectância maior, enquanto para solos de textura média a fina ocorre o oposto (Stoner, 1979). Para Galvão (1994), a argila apresentou as melhores correlações com a reflectância. À medida que o teor de argila aumenta, sua reflectância diminui, principalmente no infravermelho, ocorrendo o contrário em relação ao teor de areia.

Coleman et al. (1991) encontraram elevada significância ao correlacionar os teores de argila e silte com a reflectância espectral de solos. Segundo estes autores, as bandas do azul (450 a 520 nm), verde (520 a 600 nm), vermelho (630 e 690 nm) e infravermelho próximo (760 a 1300 nm) foram consideradas ideais para estimar os teores de silte, e as melhores regiões para estimar os teores de argila estão na faixa espectral do verde, infravermelho próximo, infravermelho médio (1550 a 2350nm) e infravermelho termal (10400 a 12500 nm), coincidente com as bandas do sensor TM/Landsat. Para Montgomery (1976), o conteúdo de argila foi significativo na faixa do visível entre 500 e 700 nm e ao redor das bandas de absorção centradas em 1400, 1900 e 2200 nm, do infravermelho próximo e médio.

O tipo de argilomineral presente nos solos também influencia na reflectância, sendo importante o conhecimento da composição mineralógica para avaliar o comportamento espectral dos solos, principalmente para analisar as bandas de absorção que os argilominerais conferem à curva espectral.

Segundo Mathews et al. (1973), a caulinita apresenta intensas feições de absorção centradas em 1400 e 2200 nm, na região do infravermelho, indicando a

presença de hidroxila estrutural em 2200 nm. Alvarenga et al. (2003) observaram uma forte absorção da energia incidente na faixa entre 2100 e 2200 nm ocasionada pela presença de caulinita, comprovando a presença da hidroxila. Demattê (1995) observou que a montmorilonita possui intensas bandas de absorção em 1400 e 1900 nm, associadas à presença das moléculas de água podendo ocasionar uma diminuição na reflectância do solo.

A absorção na faixa em torno de 1900 nm é atribuída à presença de vermiculita e água (D'Arco et al., 2003). A gibbsita também mostra as suas feições espectrais influenciadas por vibrações de hidroxilas, com feição típica em 2300 nm (Madeira Netto et al., 1995; Dalmolin, 2002; Alvarenga et al., 2003).

A umidade do solo provoca um decréscimo na reflectância espectral, comparado ao solo seco. Ocorre um aumento da absorção da radiação eletromagnética com a presença da água, sendo a coloração do solo mais escura quanto maior for a umidade (Bowers e Hanks, 1965; Cipra et al., 1971; Stoner et al., 1991; Bedidi et al., 1992).

3 - ESTUDO 1: MEDIDA DA COR DO SOLO SOB DIFERENTES METODOLOGIAS: CARTA DE MUNSELL E COLORIMETRIA

3.1 INTRODUÇÃO

A cor é uma das mais importantes características do solo, sendo utilizada para identificar e descrever os solos no campo, além de ser um atributo diferencial para muitas classes de solos nos sistemas de classificação. A matéria orgânica e os óxidos de ferro são os principais agentes responsáveis pela cor dos solos. Este fato justifica o empenho de inúmeros pesquisadores na tentativa de determinar a cor dos solos de forma mais exata, estabelecendo relações quantitativas entre a cor e os constituintes do solo (Barrón et al., 2000; Campos, 2001).

A relação entre a cor e os constituintes do solo é encontrada em diversos trabalhos na literatura, como Kämpf e Schwertmann (1983), Schulze et al. (1993) e Campos (2001). A matéria orgânica confere cores escuras aos horizontes superficiais e em alguns horizontes subsuperficiais (iluviação). Cores vermelhas, amarelas, alaranjadas e brunadas são atribuídas aos óxidos de ferro, enquanto a presença de cores acinzentadas está relacionada a ambientes de redução e remoção dos óxidos de ferro, em condições hidromórficas. Solos ricos em quartzo e pobres em matéria orgânica e óxidos de ferro apresentam cores claras e esbranquiçadas.

A cor do solo é determinada pela comparação visual utilizando a carta de Munsell, determinando-se o matiz (comprimento de onda da luz), valor (brilho ou tonalidade) e croma (intensidade ou pureza da cor em relação ao cinza). Este sistema está baseado na percepção visual, sendo utilizado mundialmente pelos pedólogos devido a sua fácil e rápida aplicação em trabalhos de campo.

Os fatores de maior efeito na subjetividade da interpretação da cor pelo olho humano são as características da luz incidente sobre o solo, características da superfície do solo e a qualidade da resposta espectral do olho humano, uma vez que não são fatores controlados (Melville e Atkinson, 1985; Post et al., 1993). A obtenção da cor com instrumentos de medida via sensoriamento remoto (colorímetros e

espectrorradiômetros) tende a maior precisão por apresentarem condições controladas.

O colorímetro possui um sensor que quantifica a energia refletida na região do espectro visível, resultante da interação da luz com o solo, utilizando os valores triestímulos básicos propostos pela CIE (Commission Internationale L'Eclairage). O sistema CIE $L^*a^*b^*$ estabelece coordenadas uniformes no espaço tridimensional de cor, sendo que "L" é a luminosidade e "a" e "b" contêm as informações de croma, onde "a" corresponde a um eixo que varia do vermelho ao verde e "b" é um eixo que varia do amarelo ao azul (HunterLab, 1996b; MINOLTA, 1998).

Entretanto, a cor do solo é determinada por comparação visual utilizando a carta de Munsell e depende da percepção do observador. A determinação instrumental, por apresentar condições controladas, é precisa e difere da determinação visual. Os objetivos deste estudo foram: (I) Determinar a cor do solo pelo método da carta de Munsell e pelo colorímetro; (II) avaliar a precisão dos observadores na determinação da cor do solo; (III) correlacionar as medidas da cor realizadas por colorimetria com as características do solo (granulometria, óxidos de ferro e matéria orgânica).

3.2 MATERIAIS E MÉTODOS

3.2.1 Solos e área de estudo

Os solos estudados foram coletados em diferentes unidades geomorfológicas do Rio Grande do Sul, correspondentes às regiões do Planalto Médio, Campos de Cima da Serra, Escudo Cristalino, Depressão Central e Campanha (Tabela 2 e Figura 3).

3.2.2 Análise granulométrica e química

Para cada classe de solo foram coletadas amostras nas profundidades de 0-20 cm (10 amostras) e de 20-40 cm (10 amostras), que foram secas ao ar, destorroadas e passadas em uma peneira de 2 mm, obtendo-se a terra fina seca ao ar (TFSA).

Tabela 2 - Classificação dos solos estudados

Símbolo	Classe de solo ⁽¹⁾	Unidade de mapeamento ⁽²⁾	Material de origem ⁽²⁾
APt	Alissolo Hipocrômico argilúvico típico	Santa Maria	Siltitos e arenitos
LBa	Latossolo Bruno alumínico típico	Vacaria	Basalto
LVd1	Latossolo Vermelho distrófico típico	Cruz Alta	Arenito
LVd2	Latossolo Vermelho distrófico típico	Passo Fundo	Basalto/arenito
LVdf1	Latossolo Vermelho distroférico típico	Durox	Basalto
LVdf2	Latossolo Vermelho distroférico típico	Santo Ângelo	Basalto
PVd1	Argissolo Vermelho distrófico latossólico	Alto das Canas	Argilitos e siltitos
PVd2	Argissolo Vermelho distrófico típico	São Jerônimo	Granito
PVd3	Argissolo Vermelho distrófico arênico	São Pedro	Arenito
SGe	Planossolo Hidromórfico eutrófico arênico	Vacacaí	Sedimentos aluviais recentes
SXe	Planossolo Háptico eutrófico típico	São Gabriel	Folhelhos argilosos e siltosos
VEo	Vertissolo Ebânico órtico típico	Escobar	Basalto

⁽¹⁾ Streck et al. (2002). ⁽²⁾ BRASIL (1973)

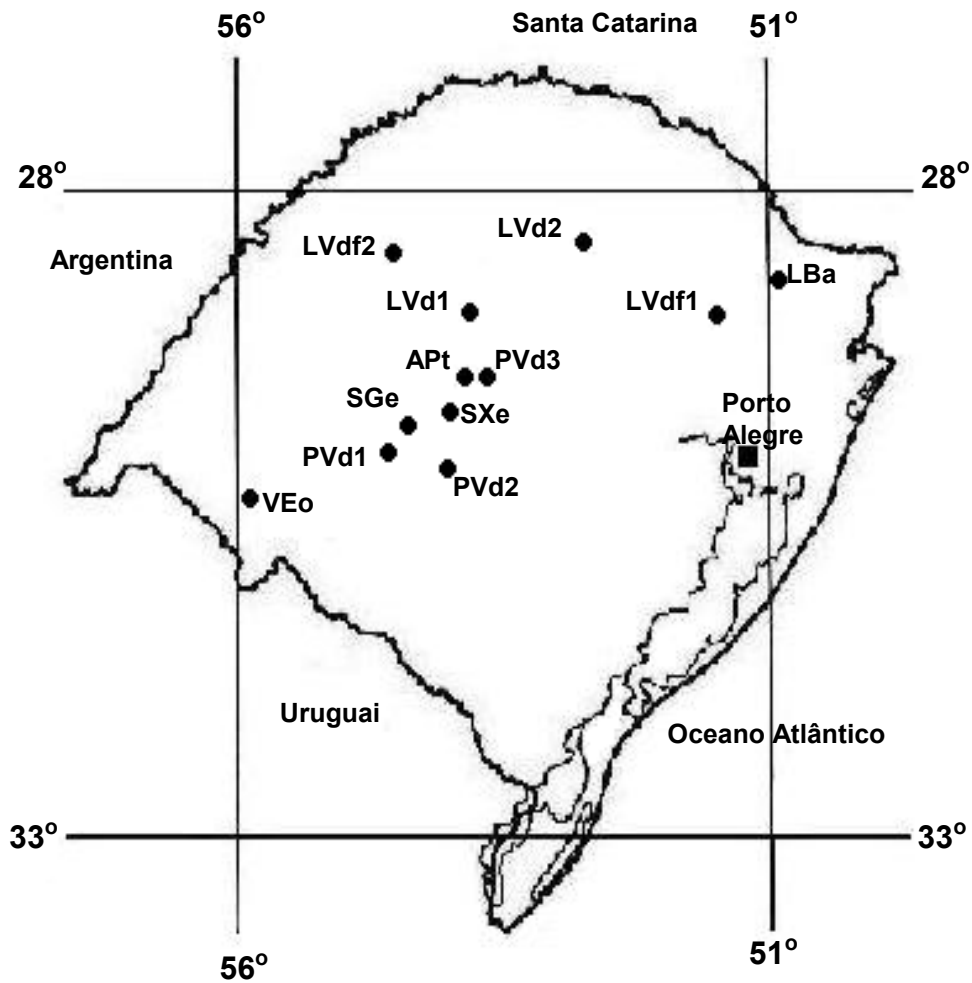


Figura 3 - Locais de coletas dos solos estudados

A composição granulométrica foi determinada após dispersão de 20g de solo com NaOH 0,1 mol L⁻¹ em 100 ml de água, seguido de agitação mecânica por duas horas. A fração areia foi separada por tamisação úmida em peneira com malha de 0,053 mm. Após seca em estufa a areia foi separada em areia grossa e areia fina com peneira de malha 0,250 mm. A fração argila foi determinada pelo método da pipeta e o silte calculado por diferença (EMBRAPA, 1997).

O pH do solo foi determinado pelo método potenciométrico, conforme metodologia da EMBRAPA (1997). Cálcio e magnésio trocáveis foram extraídos com cloreto de potássio (KCl) e determinados por espectroscopia de absorção atômica (EAA), conforme Tedesco et al. (1995).

O alumínio trocável (Al) foi extraído com KCl e titulado com NaOH. A acidez trocável (H + Al) foi extraída com acetato de cálcio a pH 7,0 e determinado por titulação com NaOH. Os teores de K foram extraídos com HCl e determinados em fotômetro de chama. Estas análises seguem a metodologia empregada por EMBRAPA (1997).

Calculou-se a capacidade de troca de cátions (CTC) a pH 7,0 ($CTC = Ca + Mg + K + H + Al$); a CTC efetiva ($CTC_{ef} = Ca + Mg + K + Al$); a saturação por alumínio, $Al\% = [Al / (Ca + Mg + K + Al)] \times 100$ e a saturação por bases, $V\% = [(Ca + Mg + K) / CTC] \times 100$.

A determinação do carbono orgânico no solo foi realizada pelo método Mébius modificado para realização no bloco de digestão segundo Yeomans & Bremner (1988) e Nelson & Sommers (1996).

A extração de ferro referente aos óxidos de ferro pedogênicos (Fed) foi realizada através do método de extração de ferro a temperatura ambiente, com ditionito-citrato-bicarbonato (Holmgren, 1967; Mehra e Jackson, 1960), com agitação por 16 horas. O teor de ferro dos óxidos de baixa cristalinidade (Feo) foi obtido pela extração em solução ácida de oxalato de amônio no escuro (Schwertmann, 1964). Após as extrações, as amostras foram centrifugadas a 2000 RPM durante 5 min, o extrato foi imediatamente coletado e a determinação dos teores de ferro realizada por EAA.

3.2.3 Análises mineralógicas

A fração argila para análises de raios-X foi coletada utilizando-se NaOH L⁻¹ como dispersante e baseando-se no tempo de sedimentação das partículas (lei de Stokes). A suspensão contendo argila foi floculada com HCl 1 mol L⁻¹ e separada do sobrenadante. Após, as amostras foram submetidas a sucessivas lavagens com álcool etílico 96GL a 50% para remoção dos sais e colocadas em estufa a 40° C EMBRAPA, (1997).

A difratometria de raios-X (DRX) da fração argila em pó foi realizada no Centro de Agronomia e Veterinária (CAV), na Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), localizada em Lages-SC. Foi utilizado o equipamento PHILIPS, com tubo de cobalto em voltagem de 30kV e corrente de 30mA. As amostras foram

irradiadas no intervalo de 4 a 50° 2θ com velocidade de varredura de 0,05°/segundo.

3.2.4 Índices de Vermelho

Os índices de vermelho foram calculados com base na equação proposta por Hurst (1977) e modificada por Torrent et al. (1980), conforme a expressão $IV = [(10-H).C] / V$, onde C e V são os valores numéricos do croma e do valor e H é o número que precede o YR no matiz. Para o matiz 10R, o valor do H é igual a zero, e para o matiz 10YR, H igual a 10. Para calcular os índices de vermelho por colorimetria, as coordenadas do sistema $L^*a^*b^*$ foram convertidas para a notação Munsell através do software *Munsell Conversion* – versão 6.41.

3.2.5 Colorimetria

Para as análises de cor, as amostras de TFSA foram pulverizadas em gral de ágata e passadas por uma peneira de malha 0,250 mm, com o propósito de homogeneizar a cor da amostra, obtendo-se a cor seca triturada, conforme Scheinost e Schwertmann (1999).

Para a avaliação da cor seca triturada por comparação visual foram convidados oito observadores para determinar os componentes da cor (matiz, valor e croma) utilizando a carta de Munsell. As amostras foram distribuídas em uma mesa no interior de um laboratório com fonte de iluminação artificial. Neste procedimento procurou-se garantir a mesma condição de iluminação para todos os observadores padronizando a fonte de iluminação na ocasião das leituras de cor.

Posteriormente foi realizada a medida da cor utilizando um colorímetro Minolta, modelo CR-310 (Figura 4), utilizando o sistema $L^*a^*b^*$. O colorímetro foi programado para executar as leituras considerando o observador padrão, com ângulo observador de 2° e fator iluminante D65 (simulador da luz natural do dia), padronizado pela CIE. Foram realizadas três repetições para cada solo.

Foi utilizado o software *Munsell Conversion* – versão 6.41, para converter os valores $L^*a^*b^*$ para o sistema de Munsell e facilitar a comparação de cor determinada pelo colorímetro e pelos observadores.

3.2.6 Análises estatísticas

Para a realização da análise estatística, utilizou-se o software *Statistica for Windows*, versão 5. Para avaliação do componente matiz utilizou-se a metodologia proposta por Post et al. (1993), onde os matizes foram transformados em dados ordinais, em uma escala que varia do vermelho para o amarelo, estabelecendo-se a seguinte ordem: 10R = 1; 2,5YR = 2; 5YR = 3; 7,5YR = 4; 10YR = 5; 2,5Y = 6 e 5Y = 7.

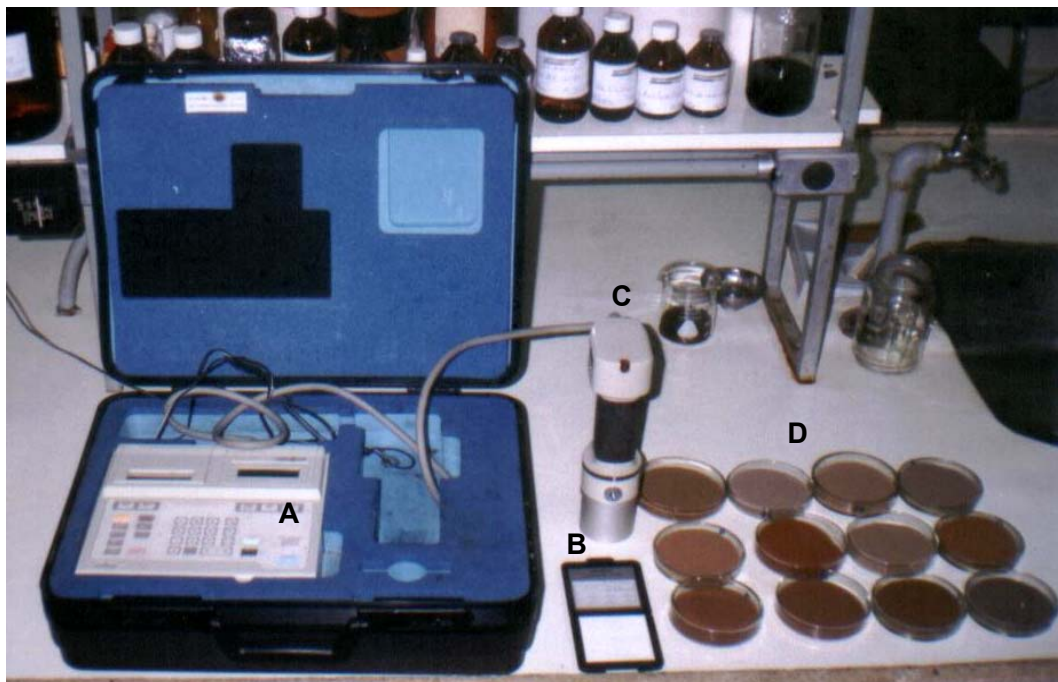


Figura 4 - Detalhes da determinação da cor por colorimetria: (A) colorímetro; (B) placa de calibração; (C) suporte com a fonte de iluminação e observador padrão; (D) solos nas placas de petri.

A comparação das medidas da cor feitas pelo colorímetro e por comparação visual foi determinada através dos coeficientes de correlação linear entre as leituras feitas por cada observador individualmente com as leituras médias de cor realizadas por todos os observadores e pelo colorímetro. Para avaliar as divergências na determinação da cor pelos observadores, foram utilizadas medidas de variabilidade (média, valor mínimo e máximo, amplitude, variância, desvio padrão, coeficiente de variação e erro padrão) para uma mesma amostra de solo.

As relações entre as características do solo, como o teor de matéria orgânica, óxidos de ferro, granulometria e índices de vermelho foram avaliados através de

coeficientes de correlação linear, coeficientes de correlação de Pearson e equações lineares, com a significância padrão do Statistica ($p < 0,05$) para cada correlação.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Características dos solos estudados

A distribuição granulométrica, teores de matéria orgânica e óxidos de ferro dos solos estudados estão na tabela 3. As demais análises químicas encontram-se no anexo 1.

A granulometria dos solos é influenciada pelo material de origem dos mesmos e juntamente com a composição mineralógica e o teor de matéria orgânica também está relacionada com a cor do solo. Os solos do Planalto (LVd2, LVdf1, LVdf2 e LBa) são oriundos de basalto e apresentam textura argilosa a muito argilosa, ao contrário do solo LVd1, originado de arenito que apresenta elevado teor de areia. O solo VEO localiza-se na região da Campanha, também originário de basalto, apresenta textura argilosa, porém, é menos intemperizado quando comparado aos Latossolos devido principalmente a diferenças climáticas (BRASIL, 1973).

Na Depressão Central e no Escudo Cristalino encontram-se solos como o APt, PVd1, PVd3, SXe e SGe, que possuem textura franca a franca-arenosa no horizonte superficial e são oriundos de rochas sedimentares (arenitos, folhelhos, siltitos e argilitos) e sedimentos aluviais recentes, no caso do solo SGe. O solo PVd2 é originado de granito, uma rocha resistente ao intemperismo, o que condiciona uma textura mais grosseira ao solo.

Os solos apresentaram a seguinte amplitude em relação aos teores de ferro: 3 a 115 g kg⁻¹ para ferro extraído com ditionito e 1 a 7,7 g kg⁻¹ de ferro extraído com oxalato de amônio. Esta variabilidade está associada aos diferentes materiais de origem. Por exemplo, os solos originados de arenito tendem a apresentar teores de ferro mais baixos em relação aos solos originados de basalto. A relação Feo/Fed expressa o grau de alocação do ferro na forma de óxidos com baixa cristalinidade, sendo que quanto maior esta relação, maior é a proporção de óxidos com baixa cristalinidade em relação aos cristalinos (Schwertmann e Kämpf, 1983). Sendo assim, os resultados indicam o predomínio do ferro na forma cristalina, já que esta relação foi baixa para todos os solos (Tabela 3).

Tabela 3 - Granulometria, teores de matéria orgânica, ferro extraído com ditionito (Fed) e com oxalato (Feo), relação Feo/Fed e índices de vermelho

Solo	Prof. (cm)	g Kg ⁻¹							IV
		Areia	Silte	Argila	MO	Fed	Feo	Feo/Fed	
APt	0 - 20	530	372	98	17	4	1,7	0,43	1,0
	20 - 40	483	401	116	9	5	1,1	0,22	0,9
LBa	0 - 20	126	344	530	41	108	3,3	0,03	1,1
	20 - 40	68	269	663	39	115	3,3	0,03	0,9
LVd1	0 - 20	764	95	141	11	19	1,0	0,05	4,3
	20 - 40	723	98	179	12	22	1,1	0,05	4,6
LVd2	0 - 20	470	159	371	25	30	2,4	0,08	4,0
	20 - 40	437	153	410	20	36	2,3	0,06	4,0
LVdf1	0 - 20	109	362	529	46	103	6,7	0,07	3,7
	20 - 40	55	318	627	39	100	5,5	0,06	4,3
LVdf2	0 - 20	61	243	696	21	107	4,3	0,04	8,0
	20 - 40	50	229	721	17	109	3,4	0,03	8,4
PVd1	0 - 20	311	411	278	23	23	2,8	0,12	5,6
	20 - 40	310	370	320	21	23	2,3	0,10	5,4
PVd2	0 - 20	549	310	141	27	10	1,8	0,18	2,2
	20 - 40	528	296	176	22	11	1,5	0,14	2,4
PVd3	0 - 20	565	336	99	24	7	1,3	0,19	1,0
	20 - 40	550	342	108	19	7	1,3	0,19	1,0
SGe	0 - 20	522	359	119	21	3	1,5	0,50	1,1
	20 - 40	519	341	140	14	3	1,4	0,47	1,2
SXe	0 - 20	377	475	148	29	5	3,4	0,68	1,1
	20 - 40	370	463	167	22	5	2,9	0,58	1,2
VEo	0 - 20	172	307	521	58	23	7,7	0,33	0,8
	20 - 40	169	204	627	38	21	7,7	0,37	0,7

Os teores de matéria orgânica são considerados médios a baixos, exceto para os solos LVdf1, LBa e VEO, cujos teores variaram entre 38 e 58 g Kg⁻¹. Os dois primeiros situam-se nas partes mais elevadas do Estado e a matéria orgânica é preservada no perfil em função das condições climáticas mais frias e úmidas. No

solo VEO os teores mais elevados de matéria orgânica está associado às condições de má drenagem e à complexação dos compostos orgânicos aos minerais esmectíticos (Kämpf et al., 1995).

Os índices de vermelho foram obtidos da notação Munsell e variaram de 0,8 a 8,4 (Tabela 3). Os solos com matizes entre 2,5YR e 5YR e com cromas mais puros (maiores que 3) apresentaram os maiores índices de vermelho. Estes índices foram baixos para os solos com matizes próximos a 10YR e cromas ≤ 3 . Os índices de vermelho são maiores conforme aumenta os teores de hematita no solo. Este fato é confirmado pelos trabalhos de Barrón et al. (1986), Campos (2001) e Fernandes et al. (2004), que observaram correlações elevadas com a cor do solo e utilizaram estes índices de avermelhamento para semiquantificar os teores de hematita no solo.

3.3.2 Mineralogia

Os difratogramas de raios X foram obtidos para a fração argila em pó e os solos foram separados de acordo com a semelhança dos difratogramas. As análises revelaram o predomínio da caulinita em todos os solos, seguido pela presença de quartzo, hematita, goethita, anatásio, cristobalita e ilmenita.

A caulinita (Kt) predominou em todos os solos e apresentou reflexos intensos nas regiões de 0,72 e 0,44 nm e picos com menores intensidades em 0,36, 0,26 e 0,23 nm. Os reflexos em 0,43 e 0,33 nm indicam a presença do quartzo (Qz) e o anatásio (An) ocorre em 0,35 e 0,24 nm para a maioria dos solos.

A presença dos minerais 2:1 HE (com hidróxi-Al entre camadas) ocorre aproximadamente em 1,4 e 1,6 nm. Estes minerais não foram identificados detalhadamente uma vez que não foram realizados tratamentos de expansão com magnésio nas amostras.

Os solos LBA e LVdf1 são considerados solos goethíticos, com reflexos da goethita (Gt) em 0,42, 0,27, 0,24 e 0,22 nm (Figura 5). A caracterização mineralógica desses solos concorda com os trabalhos de Kämpf e Klamt (1978) e Dalmolin (2002) que também encontraram minerais 2:1, caulinita, quartzo e vestígios de cristobalita e rutilo para a fração argila. Já a hematita (Hm) é comum em solos como o PVd1, LVd1, LVd2 e LVdf2 e com menos intensidade no solo LVdf1, com reflexos em 0,37, 0,27, 0,25 e 0,22 nm (Figuras 5 e 6).

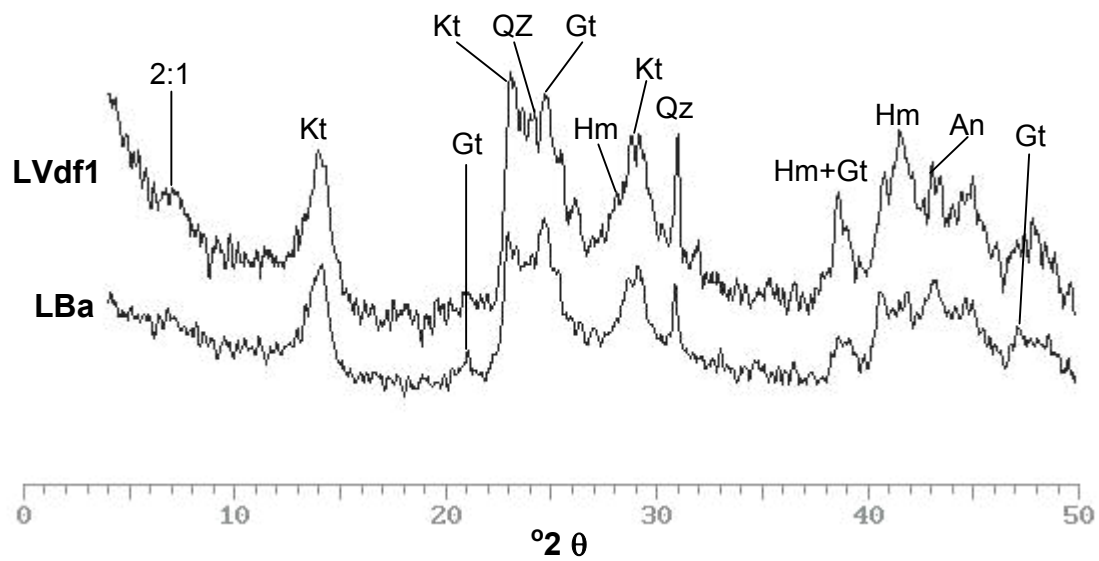


Figura 5 - Difratoformas da fração argila das amostras em pó para os Latossolos goethíticos LVdf1 e LBa (Radiação Co $K\alpha$)

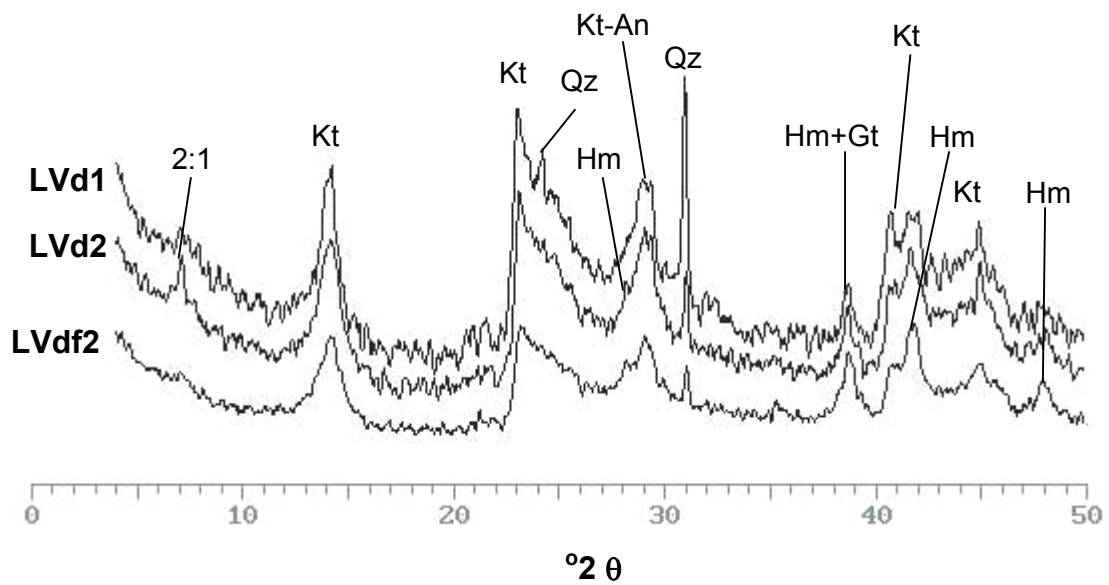


Figura 6 - Difratoformas da fração argila das amostras em pó para os Latossolos hematíticos LVd1, LVd2 e LVdf2 (Radiação Co $K\alpha$)

A composição mineralógica dos solos PVd1 e PVd2 (Figura 7) apontou reflexos intensos da caulinita a 0,72 e 0,44 nm e quartzo em 0,43 e 0,33 nm, como também reflexos de goethita e hematita, principalmente em 0,27 nm e minerais como o rutilo e o anatásio. Os solos APt e PVd3 (Figura 8) praticamente não apresentaram picos intensos que evidenciam a presença dos óxidos de ferro no horizonte superficial. Os reflexos intensos nestes solos devem-se à presença do quartzo e caulinita. Também foram encontrados reflexos de anatásio, ilmenita, minerais 2:1 e pequenos reflexos da cristobalita, com mineralogia semelhante para os Planossolos (SGe e SXe), conforme a figura 9.

O Vertissolo (VEo), na figura 10, apresentou reflexos de esmectita (Sme) em 1,5 e 0,4 nm e também caulinita, óxidos de ferro, cristobalita e quartzo. Kämpf et al. (1985) confirmam o predomínio de esmectitas em 1,1-1,6 nm e de caulinita a 0,7 nm, com diversos tratamentos para identificação desses minerais.

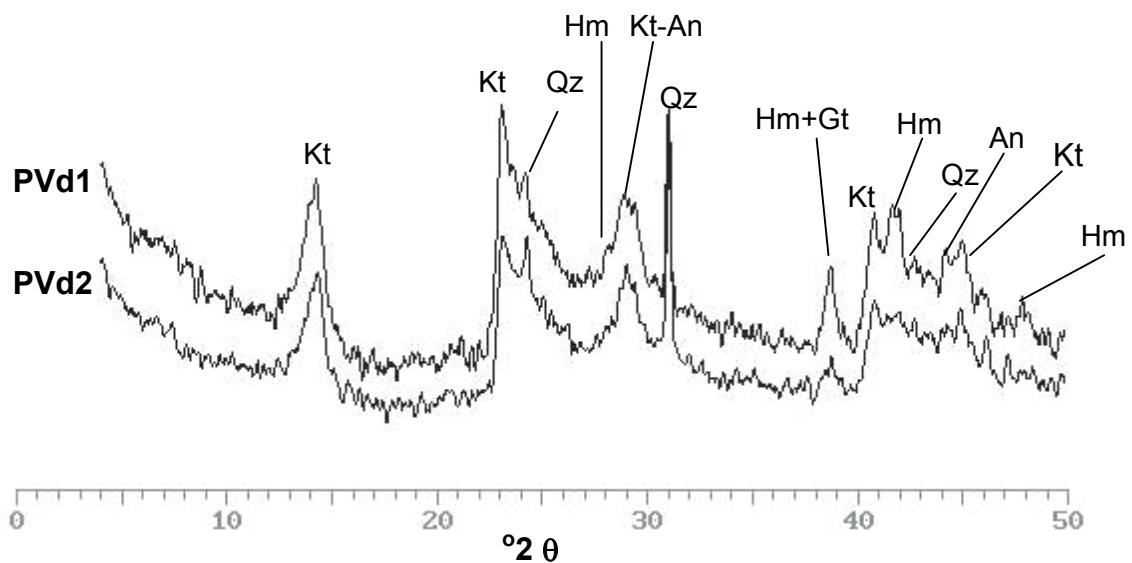


Figura 7 - Difratogramas da fração argila das amostras em pó da fração argila para os Argissolos PVd1 e PVd2 (Radiação Co K α)

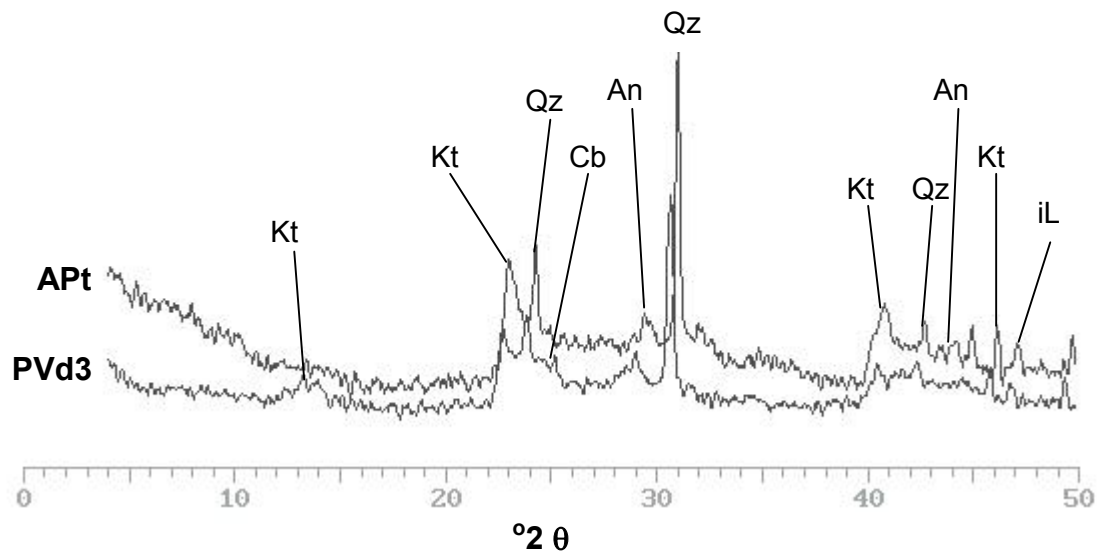


Figura 8 - Difratomogramas da fração argila das amostras em pó para o Alissolo APt e Argissolo PVd3 (Radiação Co $K\alpha$)

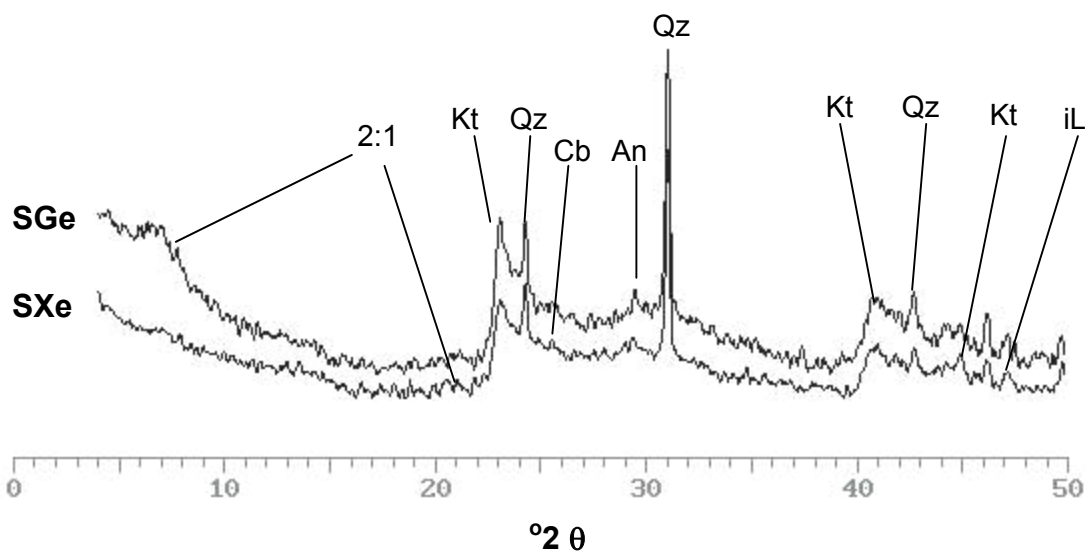


Figura 9 - Difratomogramas da fração argila das amostras em pó para os Planossolos SGe e SXe (Radiação Co $K\alpha$)

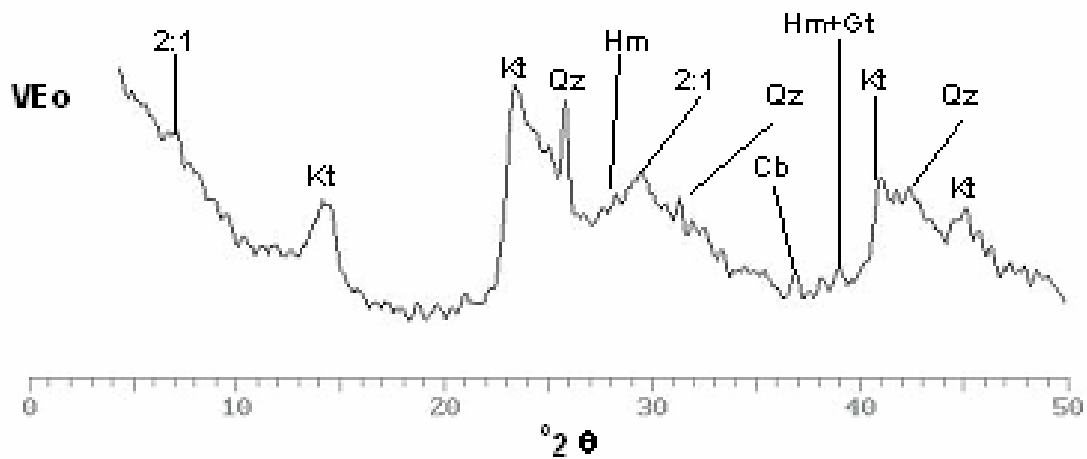


Figura 10 - Difratograma da fração argila da amostra em pó para o Vertissolo VEO (Radiação $\text{Co K}\alpha$)

3.3.3 Correlação entre as medidas de cor realizadas pelo método visual e por colorimetria

As tendências médias de cores feitas por comparação visual e por colorimetria para os componentes matiz, valor e croma encontram-se na tabela 4.

As diferenças nas medidas da cor devem-se principalmente a dois fatores, confirmados por Post et al. (1993) e Torrent e Barrón (1993): a diferença na sensibilidade espectral entre o olho humano e o colorímetro e a diferença na fonte de iluminação. A sensibilidade espectral é padronizada pelo colorímetro e, no caso dos observadores, varia de um indivíduo para outro. O colorímetro possui o fator de iluminação D65, que simula a luz natural e é constante.

A determinação da cor do solo pelo método visual ocorreu em condições controladas de laboratório, o que permitiu minimizar as diferenças atribuídas aos fatores que influenciam na cor, os quais não são controlados em condições de campo. Sendo assim, as divergências entre os observadores devem-se principalmente a fatores psicofísicos individuais (Barrón et al., 2000).

Tabela 4 - Medidas de cor dos solos estudados

Solo	Prof. (cm)	Observadores (Munsell)			Colorímetro		
		Matiz*	Valor	Croma	Matiz	Valor	Croma
APt	0-20	10YR (5,0)	5	3	8,20YR (4,3)	4,44	2,37
	20-40	10YR (5,0)	6	3	8,46YR (4,4)	4,76	2,69
LBa	0-20	8,75YR (4,5)	4	4	8,83YR (4,5)	3,78	3,45
	20-40	8,5YR (4,4)	4	4	8,97YR (4,6)	3,67	3,24
LVd1	0-20	5,75YR (3,3)	4	6	5,73YR (3,3)	3,97	4,04
	20-40	5,5YR (3,2)	4	5	5,63YR (3,2)	3,74	4,09
LVd2	0-20	5YR (3,0)	4	4	6,12YR (3,4)	3,26	3,37
	20-40	5YR (3,0)	4	4	6,12YR (3,4)	3,31	3,42
LVdf1	0-20	5,25YR (3,1)	4	6	6,69YR (3,7)	3,67	4,09
	20-40	5,25YR (3,1)	4	6	6,37YR (3,6)	3,67	4,39
LVdf2	0-20	3,5YR (2,4)	4	6	4,26YR (2,7)	3,23	4,50
	20-40	3,5YR (2,4)	3	5	4,26YR (2,7)	3,10	4,53
PVd1	0-20	4,75YR (2,9)	4	7	5,24YR (3,1)	3,65	4,28
	20-40	4,75YR (2,9)	4	6	5,37YR (3,2)	3,58	4,20
PVd2	0-20	8,25YR (4,3)	5	5	7,31YR (3,9)	4,63	3,87
	20-40	8,5YR (4,4)	5	5	7,26YR (3,9)	4,45	3,82
PVd3	0-20	9,75YR (4,9)	5	3	8,42YR (4,4)	4,50	2,92
	20-40	9,75YR (4,9)	5	3	8,44YR (4,4)	4,46	2,99
SGe	0-20	10YR (5,0)	5	3	7,84YR (4,2)	5,01	2,57
	20-40	10YR (5,0)	5	3	7,72YR (4,1)	4,74	2,56
SXe	0-20	9,75YR (4,9)	6	3	8,11YR (4,2)	4,73	2,73
	20-40	9,75YR (4,9)	5	3	7,98YR (4,2)	4,45	2,54
VEo	0-20	9,50YR (4,8)	4	2	8,40YR (4,4)	3,65	1,74
	20-40	9,50YR (4,8)	4	2	8,59YR (4,4)	3,62	1,70

* Em parênteses, o valor correspondente à escala proposta por Post et al. (1993).

Os valores dos coeficientes de correlação linear foram de 0,87, 0,94 e 0,89 para os componentes matiz, valor e croma, respectivamente, indicando haver coerência entre as medidas de cor realizadas com a carta de Munsell e o colorímetro, evidenciando o potencial deste equipamento e a habilidade dos

observadores para medir a cor do solo (Figuras 11, 12 e 13). Estas constatações vão de encontro de trabalho de Post et al. (1993) que também encontraram elevada e significativa correlação entre as medidas do colorímetro e de observações múltiplas com a carta de Munsell. No trabalho desses autores a fonte de iluminação não foi considerada, uma vez que as amostras foram enviadas a observadores em diferentes institutos de pesquisa.

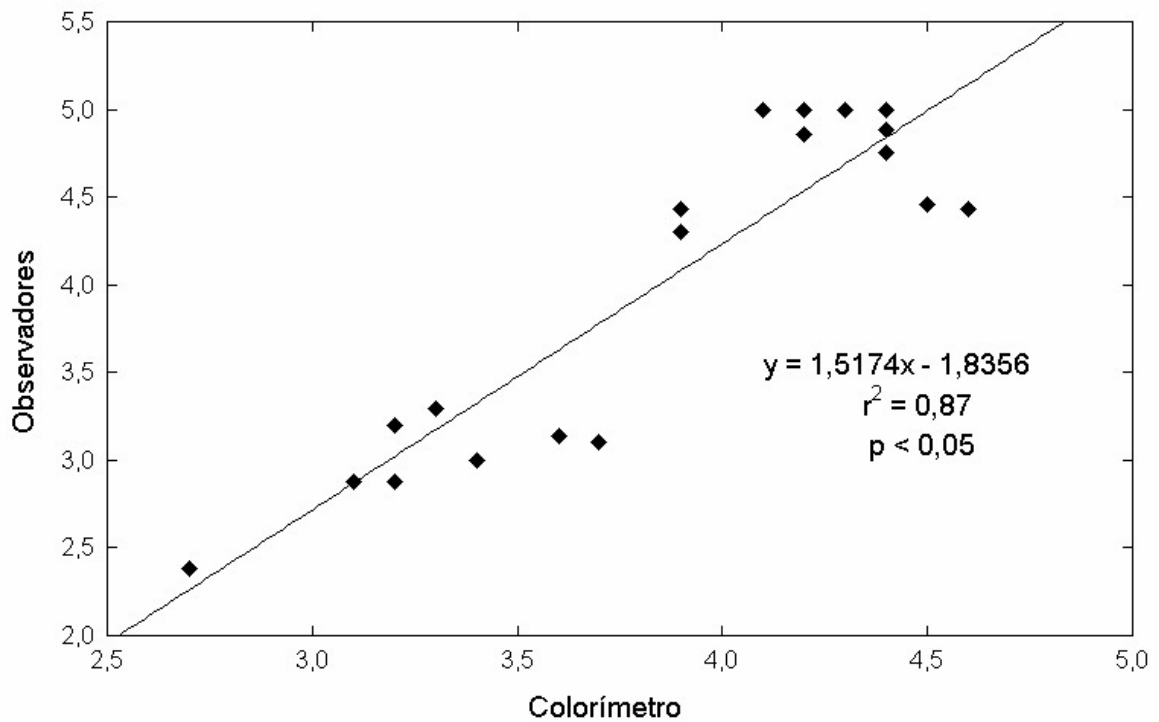


Figura 11 - Relação entre o componente matiz determinado por comparação visual e por colorimetria

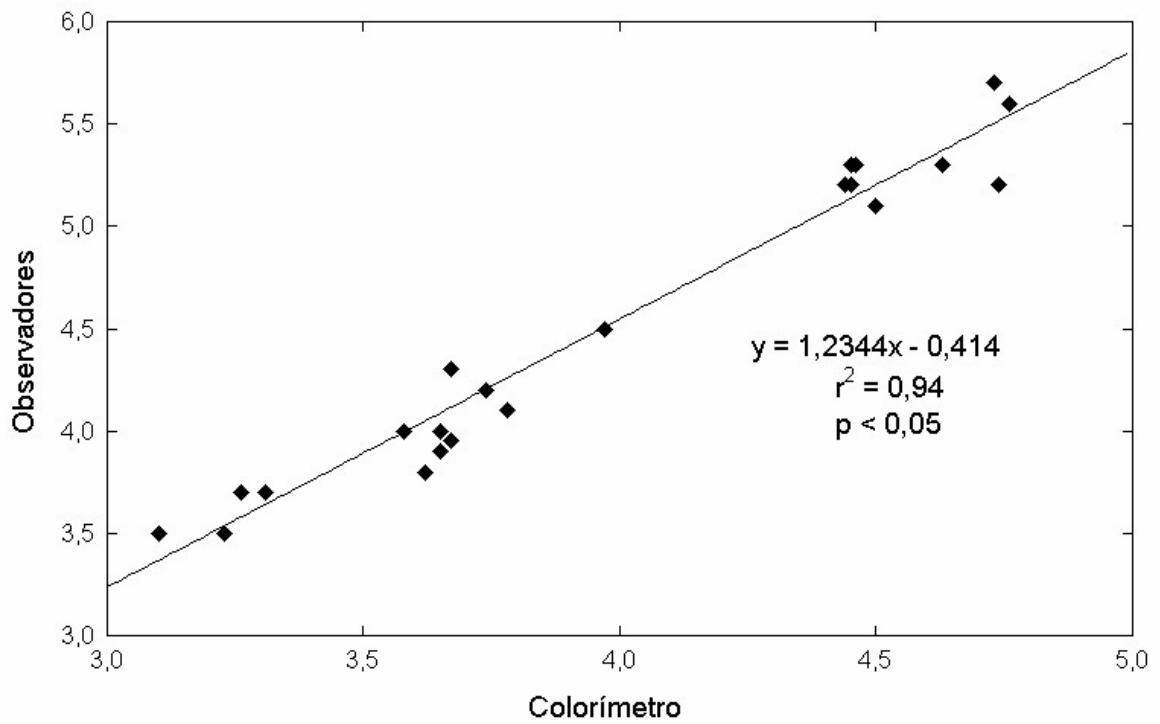


Figura 12 - Relação entre o componente valor determinado por comparação visual e por colorimetria

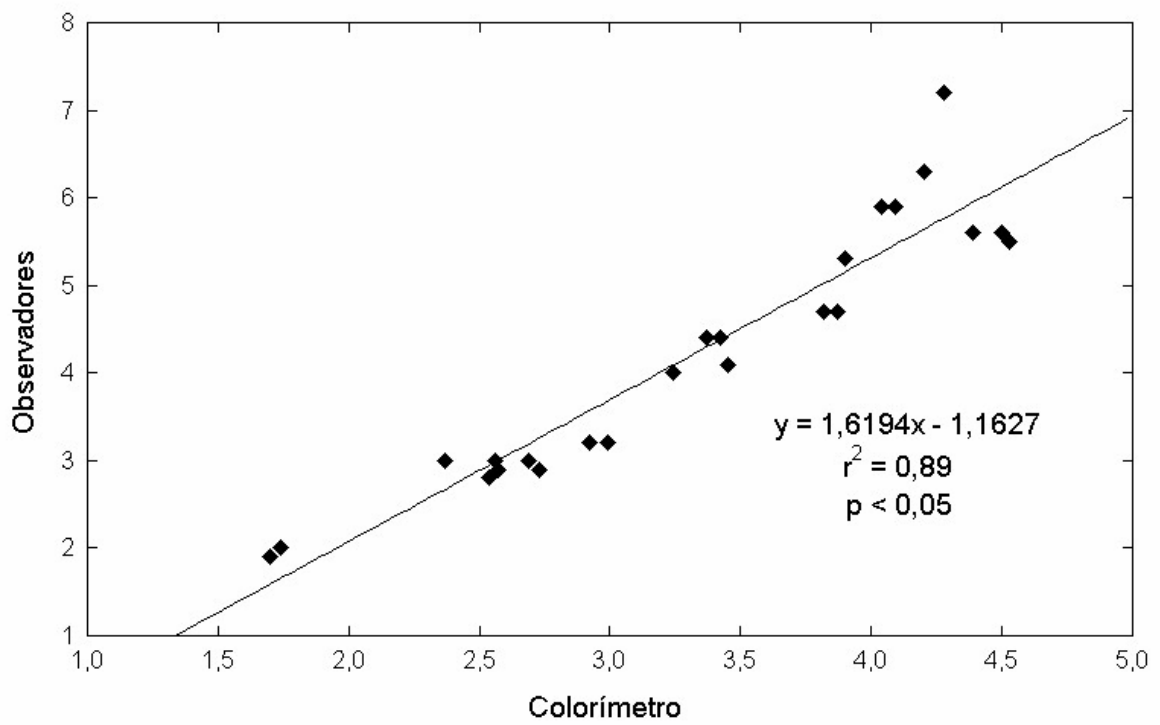


Figura 13 - Relação entre o componente croma determinado por comparação visual e por colorimetria

Os valores dos coeficientes de correlação de Pearson (Tabela 5) resumem a precisão dos observadores na determinação da cor do solo em relação à média obtida pelos observadores em conjunto e à média do colorímetro. Os coeficientes de correlação obtidos para todos os observadores estão nos anexos 2, 3 e 4.

Tabela 5 - Coeficientes de correlação para as medidas da cor realizada por comparação visual e pelo colorímetro

	Observadores x M_Observadores			Observadores x M_Colorímetro		
	matiz	valor	croma	matiz	valor	croma
OBS_1	0,97	0,97	0,98	0,91	0,98	0,96
OBS_2	0,95	0,89	0,95	0,88	0,88	0,84
OBS_3	0,97	0,96	0,93	0,94	0,92	0,92
OBS_4	0,98	0,98	0,97	0,94	0,97	0,94
OBS_5	0,91	0,89	0,89	0,86	0,86	0,85
OBS_6	0,86	0,94	0,98	0,77	0,89	0,92
OBS_7	0,98	0,95	0,92	0,97	0,96	0,87
OBS_8	0,95	0,98	0,78	0,88	0,95	0,60
Média	0,95	0,95	0,93	0,89	0,93	0,86
D. Padrão	0,04	0,04	0,07	0,06	0,05	0,11
CV (%)	4,4	3,9	7,2	7,0	4,9	13,3

Todos os coeficientes de correlação entre as medidas de cor observadas são significantes, o que comprova a coerência das medidas feitas por cada observador com a média dos observadores em conjunto e com os dados da colorimetria. As medidas realizadas pelo observador 1 foram as que melhor correlacionaram com o colorímetro para o valor e croma (0,98 e 0,96), enquanto o observador 7 obteve a melhor correlação com o matiz.

Através da análise do desvio padrão e do coeficiente de variação, observa-se que o componente valor apresentou a menor variabilidade quando correlacionado com a média para os dois métodos. O matiz apresentou precisão similar ao valor na comparação com a média feita pelos observadores e o croma teve a maior variação comparada tanto com a média feita pelo método visual como pelo colorímetro. Para Post et al. (1993), o valor Munsell foi estimado com maior precisão ao comparar as medidas feitas por diferentes observadores e pelo colorímetro.

Para avaliar o quanto as medidas da cor realizada pelos observadores variaram para uma mesma amostra de solo, foram utilizadas medidas de variabilidade, conforme a tabela 6 e os anexos 5, 6 e 7. Para cada amostra foram calculadas medidas de dispersão como a amplitude da variação, variância, desvio padrão, coeficientes de correlação e erro na determinação da cor.

Em algumas amostras, os valores para o matiz, valor e croma foram iguais a zero, significando que não houve divergência entre os observadores na medida da cor para estas amostras. O valor médio para o coeficiente de variação para o croma foi de 18,5% e uma amplitude de 2,3 pontos na carta de Munsell, o que significa dizer que houve maior dificuldade dos observadores em avaliar este componente da cor.

Tabela 6 - Análise da variabilidade das medidas da cor entre os observadores para uma mesma amostra de solo

Componente da cor	Amplitude	Variância	Desv. Pad	CV (%)	Erro
Matiz	0,8	0,173	0,346	9,3	0,124
Valor	1,5	0,401	0,559	12,2	0,199
Croma	2,3	0,841	0,792	18,5	0,285

Entretanto, o matiz apresentou o menor coeficiente de variação, assim como a menor amplitude, sendo que não houve discordância entre pontos distantes para o matiz na carta de Munsell, com amplitude maior apenas para os solos PVd2 e VEO, que apresentaram variação em até 5 pontos (matizes entre 5YR e 10YR), com maior discordância dentre as demais amostras. O valor apresentou variabilidade intermediária, com amplitude média de 1,5 pontos e uma variação de 12,2%.

3.3.4 Relação da cor com as características do solo

Nem todas as características dos solos analisados apresentaram correlações significativas com os componentes da cor do solo, medida com o colorímetro. Na literatura, os trabalhos encontrados referem-se às relações entre a cor do solo e os óxidos de ferro, através dos índices de vermelho (Barrón et al., 2000; Campos et al., 2003; Fernandes et al., 2004) e entre a cor e a matéria orgânica (Montgomery, 1976; Schulze et al., 1993) e nenhum trabalho referente às relações entre a granulometria

e as notações de cores da carta de Munsell. A granulometria, assim como os teores de Fed e Feo apresentaram correlações significativas com o componente valor da carta de Munsell (Tabela 7).

Tabela 7 - Correlações e regressões entre as características dos solos e os componentes da cor

Variável (x)	r	r ²	Equação	Variável (y)
Areia	ns*	ns	ns	Matiz
	0,32	0,56	$y = 0,0147x + 3,4639$	Valor
	ns	ns	ns	Croma
Silte	0,44	0,19	$y = 0,025x + 3,086$	Matiz
	0,55	0,30	$y = 0,0305x + 3,0805$	Valor
	ns	ns	ns	Croma
Argila	ns	ns	ns	Matiz
	-0,80	0,64	$y = -0,0205x + 4,6795$	Valor
	ns	ns	ns	Croma
Fed	ns	ns	ns	Matiz
	-0,66	0,44	$y = -0,009x + 4,3385$	Valor
	0,53	0,28	$y = 0,0106x + 2,9317$	Croma
Feo	ns	ns	ns	Matiz
	-0,50	0,25	$y = -1,4046x + 4,4284$	Valor
	ns	ns	ns	Croma
Índices de Vermelho	-0,98	0,95	$y = -0,6124x + 8,8531$	Matiz
	-0,68	0,47	$y = -0,1687x + 4,4869$	Valor
	0,83	0,69	$y = 0,3021x + 2,463$	Croma

*ns= correlações que não apresentaram significância

Apesar da significância considerando todos os solos estudados, a areia apresentou as melhores correlações ao separar os solos LVd1 e LVd2, com textura média a arenosa (teores de areia variáveis entre 437 e 764 g Kg⁻¹) e teores médios a baixos de óxidos de ferro. Os solos LVd1 e LVd2 são avermelhados com matiz na faixa de 5YR devido ao poder pigmentante da hematita (Resende et al., 2002) mesmo em pequenas quantidades.

O aumento da proporção da fração areia (Figura 14) tende a proporcionar tonalidades (valor Munsell) mais claras aos solos. Este comportamento é influenciado pela presença de minerais claros (quartzo), além dos solos arenosos possuírem baixos teores de matéria orgânica e óxidos de ferro. Para a fração argila ocorre o inverso (Figura 15).

O Fed apresentou correlações elevadas com o valor ao separar os solos LBa, LVdf1 e LVdf2, com teores de Fed muito elevados se comparados aos outros solos (Figura 16), não sendo observadas correlações significativas para o componente matiz, concordando com o trabalho de Kampf e Schwertmann (1983).

Para estudar a correlação entre a matéria orgânica e a cor, os solos foram separados em dois grupos: os solos hematíticos e os demais solos. Os solos hematíticos (LVd1, LVd2, LVdf1 e PVd1) e com matizes mais vermelhos que 6,25YR apresentaram comportamento diferenciado e variação nos teores de matéria orgânica de 17 a 25 g Kg⁻¹, considerados médios a baixos. Os teores de Fed estão entre 19 e 109 g Kg⁻¹. Nestes solos de coloração avermelhada, a matéria orgânica teve pouca influência na pigmentação, confirmada pela correlação não significativa entre valor e o teor de matéria orgânica (Anexo 8).

Já para os demais solos, as correlações entre os teores de matéria orgânica e o valor Munsell, determinado por colorimetria, foram significantes com um decréscimo do valor conforme o incremento da matéria orgânica (Figura 17). Montgomery (1976) e Schulze et al. (1993) encontraram correlações significativas entre o valor Munsell e a matéria orgânica, não observando correlação entre o croma e a matéria orgânica.

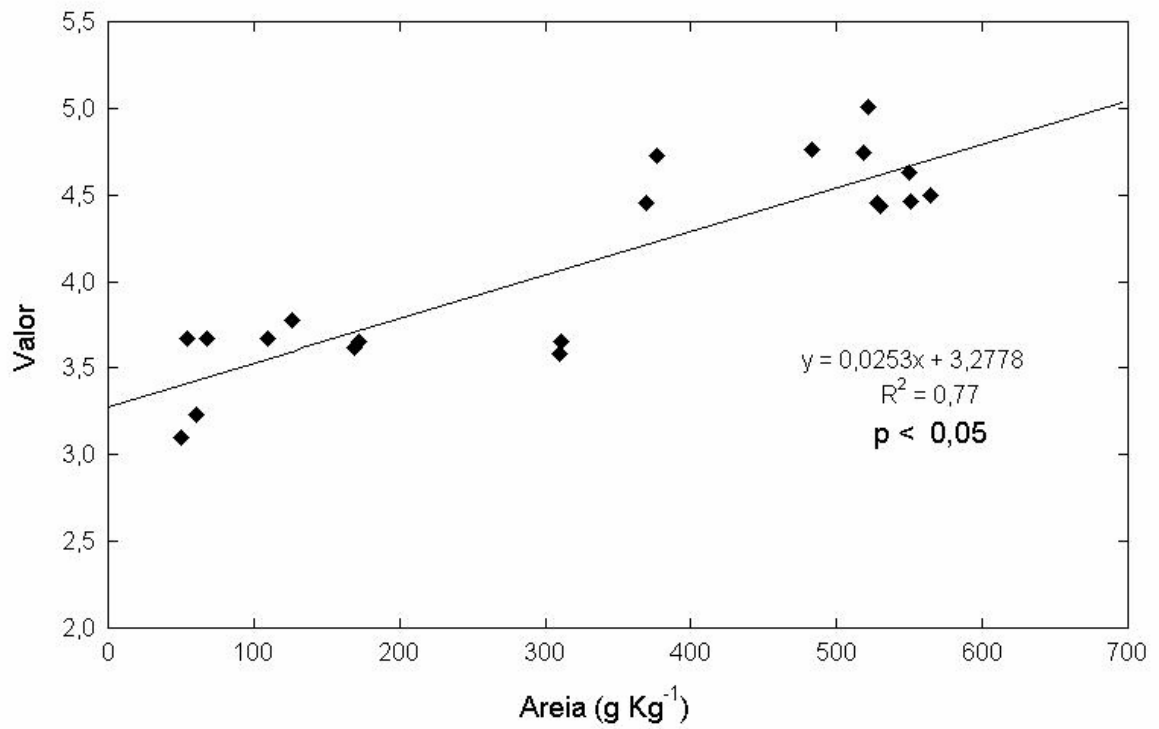


Figura 14 - Relação entre o valor e a areia para os solos, exceto LVd1 e LVd2

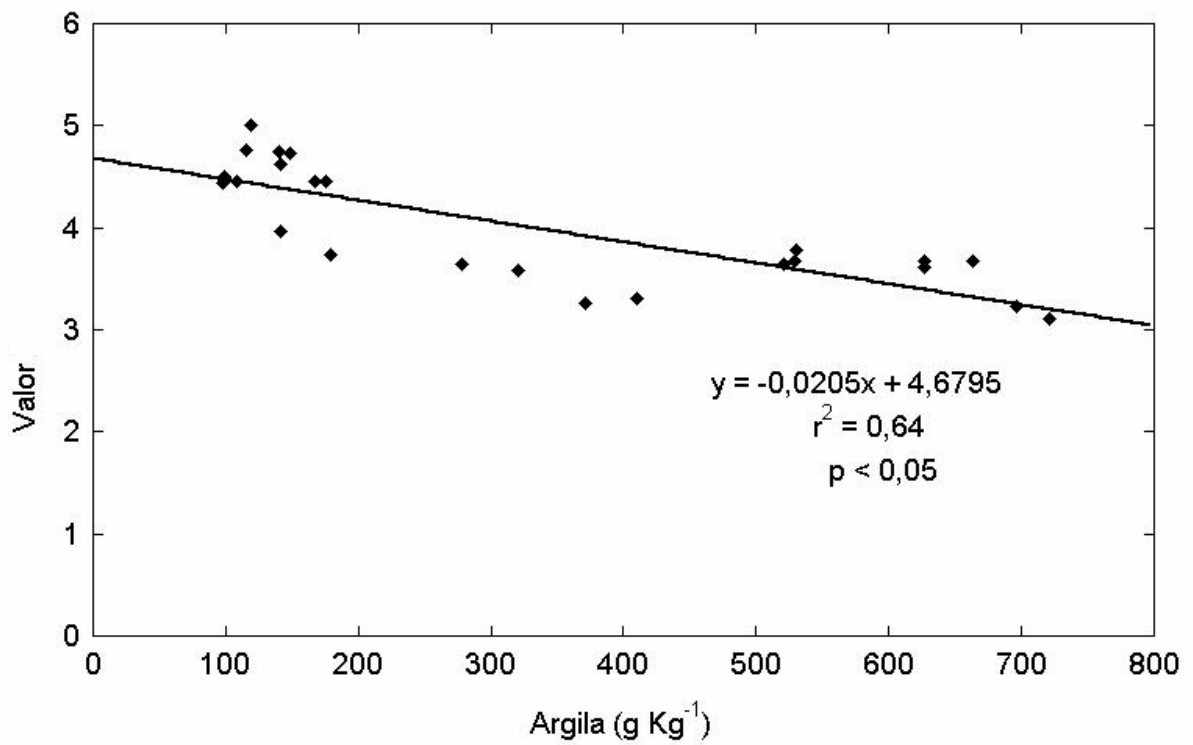


Figura 15 - Relação entre o valor e a argila para todos os solos

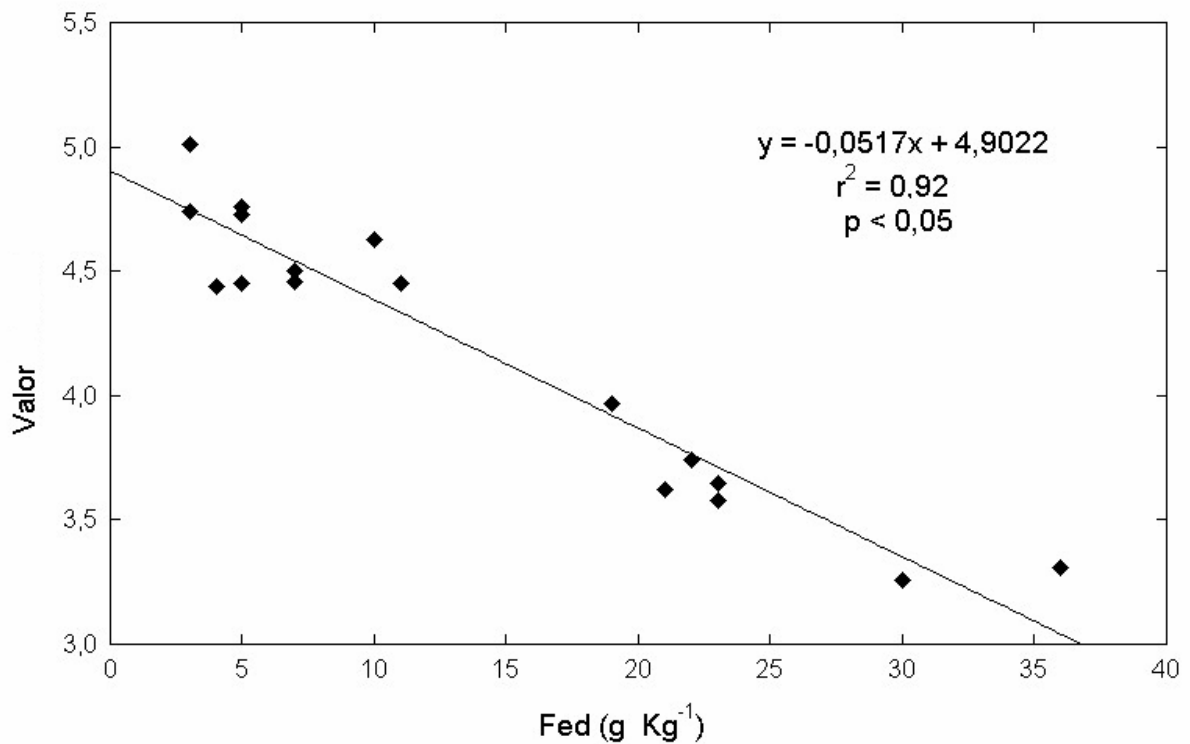


Figura 16 - Relação entre o valor e o Fed para os solos estudados, exceto para o LBa, LVdf1 e LVdf2

Os solos LBa e LVdf2 possuem teores de matéria orgânica elevados e, concomitantemente, são ricos em óxidos de ferro, principalmente em goethita (Dalmolin, 2002). Estes solos situam-se nas regiões mais elevadas do Planalto (Campos de Cima da Serra), onde o clima tende a ficar mais úmido e frio, favorecendo o acúmulo de matéria orgânica.

Os índices de vermelho (IV) servem para semiquantificar os teores de hematita através da combinação dos componentes matiz, valor e croma. Os índices de vermelho apresentaram correlações elevadas, para o matiz (Figura 18) e croma (Figura 20) e menores para o valor (Figura 19).

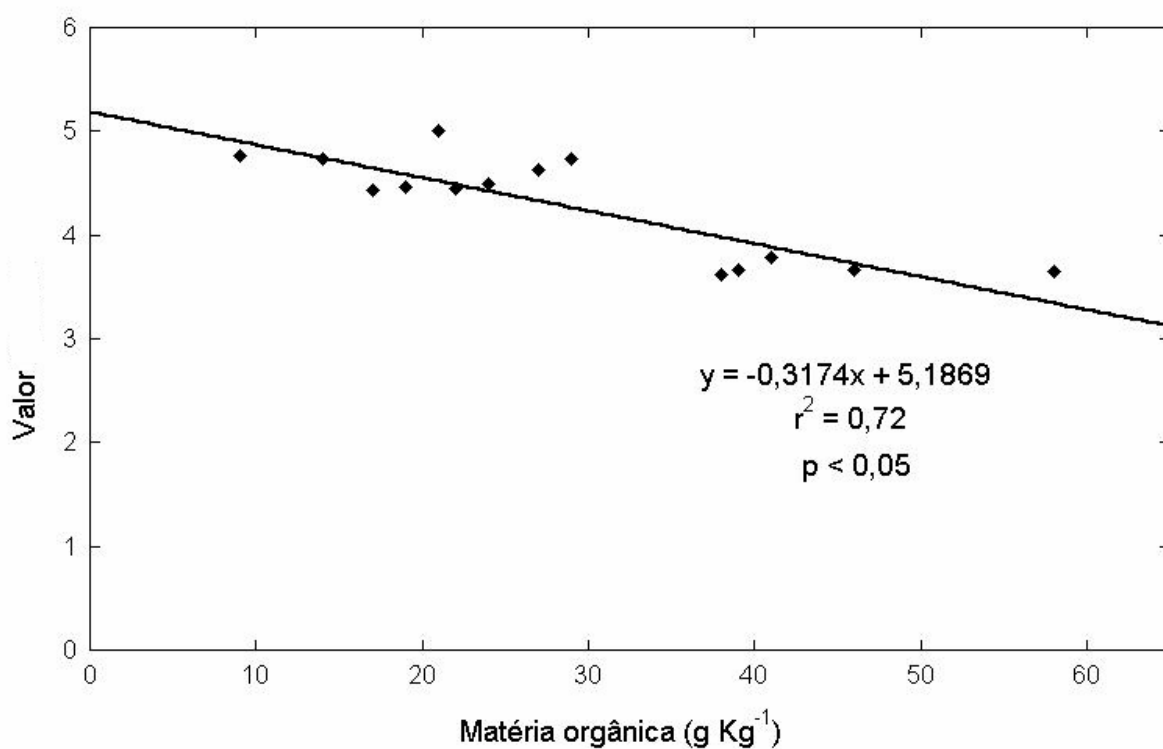


Figura 17 - Relação entre o valor e a matéria orgânica para os solos APt, LBa, LVdf2, PVd2, PVd3, SGe, SXe e VEO

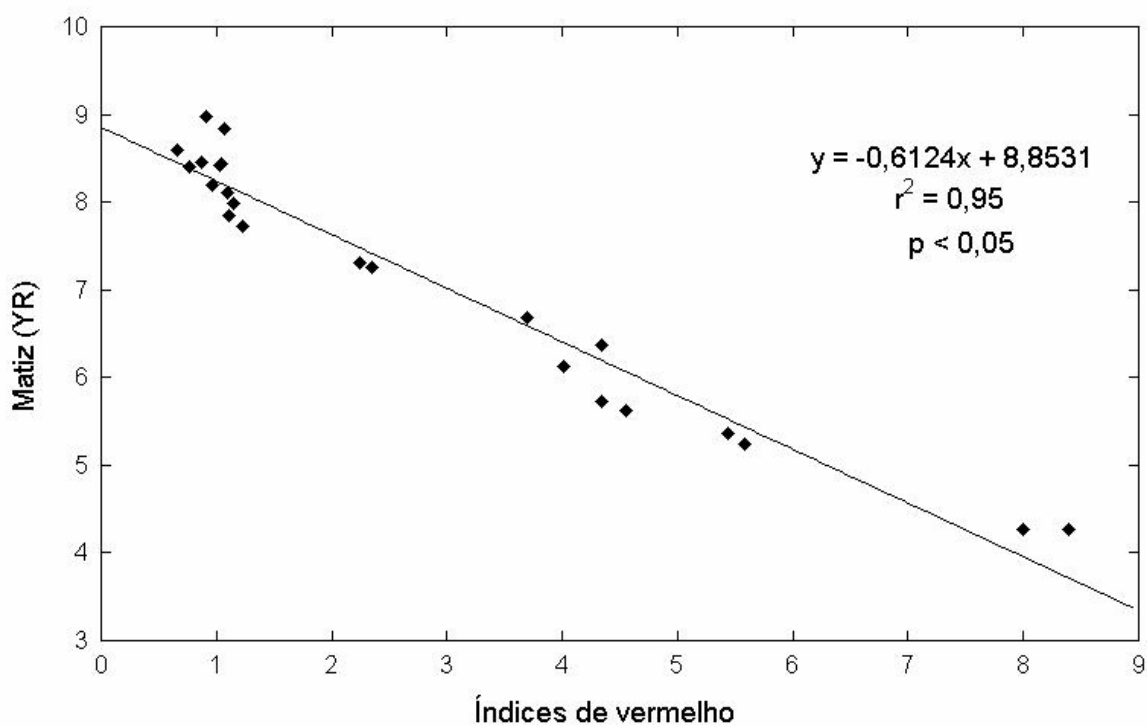


Figura 18 - Relação entre os índices de vermelho e o matiz para todos os solos

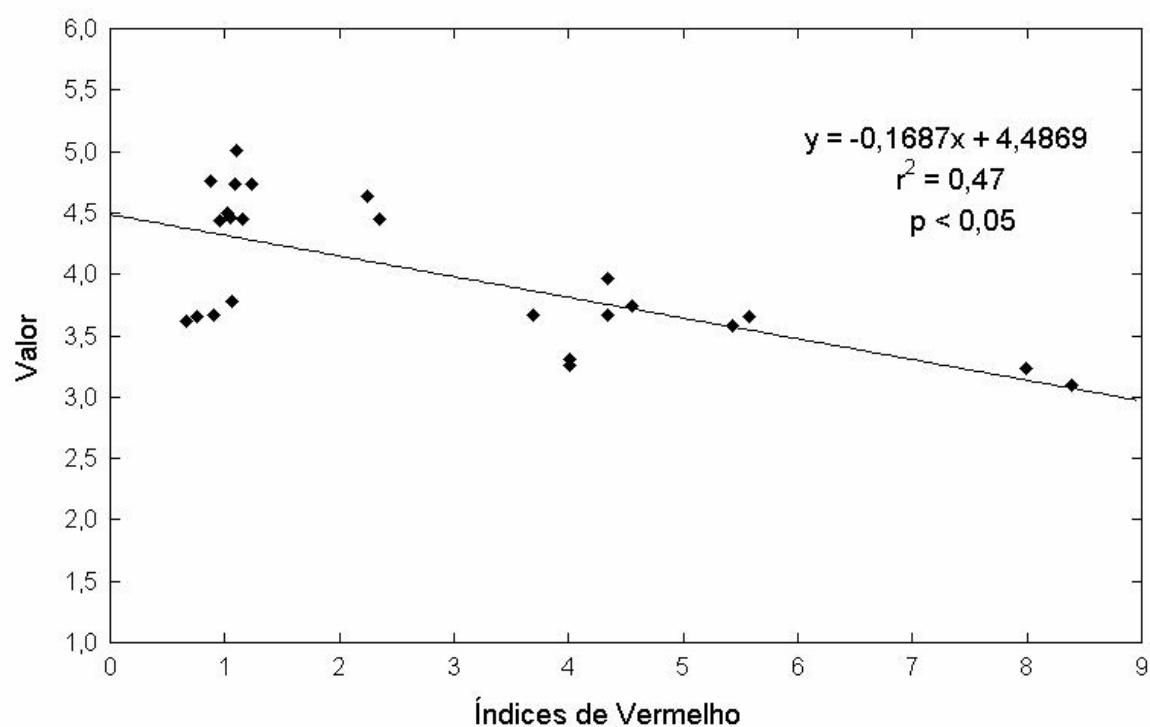


Figura 19 - Relação entre os índices de vermelho e o valor para todos os solos

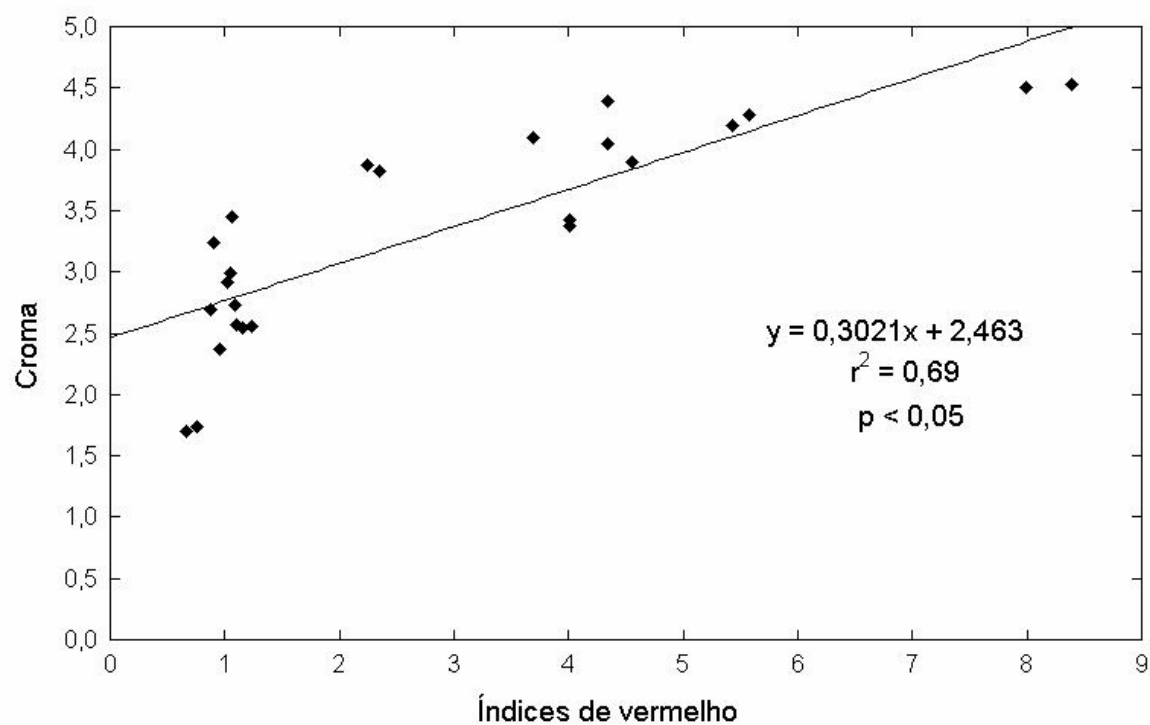


Figura 20 - Relação entre os índices de vermelho e o croma para todos os solos

Os solos com maiores índices de vermelho são o LVd1, LVd2, LVdf2 e PVD1, cuja presença de hematita foi observada nos difratogramas de raios-X (Figuras 6 e 7), indicando que a hematita é responsável pela cor avermelhada a estes solos. Campos (2001) utilizou os índices de vermelho obtidos por colorimetria para semiquantificar os teores de hematita no solo.

A obtenção dos índices de vermelho por colorimetria visa obter informações quantitativas da cor do solo com maior precisão e por apresentar condições controladas, minimizando a possibilidade de erro na determinação desses índices pela carta de Munsell, que possui caráter subjetivo e menor precisão quando pretende-se quantificar a cor do solo.

3.4 CONCLUSÕES

O sistema Munsell mostrou ser suficiente para a descrição da cor do solo, sendo também de fácil manuseio. Por outro lado, devido a fatores físicos e psicofísicos, alguns erros estão envolvidos neste método atribuindo-lhe características subjetivas.

Embora os coeficientes de correlação entre as medidas realizadas pelo método visual e pelo colorímetro tenham sido altos, o colorímetro teve maior precisão na determinação da cor em virtude de apresentar condições controladas e por medir diferenças de cor em pequenos intervalos de matizes entre duas páginas consecutivas da carta de Munsell, sendo impossível de detectar tais diferenças com o método visual. O colorímetro mostrou possuir potencial para quantificar a cor.

Através da correlação entre as análises de cor feitas por cada observador individualmente com a média do método visual e do colorímetro, observou-se que o componente valor apresentou a menor variabilidade para ambos os métodos e o croma apresentou a maior variação.

O componente matiz apresentou a maior concordância entre os observadores, considerando as medidas para uma mesma amostra de solo e o valor apresentou precisão intermediária. Entretanto, houve mais dificuldade dos

observadores em avaliar o croma, que pode estar relacionado a menor sensibilidade visual em identificar as diferentes tonalidades de cinza.

Não houve significância nas correlações entre os componentes da cor, matiz e croma com a granulometria, teores de matéria orgânica, Fed e Feo. Já o componente valor apresentou correlações significativas com as características analisadas. Os solos mais arenosos (com predomínio do quartzo) apresentaram cores mais claras, com o valor Munsell superior aos solos argilosos e com elevados teores de matéria orgânica e ricos em óxidos de ferro. A correlação obtida entre a matéria orgânica e o valor foi possível ao separar os solos com matizes mais vermelhos que 6,25YR, considerados solos hematíticos e com teores médios a baixos de matéria orgânica (LVd1, LVd2, LVdf2 e PVd1). O matiz, que está diretamente relacionado às variações do vermelho e amarelo, apresentou boas correlações com os índices de vermelho.

Sugere-se, para continuidade dos trabalhos, que os solos sejam separados por classes taxonômicas, para que se possa estabelecer algoritmos que auxiliem a identificação ou quantificação de determinadas características do solo através da medida da cor por colorimetria.

4 - ESTUDO 2: COMPORTAMENTO ESPECTRAL DE SOLOS DO RIO GRANDE DO SUL

4.1 INTRODUÇÃO

O sensoriamento remoto pode ser definido como sendo a forma de se obter informações de um determinado objeto ou alvo, sem que haja contato físico com o mesmo. As informações são obtidas utilizando-se a radiação eletromagnética, gerada por uma fonte natural como o Sol, ou por fontes artificiais, como uma lâmpada ou um radar (Rosa, 1995; Florenzano, 2002).

O fundamento do sensoriamento remoto está na interação da energia eletromagnética com os objetos da superfície terrestre, como solos, corpos d'água, formações rochosas, vegetação e construções civis, uma vez que a energia eletromagnética proveniente de um alvo conterà informações sobre o mesmo, em termos das suas propriedades espaciais (tamanho, forma, estrutura e textura) e de suas propriedades espectrais (reflectância, absortância e transmitância).

Nesse contexto, a espectrorradiometria pode ser definida como a técnica de sensoriamento remoto que obtém informações sobre um objeto através das curvas de reflectância, em diferentes regiões do espectro eletromagnético. A medida de reflectância é captada por sensores, denominados espectrorradiômetros, através da comparação entre o fluxo de radiação refletida e a quantidade de radiação incidente sobre o alvo. Conforme Novo (1992), os espectrorradiômetros decompõem a radiação incidente em diferentes comprimentos de onda, possibilitando medir a resposta do alvo de maneira contínua ao longo do espectro eletromagnético, fornecendo um conjunto de dados numéricos ou gráficos, conhecidos como curvas ou assinaturas espectrais.

A curva espectral de um determinado objeto depende de sua composição física, química e mineralógica e as variações de amplitude nas assinaturas espectrais indicam propriedades que se manifestam na interação da radiação eletromagnética com os objetos. Como os diferentes objetos possuem propriedades

diferentes, eles podem ser identificados utilizando a espectrorradiometria (Dalmolin, 2002).

No caso dos solos, diversos estudos visam correlacionar as curvas espectrais com suas características. O comportamento espectral dos solos varia de acordo com diversos fatores inerentes aos mesmos, sendo os mais importantes o teor de matéria orgânica, óxidos de ferro, granulometria, umidade e mineralogia (Stoner et al., 1980; Stoner e Baumgardner, 1981; Demattê, 1995; Formaggio et al. 1996; Dalmolin, 2002).

A matéria orgânica influencia a reflectância dos solos. O efeito causado pela matéria orgânica na resposta espectral do solo é relatado por Baumgardner et al. (1985), sendo que o aumento no conteúdo de matéria orgânica provoca um decréscimo na reflectância dos solos ao longo do espectro óptico. Segundo este autor, quando o conteúdo de matéria orgânica excede 2%, pode haver efeito de máscara nas propriedades espectrais dos outros constituintes do solo. Krishman et al. (1980) e Henderson et al. (1992) selecionaram a região do visível como a mais adequada para predizer os teores de matéria orgânica no solo, enquanto Coleman e Montgomery (1987) elegeram a região do infravermelho próximo entre 700 e 900 nm.

A quantidade e o tipo de óxidos de ferro também influenciam a resposta espectral dos solos, diminuindo o albedo da curva espectral principalmente nas regiões do visível e do infravermelho próximo (Stoner, 1979; Formaggio et al., 1996). Os óxidos de ferro apresentam feições típicas, principalmente nas regiões de 450 e 900 nm, que são intensas quando os teores de ferro são mais elevados (Stoner e Baumgardner, 1981).

Outro fator que influencia na resposta espectral do solo é a granulometria. Solos de textura arenosa tendem a apresentar uma reflectância maior, por serem ricos em quartzo e pelo fato de apresentarem baixos teores de matéria orgânica, óxidos de ferro e menores teores de água, enquanto para solos de textura argilosa a reflectância tende a diminuir. Para Galvão (1994), conforme o teor de argila das amostras aumenta, sua reflectância diminui, principalmente no infravermelho, ocorrendo o contrário em relação ao teor de areia.

A cor do solo é um dos atributos mais importantes na caracterização espectral dos solos. Sua importância reside no fato de que a matéria orgânica e os óxidos de ferro estão associados a ela (Fernandez e Schulze, 1987), sendo largamente

utilizada na identificação de solos e pode ser facilmente determinada. Stoner et al. (1991) observaram que a capacidade de distinguir classes de solos por meio de dados espectrais está relacionada ao comportamento espectral dos componentes do solo, sendo a cor do solo uma propriedade variável com o tipo e conteúdo de óxidos de ferro. Em termos de espectrorradiometria, os solos avermelhados proporcionam uma reflectância menor nos comprimentos de onda correspondentes ao visível em relação aos solos amarelados (Demattê, 1995). Post et al. (1994) e Demattê (1995) observaram boas correlações entre os componentes da cor matiz, valor e croma com a reflectância do solo na região do visível e ainda no intervalo do infravermelho até 1100 nm.

Os solos apresentam diferentes características como teor de matéria orgânica, teor e tipo de óxidos de ferro, textura e mineralogia. Estas características influenciam o comportamento espectral do solo, sendo possível identificar e quantificá-las através da análise de seus espectros. Assim, os objetivos deste estudo são: (I) caracterizar o comportamento espectral destes solos no intervalo espectral de 400 a 2500 nm do espectro óptico e; (II) correlacionar a reflectância do solo com as principais características do solo (matéria orgânica, óxidos de ferro, textura e cor).

4.2 MATERIAIS E MÉTODOS

Os solos utilizados neste estudo estão descritos no item 3.2.1 do Estudo1, sendo utilizada amostras coletadas nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm.

4.2.1 Espectrorradiometria

As análises radiométricas foram realizadas no laboratório de radiometria (LARAD), da Divisão de Sensoriamento Remoto, no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), localizado em São José dos Campos-SP.

A reflectância espectral dos solos foi obtida nas amostras preparadas conforme a seguir: a) amostras de terra fina seca ao ar (TFSA); b) amostras de TFSA nas quais foi realizada a remoção da matéria orgânica utilizando-se H_2O_2 a 30%, (EMBRAPA, 1997) e; c) amostras em que a TFSA foi moída em gral de ágata até a uniformização da cor e passada por uma peneira com malha de 0,250 mm (Scheinost e Schwertmann, 1999).

Para leitura, as amostras foram acondicionadas em placas de petri com diâmetro de 14 cm e 2 cm de altura, com máxima uniformização da superfície, para diminuir o efeito de sombra e evitar possíveis interferências do fundo da placa na reflectância. Utilizou-se um espectrorradiômetro FieldSpec Pro FR (Figura 21), cobrindo a janela espectral de 400 a 2500 nm, com resolução espectral de 1 nm em todo o espectro óptico.

O espectrorradiômetro utiliza uma pistola óptica que transmite a luz para três detectores em separado. Cada detector converte os fótons em elétrons, que são armazenados ou integrados até o final da leitura. Os dados digitais são transferidos para o microcomputador, o qual possui o software específico, sendo programado para fornecer o espectro de reflectância em tempo real. O aparelho foi configurado para armazenar a média de dez espectros a cada registro e para cada amostra foram realizadas duas medidas totalizando 20 espectros para cada amostra.

A fonte de iluminação foi proveniente de uma lâmpada de 600 W, colocada em um tripé a aproximadamente 90 cm das placas de petri com as amostras, com ângulo zenital de 15°. Uma placa spectralon foi utilizada como padrão de referência absoluta. O fator de reflectância foi gerado através da razão entre o fluxo refletido da energia pelo solo e o fluxo radiante refletido pela placa de spectralon, ambos nas mesmas condições de leitura.

Os resultados são apresentados em forma de curvas espectrais, que relacionam a intensidade da reflectância com o comprimento de onda ao longo da faixa espectral estabelecida. Para calcular as médias dos espectros de cada solo e para a confecção dos gráficos foi utilizada uma planilha eletrônica.

4.2.2 Análises estatísticas

As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software *Statistica for Windows*, versão 5, através dos coeficientes de correlação com equações lineares, para analisar as relações existentes entre a reflectância e as características dos solos. Baseado nos trabalhos de Demattê (1995) e Dalmolin (2002), foram selecionados catorze comprimentos de onda para representar a variação na reflectância ao longo do espectro óptico e posteriormente realizar as correlações com as características dos solos.

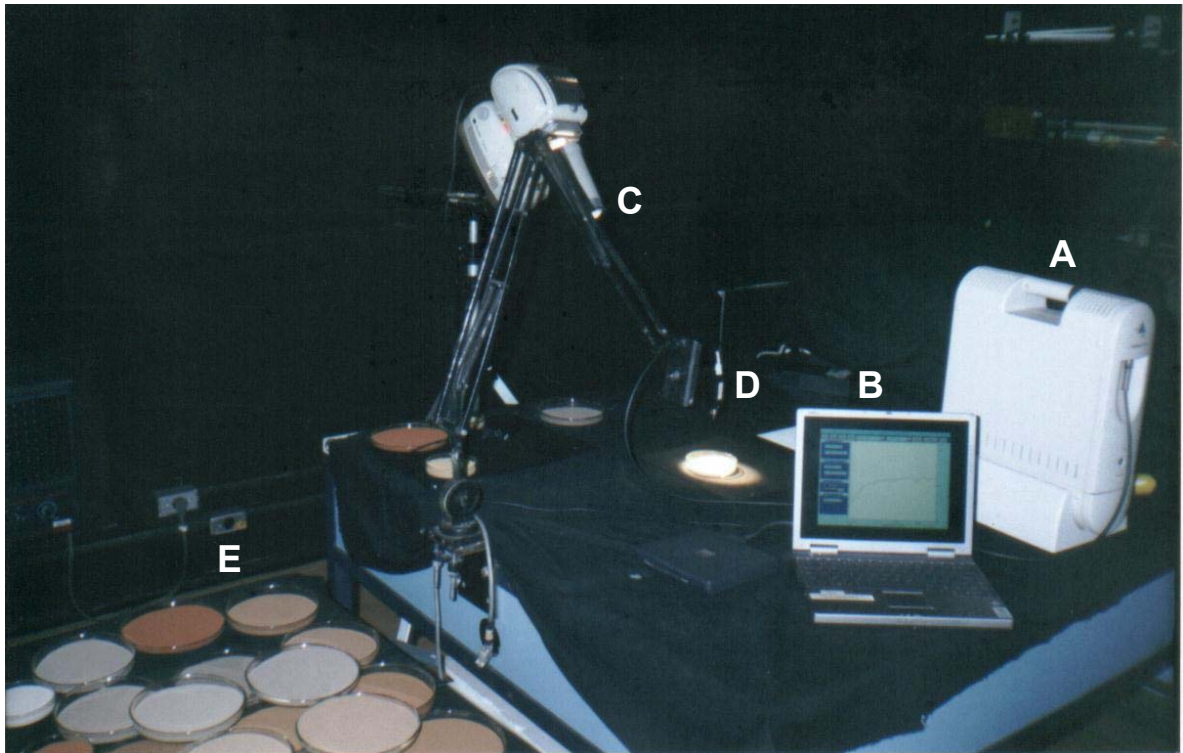


Figura 21 - Detalhes da espectrorradiometria: (A) espectrorradiômetro; (B) computador que gerencia o software; (C) fonte de iluminação; (D) pistola que realiza as leituras; (E) solos nas placas de petri.

As bandas selecionadas estão centradas em 470, 540, 600, 770, 900, 1050, 1250, 1550, 1750, 1900, 2050, 2200, 2250 e 2400 nm, sendo correlacionadas com as seguintes variáveis, com significância a 5%: teores de matéria orgânica, areia, silte, argila, Fed, Feo, relação Feo/Fed, matiz, valor, croma e índices de vermelho.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O comportamento espectral dos solos foi estudado em diferentes profundidades (0-20 e 20-40 cm). Conforme observado no estudo 1, a textura, teor de matéria orgânica, óxidos de ferro e cor não mudam significativamente entre as duas profundidades, embora haja pequenas variações na reflectância dos solos ao longo do espectro.

Este item divide-se em três partes: primeiro é realizado uma análise descritiva geral das curvas espectrais para todos os solos, em TFSA, mostrando as variações no albedo e no formato das curvas espectrais apenas para a profundidade de 0-20

cm. A segunda parte compara as características espectrais para cada solo nas duas profundidades e as diferenças na curva espectral das amostras moídas e amostras em que a matéria orgânica foi eliminada. A terceira parte analisa as correlações existentes entre as bandas espectrais e as características dos solos.

4.3.1 Forma geral das curvas espectrais - TFSA 0-20 cm

Os resultados obtidos mostram grande variabilidade no comportamento espectral dos solos estudados, provavelmente devido aos diferentes teores de matéria orgânica e óxidos de ferro, mineralogia e umidade residual, que irão refletir no formato da curva e nas feições de absorção atribuídas aos minerais.

Em todos os solos aparecem claramente as bandas de absorção centradas em 1400, 1900 e 2200 nm. As bandas de absorção que ocorrem nas regiões de 1400 e 2200 nm são atribuídas à presença de caulinita e/ou montmorilonita, associados a grupos de hidroxilas OH e Al-OH presente nos minerais (Mathews et al., 1973; Demattê e Garcia, 1999; Dalmolin, 2002). A banda em 1900 nm é característica da presença da água associada à presença de caulinita (Demattê, 1995) ou vermiculita (Baumgardner et al., 1985, Demattê et al., 2000; Alvarenga et al., 2003).

As curvas espectrais para os solos LVd1, LVd2 e PVd1 estão na figura 22, apresentando formatos semelhantes, porém com diferenças de albedo. O formato da curva espectral para estes solos possui caráter ascendente até 2100 nm, passando a tomar sentido descendente até 2500 nm. Entretanto, a intensidade de reflectância do solo LVd1 é maior e está relacionada ao elevado teor de areia (764 g kg^{-1}) e aos menores teores de matéria orgânica e óxidos de ferro quando comparados ao solo LVd2. O solo PVd1 possui teores de matéria orgânica e óxidos de ferro intermediários aos solos LVd1 e LVd2. Observa-se claramente na figura 22 que as curvas espectrais seguem a mesma seqüência dos teores de matéria orgânica e Fed para estes solos (Tabela 3, Estudo 1). A reflectância de um solo normalmente diminui conforme aumenta o teor de matéria orgânica e o teor de óxidos de ferro (Al-Abbas et al., 1972; Demattê, 1995).

No caso dos solos LVdf1, LVdf2 e LBa, mais argilosos e com teor de ferro elevado, o albedo da curva espectral foi menor quando comparados aos solos LVd1 e LVd2, com textura mais leve, concordando com Montgomery (1976), onde solos

com elevado teor de argila proporcionam menor reflectância em relação a solos arenosos. As curvas espectrais para estes solos têm caráter ascendente abrupto entre 500 e 800 nm, ascendendo lentamente até 1250 nm, passando a decrescer até 2500 nm (Figura 23).

Os solos LVdf1 e LBa apresentaram reflectância ligeiramente superior ao LVdf2 ao longo do espectro, embora tenham teores de matéria orgânica mais elevados. Neste caso, as diferenças no albedo dos solos devem-se mais à presença e ao tipo de óxidos de ferro, predominantemente goethita (Dalmolin, 2002), que absorve menos radiação em relação a hematita (Kosmas et al., 1984).

A banda próxima à região dos 450 nm é caracterizada pela presença da goethita e está presente nos solos LVdf1 e LBa e pode servir para diferenciar solos hematíticos e goethíticos. A feição espectral na região de 900 nm com formato côncavo também indica a presença de óxidos de ferro (Stoner et al., 1980) e pode ser observada em todos os Latossolos, indo ao encontro dos trabalhos de Nunes (1999) e Dalmolin (2002), cuja feição apareceu menos pronunciada nos solos LVd1 e LVd2 (Figura 22), devido aos menores teores de óxidos de ferro.

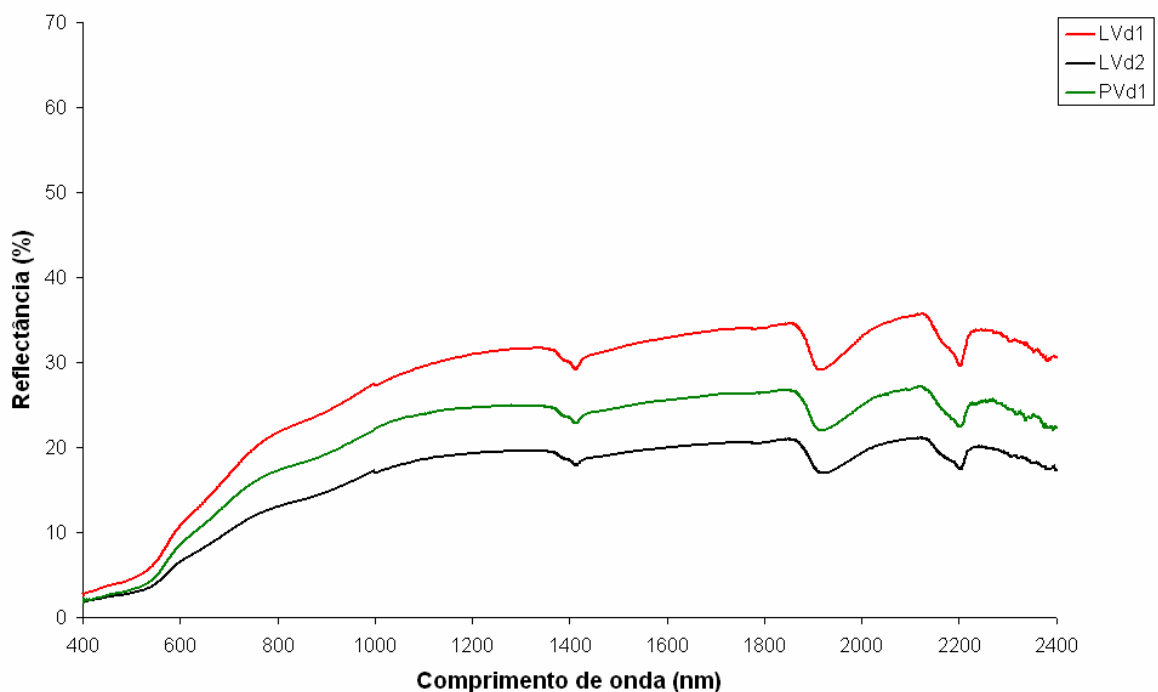


Figura 22 - Curvas espectrais para os solos LVd1, LVd2 e PVd1 na profundidade de 0-20 cm

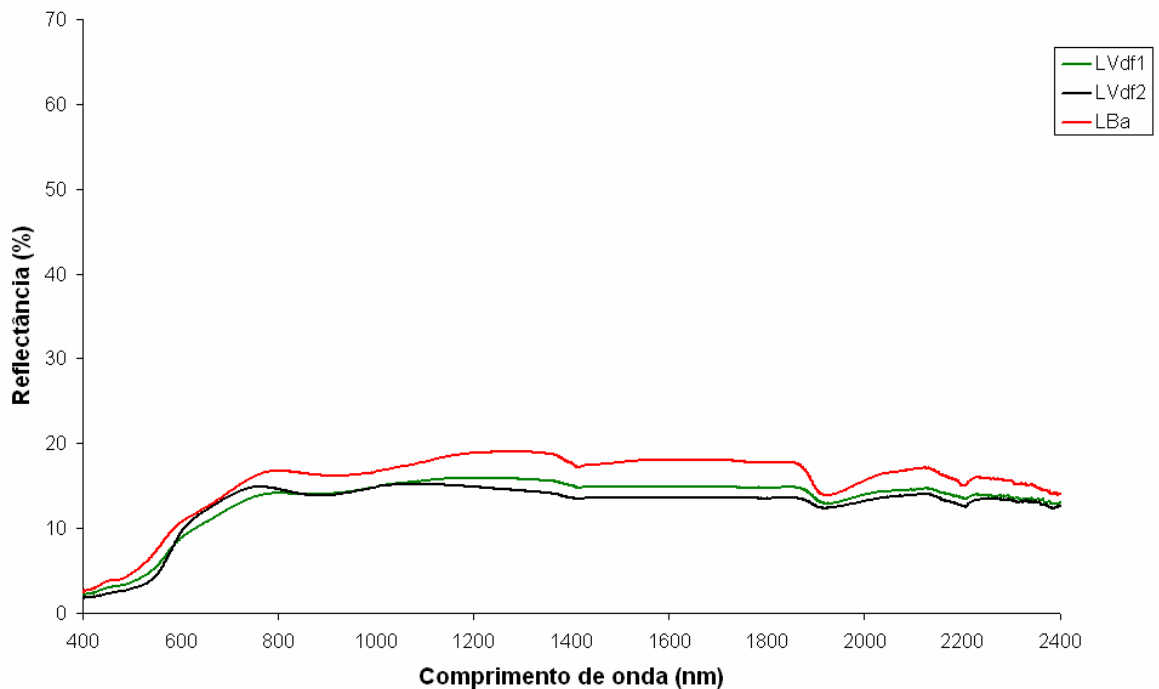


Figura 23 - Curvas espectrais para os solos LVdf1, LVdf2 e LBa na profundidade de 0-20 cm

No caso dos solos APt, PVd2 e PVd3 (Figura 24), o albedo das curvas espectrais é superior ao dos Latossolos. São solos com textura média a arenosa, baixos teores de matéria orgânica e óxidos de ferro. O formato da curva espectral do solo APt possui ligeira concavidade na região do visível seguida por intensa ascensão até 1300 nm e caracterizada pela ausência das bandas de absorção pelos óxidos de ferro, com destaque para as bandas centradas em 1400, 1900 e 2200 nm. Esta informação está de acordo com Galvão (1994), onde solos com textura média a arenosa apresentam albedos intermediários a altos, enquanto os solos argilosos tendem a apresentar albedos intermediários a baixos.

As curvas dos solos PVd2 e PVd3 possuem formato semelhante, porém, com fracas bandas de absorção em 450 e 900 nm e com albedos inferiores ao APt. O albedo desses solos foi influenciado pelo aumento dos teores de matéria orgânica e óxidos de ferro em relação ao APt.

O albedo das curvas dos solos SGe, SXe e VEO é mostrado na figura 25, onde as curvas dos solos SGe e SXe possuem albedos intermediários a altos, atribuídos aos teores médios a baixos de matéria orgânica e óxidos de ferro, além dos baixos teores de argila (Tabela 3, Estudo 1). As curvas para estes solos têm

caráter ascendente até 1300 nm, com ascensão lenta até 1800 nm, passando a decrescer a partir desse comprimento de onda. Segundo Formaggio et al. (1996), o conteúdo de matéria orgânica influencia nos valores do albedo para solos hidromórficos, com concavidade geralmente na região entre 400 e 1450 nm.

No caso do solo VEO, a curva de reflectância apresenta uma concavidade desde a região do visível até 1300 nm. São solos que possuem teores de matéria orgânica próximos a 50 g kg^{-1} , textura argilosa e teores médios em óxidos de ferro. A reflectância em todo o espectro é considerada baixa. Para este solo, observa-se a influência da matéria orgânica sobre a reflectância em praticamente todo o espectro óptico.

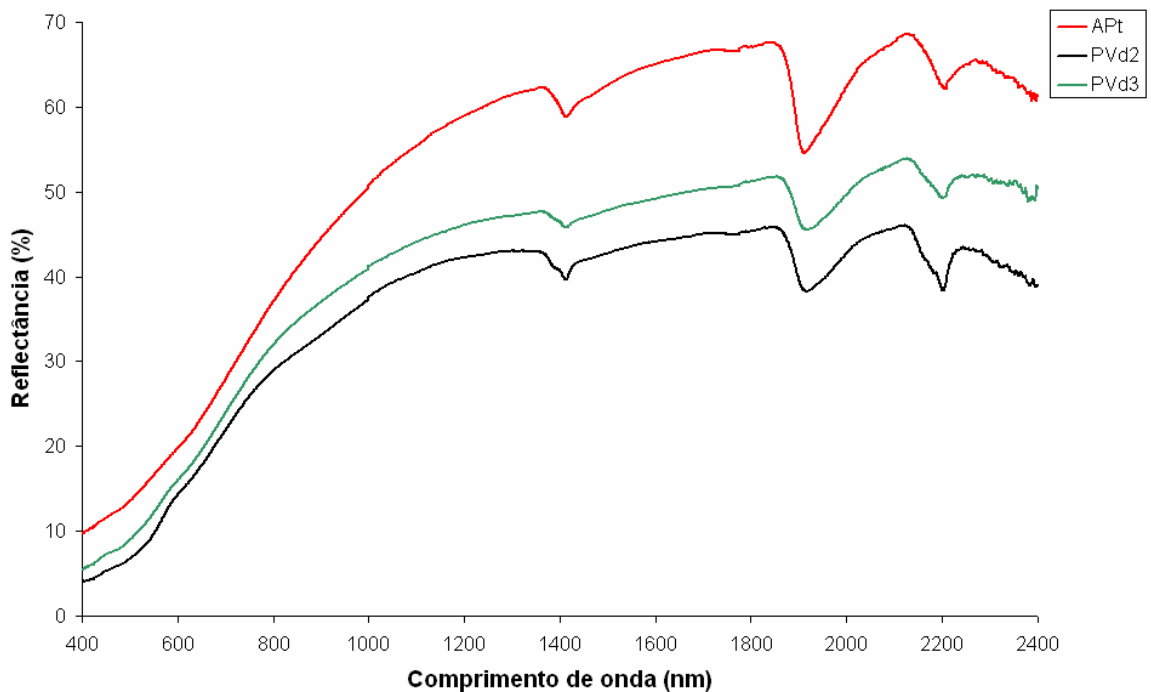


Figura 24 - Curvas espectrais para os solos APt, PVd2 e PVd3 na profundidade de 0-20 cm

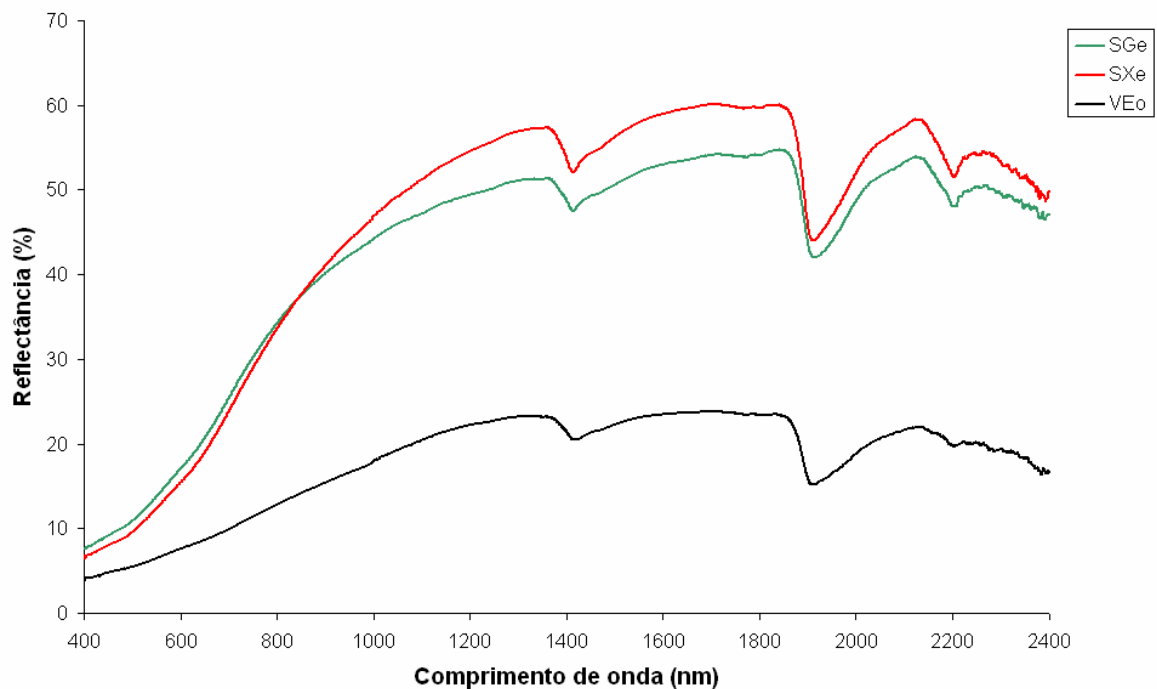


Figura 25 - Curvas espectrais para os Planossolos (SGe e SXe) e Vertissolo (VEo) na profundidade de 0-20 cm

4.3.2 Comportamento espectral dos solos

As variações espectrais para as profundidades de 0-20 e 20-40 cm, de TFSA, são comparadas com as amostras onde foi removida a matéria orgânica (0-20 cm) e com as amostras moídas e peneiradas (0-20 cm).

Nota-se que as curvas espectrais médias dos solos moídos em gral de ágata acompanham o formato das curvas dos solos sem moer (TFSA), mas com maior reflectância, conforme Cipra et al. (1981). O mesmo não acontece para solos em que a matéria orgânica foi removida, onde podem ser observadas maior reflectância e acentuação das bandas espectrais atribuídas aos óxidos de ferro. O aumento da matéria orgânica diminui a reflectância do solo em todo o espectro óptico ou em parte dele (Coleman e Montgomery, 1987; Henderson et al., 1989).

Ao examinar as curvas espectrais dos solos LVd1 (Figura 26) e LVd2 (Figura 27), observa-se que a profundidade de 0-20 cm apresenta albedo ligeiramente superior à de 20-40 cm, na região do infravermelho em amostras sem moer. Por exemplo, o solo LVd2, com 25 g kg^{-1} de matéria orgânica nos primeiros 20 cm, possui reflectância maior do que em 20-40 cm, com 20 g kg^{-1} de matéria orgânica. Ao observar estas duas profundidades, as diferenças no albedo podem ser

atribuídas pelo ligeiro aumento do conteúdo de óxidos de ferro (Tabela 3, Estudo 1) ou pela irregularidade de tamanho e disposição dos agregados, gerando efeitos de sombra e espalhamento da luz de forma diferenciada para cada solo.

Ainda para os solos LVd1 e LVd2 observa-se o aumento considerável na reflectância para as amostras moídas e também em função da eliminação da matéria orgânica. Neste último tratamento destaca-se a intensidade da feição em torno de 900 nm, característica da presença dos óxidos de ferro e que estava sendo mascarada pela presença da matéria orgânica. Este efeito é relatado por Baumgardner et al. (1970, 1985) em solos com mais de 2% de matéria orgânica. Galvão e Vitorello (1998) observaram a maior intensidade deste efeito em solos com teores de matéria orgânica superiores a 1,7%. As curvas espectrais para o solo LVdf1 (Figura 28) possuem o mesmo formato, porém com variações no albedo, acontecendo o mesmo para o solo LBa (Figura 29).

Os teores de matéria orgânica e de óxidos de ferro variam pouco e as curvas espectrais praticamente se confundem até a região de 600 nm. A profundidade de 20-40 apresentou albedo ligeiramente superior à profundidade de 0-20 cm no solo LVdf1 até 900 nm, ocorrendo o inverso a partir desse comprimento de onda. As feições espectrais atribuídas aos óxidos de ferro foram mais pronunciadas quando a matéria orgânica foi removida, sendo as feições de 450 e 900 nm as que mais de destacaram.

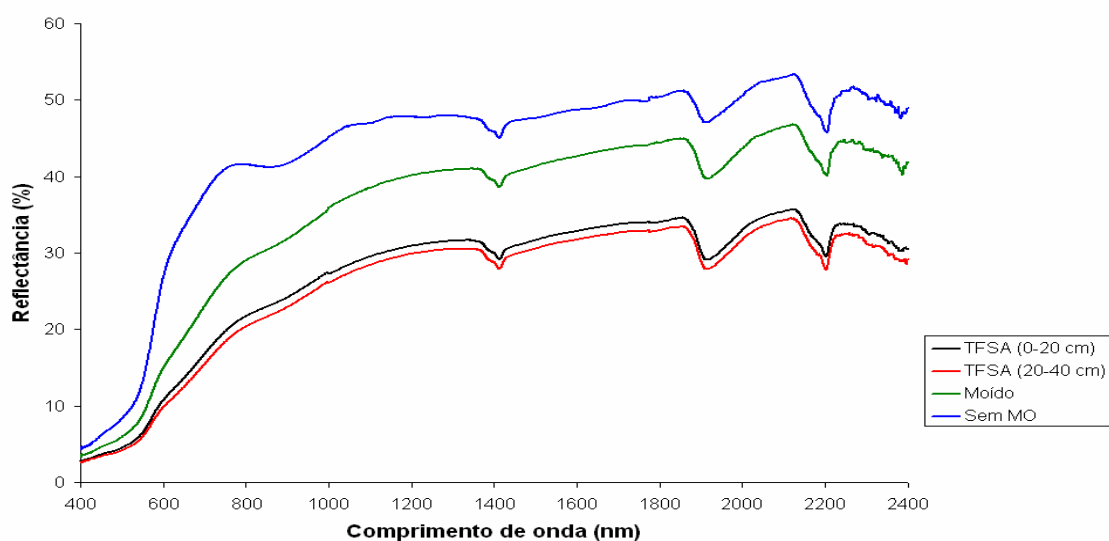


Figura 26 - Curvas espectrais para as profundidades de 0-20 e 20-40 cm (TFSA), moído e sem matéria orgânica (0-20 cm) para o solo LVd1

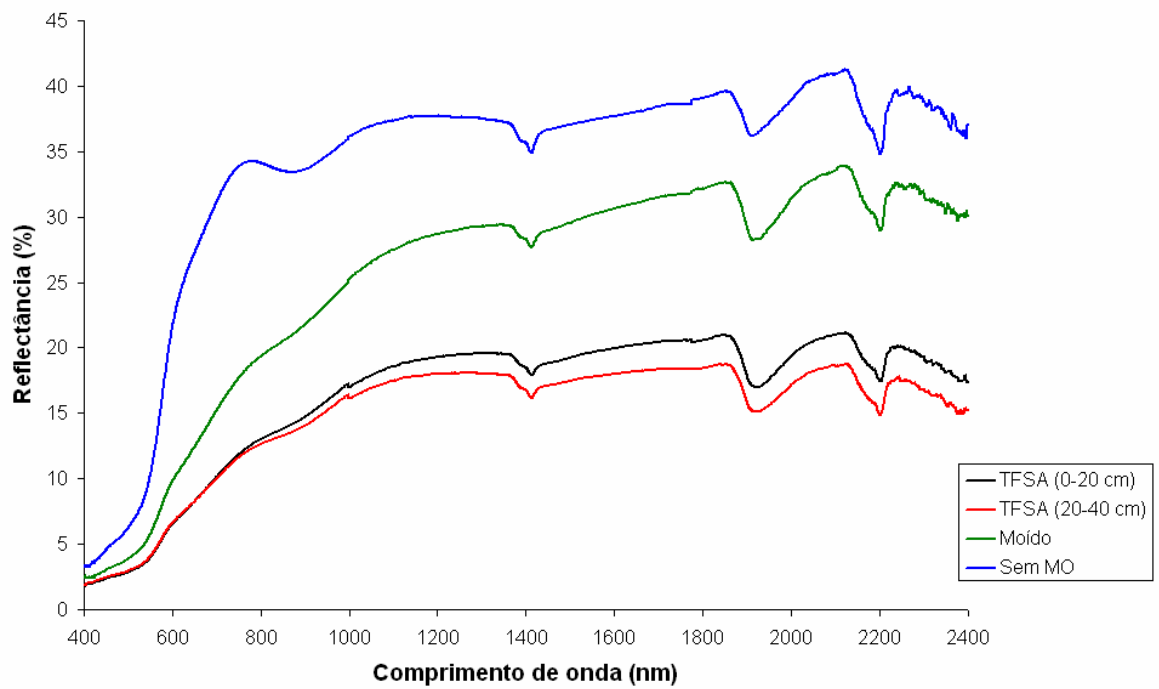


Figura 27 - Curvas espectrais para as profundidades de 0-20 e 20-40 cm (TFSA), moído e sem matéria orgânica (0-20 cm) para o solo LVd2

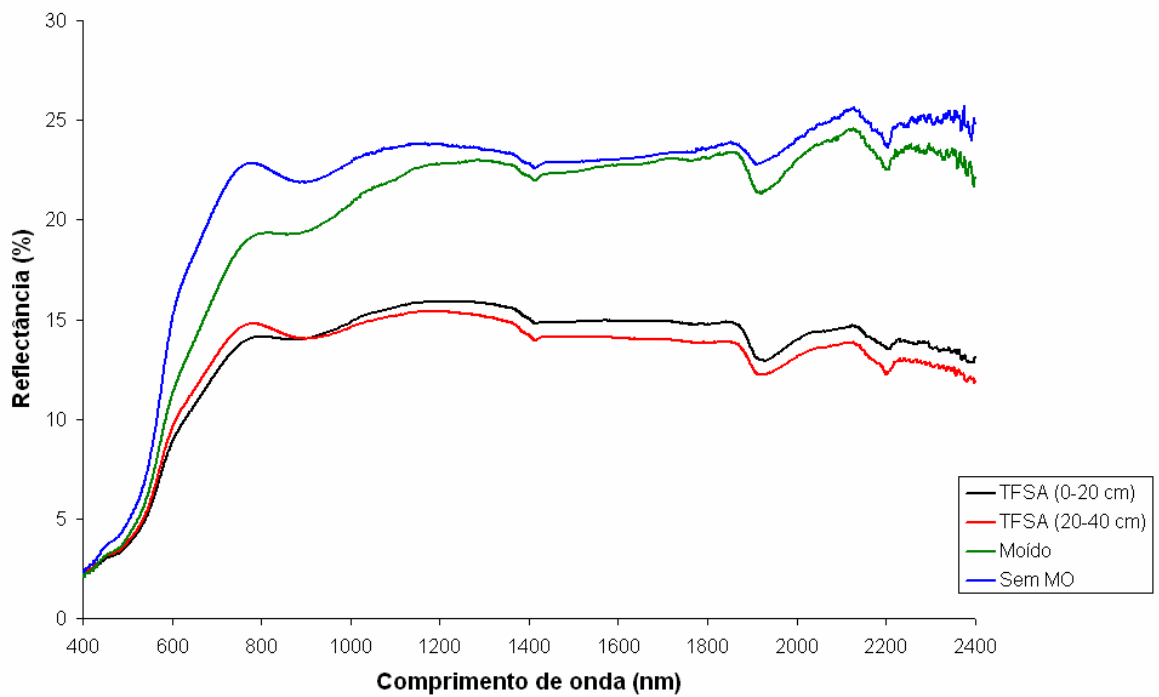


Figura 28 - Curvas espectrais para as profundidades de 0-20 e 20-40 cm (TFSA), moído e sem matéria orgânica (0-20 cm) para o solo LVdf1

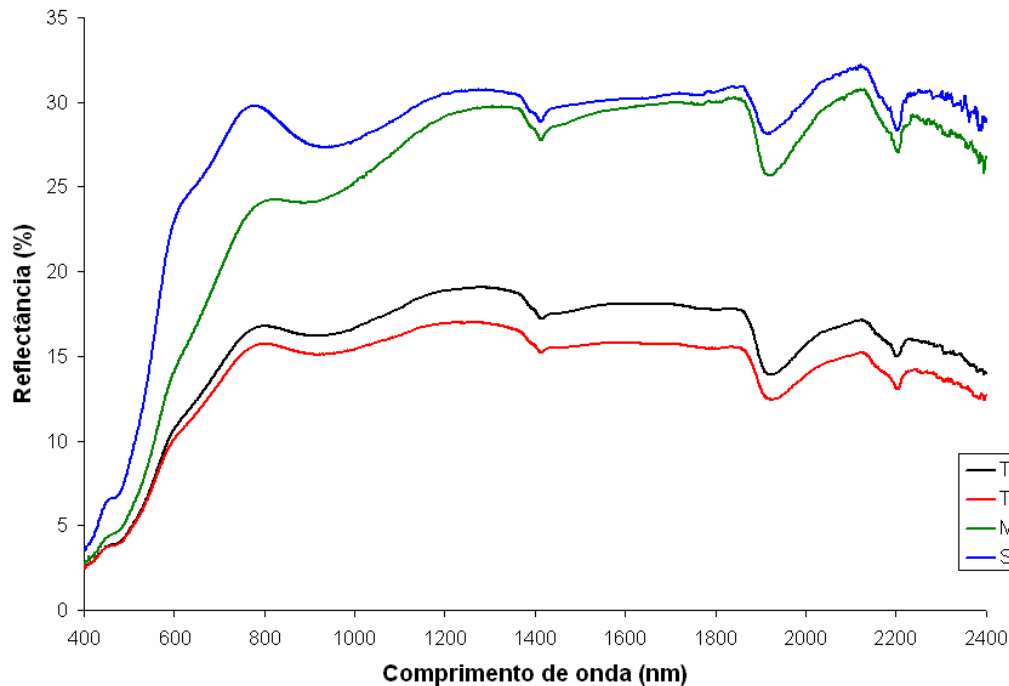


Figura 29 - Curvas espectrais para as profundidades de 0-20 e 20-40 cm (TFSA), moído e sem matéria orgânica (0-20 cm) para o solo LBa

Para os solos goethíticos LBa e LVdf1, a feição típica da presença da goethita centrada em 450 nm ficou mais nítida com a remoção da matéria orgânica, assim como a concavidade em torno de 900 nm, concordando com os trabalhos de Demattê e Garcia (1999) e Dalmolin (2002), que também observaram uma concavidade estreita entre 400 e 600 nm, permitindo a distinção entre solos goethíticos e hematíticos. A presença de goethita é observada nos difratogramas de raios X destes solos (Figura 5, Estudo 1). Geralmente os solos ricos em goethita possuem reflectância maior que solos ricos em hematita, onde a goethita absorve mais energia em 380 e 800 nm e a hematita entre 400 e 570 (Kosmas et al., 1984).

O solo LVdf2 (Figura 30) apresentou aumento significativo na reflectância entre 580 e 750 nm, responsável pela cor vermelha, quase não existindo diferenças de albedo entre as duas profundidades. A matéria orgânica quando removida proporcionou um aumento na reflectância do solo, equivalente ao aumento obtido na amostra moída. O teor de Fed nos solos LBa, LVdf1 e LVdf2 é elevado, o que evidencia melhor as bandas de absorção do ferro em 900 nm. Os solos LVd1 e LVd2, com menor teor de Fed, apresentam bandas de absorção menos evidentes.

Curvas espectrais semelhantes aos Latossolos são mostradas na figura 31, para o solo PVd1, classificado como Argissolo Vermelho distrófico latossólico, justificando a nomenclatura no 4º nível categórico do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999). Houve pequena variação no albedo e nos teores de matéria orgânica e óxidos de ferro entre as duas profundidades. Houve um ganho maior em reflectância na faixa entre 500 e 800 nm a partir da eliminação da matéria orgânica, destacando a feição dos óxidos de ferro em 900nm, com maior concavidade.

Os solos PVd2 e PVd3 são de textura arenosa a média e com pouca matéria orgânica e óxidos de ferro. As curvas espectrais do solo PVd2 praticamente não variam na região do visível, com aumento no albedo para a profundidade de 20-40 cm a partir do infravermelho próximo, o que pode estar relacionado à diminuição da matéria orgânica (Figura 32). A remoção da matéria orgânica provocou pouca mudança no albedo da curva espectral, exceto na região entre 500 e 1200 nm, evidenciando uma fraca feição espectral em 450 nm e outra mais pronunciada em 900 nm. O mesmo comportamento ocorre no solo PVd3, onde a reflectância aumenta conforme diminui a matéria orgânica (Figura 33). Galvão et al. (1997) observaram maiores valores de reflectância no horizonte superficial de Argissolos Vermelho-amarelo em função da composição dos mesmos.

As curvas espectrais para o solo APt praticamente não apresentam aumento na reflectância quando moídas (Figura 34). A profundidade de 20-40 cm tem albedo levemente superior à de 0-20 cm, preponderando a influência do decréscimo na matéria orgânica, uma vez que o teor de Fed praticamente não varia. No tratamento para eliminação da matéria orgânica com H_2O_2 , a reflectância aumentou consideravelmente até 1300 nm e as bandas em 450 e 900 nm são muito fracas, associadas aos baixos teores de ferro. Isto vem a concordar com o trabalho de Alvarenga et al. (2003), em que solos com baixos teores de matéria orgânica e óxidos de ferro diminuem a absorção da radiação, causando aumento na reflectância, o que também está associado à presença de areia.

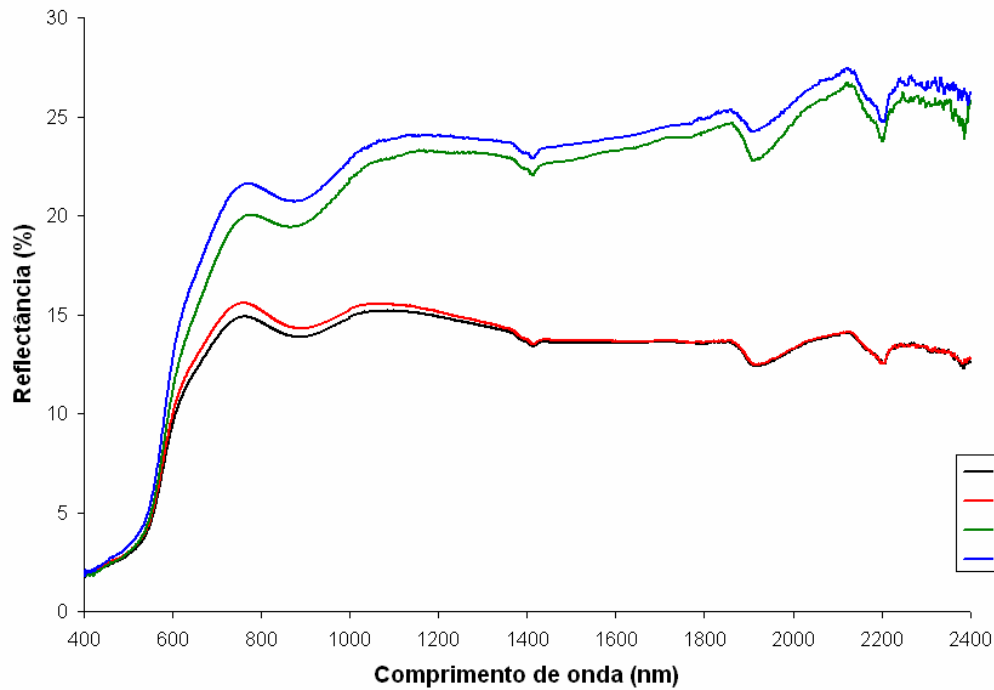


Figura 30 - Curvas espectrais para as profundidades de 0-20 e 20-40 cm (TFSA), moído e sem matéria orgânica (0-20 cm) para o solo LVdf2

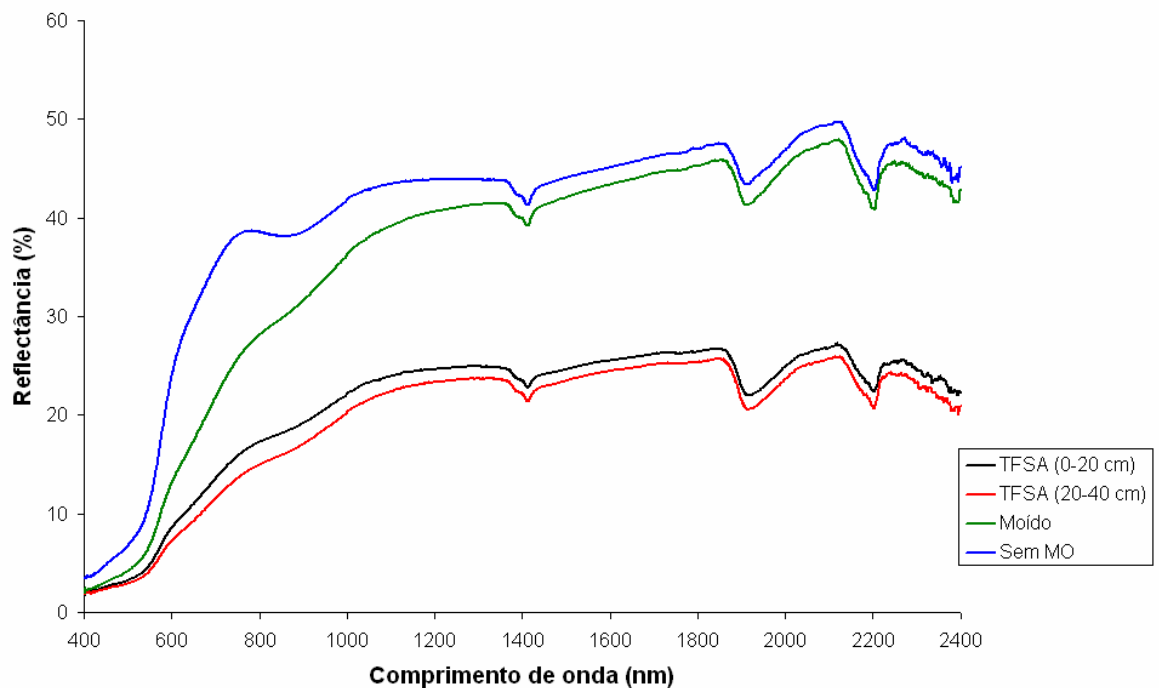


Figura 31 - Curvas espectrais para as profundidades de 0-20 e 20-40 cm (TFSA), moído e sem matéria orgânica (0-20 cm) para o solo PVd1

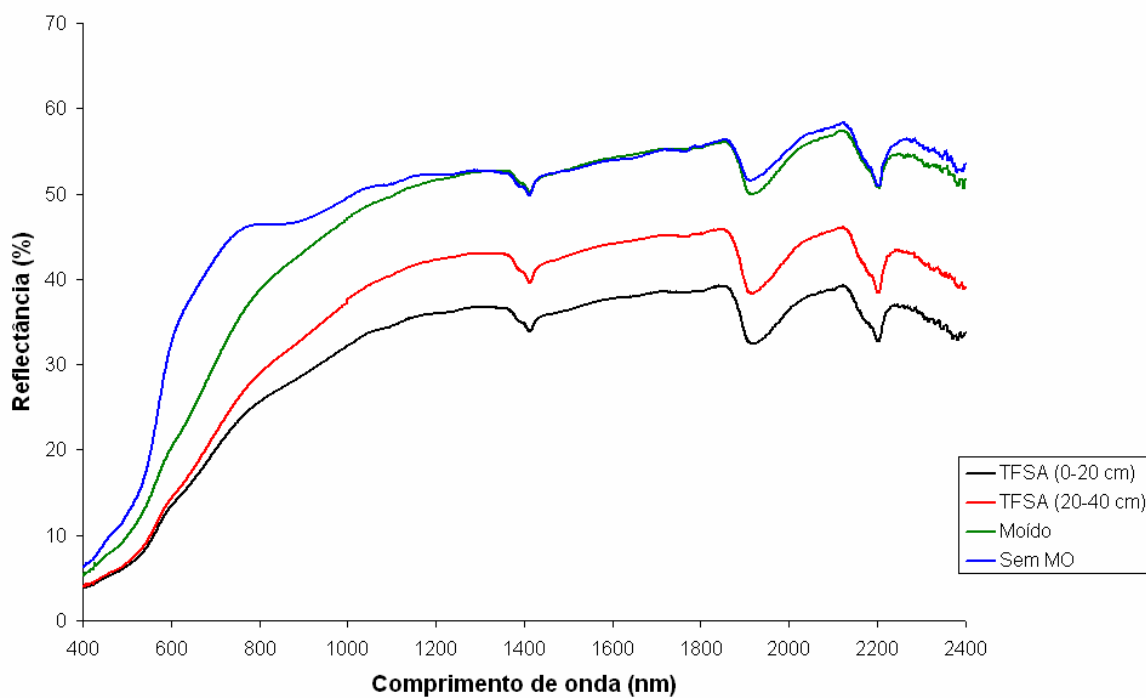


Figura 32 - Curvas espectrais para as profundidades de 0-20 e 20-40 cm (TFSA), moído e sem matéria orgânica (0-20 cm) para o solo PVd2

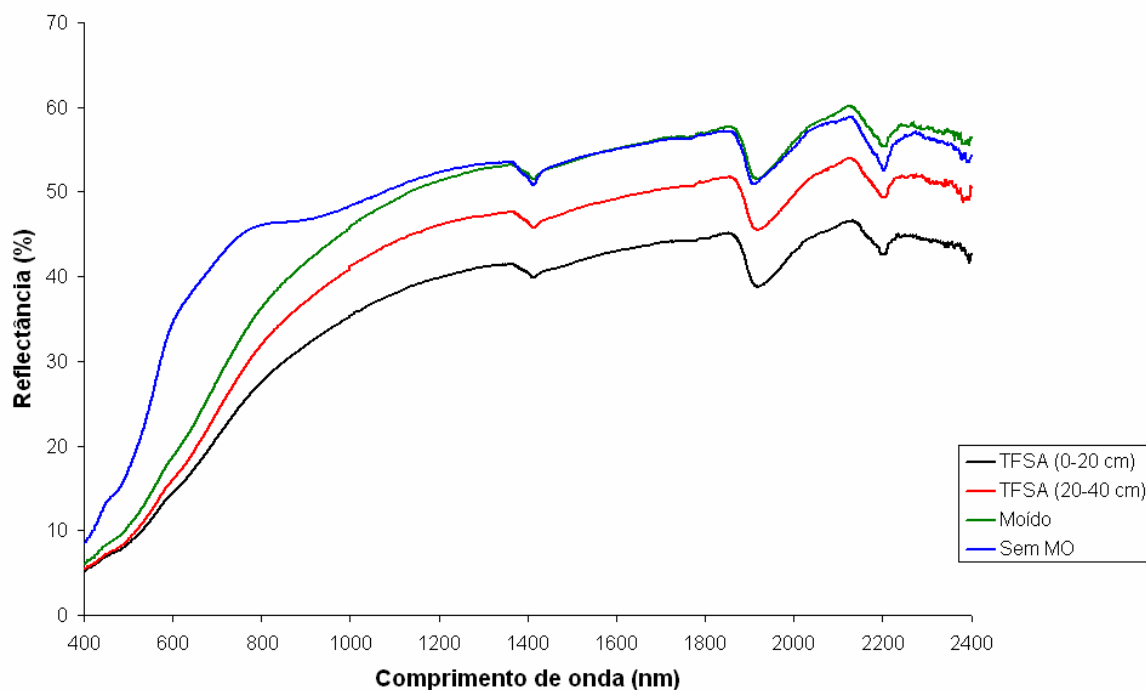


Figura 33 - Curvas espectrais para as profundidades de 0-20 e 20-40 cm (TFSA), moído e sem matéria orgânica (0-20 cm) para o solo PVd3

Comportamento semelhante também foi verificado para os solos SGe e SXe (Figuras 35 e 36), com considerável aumento na reflectância até 1300 nm, quando houve remoção da matéria orgânica. Praticamente não há feição de absorção pelo ferro em 900 nm, confirmando o baixo teor de Fed para estes solos. Os espectros desses solos possuem as principais bandas de absorção centradas em 1400, 1900 e 2200 nm, características da caulinita associada à presença da água e de argilominerais 2:1. Estas informações são concordantes com os trabalhos de Galvão (1994) e D'Arco et al. (2003), em que estas bandas aparecem de forma mais definida em solos com albedo elevado em função da sua composição mineralógica.

A curva de reflectância do solo VEO quase não difere entre 0-20 e 20-40 cm (Figura 37), com aumento da reflectância para a amostra em que os efeitos de rugosidade e sombra foram eliminados. A cor preta foi eliminada quando a matéria orgânica foi removida, passando a uma cor brunada clara, ocasionando o aumento da reflectância deste solo na região do visível. Este comportamento foi diferente dos Latossolos, como no caso do LVdf2 (Figura 30), em que a remoção da matéria orgânica não alterou visualmente a cor vermelha, atribuída ao poder pigmentante dado pela hematita. O solo VEO apresenta baixa reflectância ao longo do espectro, por apresentar textura argilosa e ser rico em matéria orgânica, concordando com o trabalho de Coleman e Montgomery (1987), onde o aumento na matéria orgânica resulta no decréscimo da reflectância.

O efeito da matéria orgânica é mais intenso até 1200 nm, sendo que depois de sua remoção aparecem as feições típicas dos óxidos de ferro em 450 e 900 nm, evidenciando o efeito de máscara da matéria orgânica sobre as feições dos óxidos de ferro, conforme Baumgardner et al. (1985). Houve maior absorção da radiação na região do infravermelho para a amostra onde a matéria orgânica foi removida, a partir dos 1000 nm. Este fato pode estar relacionado a maior absorção da radiação pelos óxidos de ferro a partir dos 1000 nm com a eliminação da matéria orgânica.

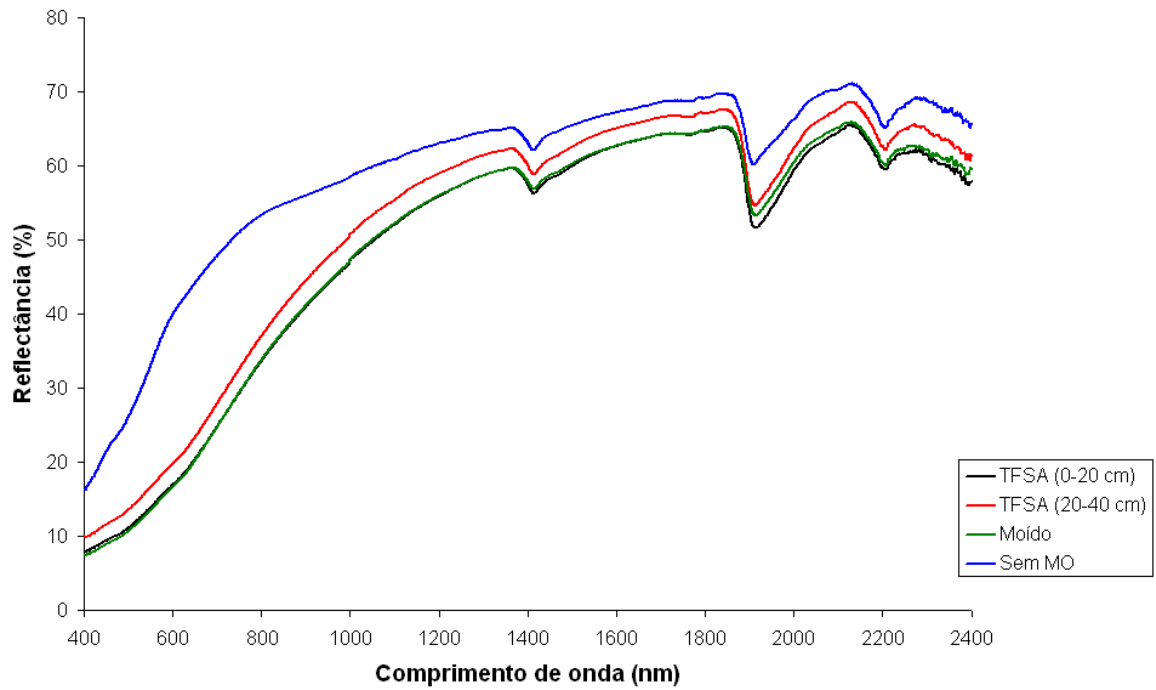


Figura 34 - Curvas espectrais para as profundidades de 0-20 e 20-40 cm (TFSA), moído e sem matéria orgânica (0-20 cm) para o solo APt

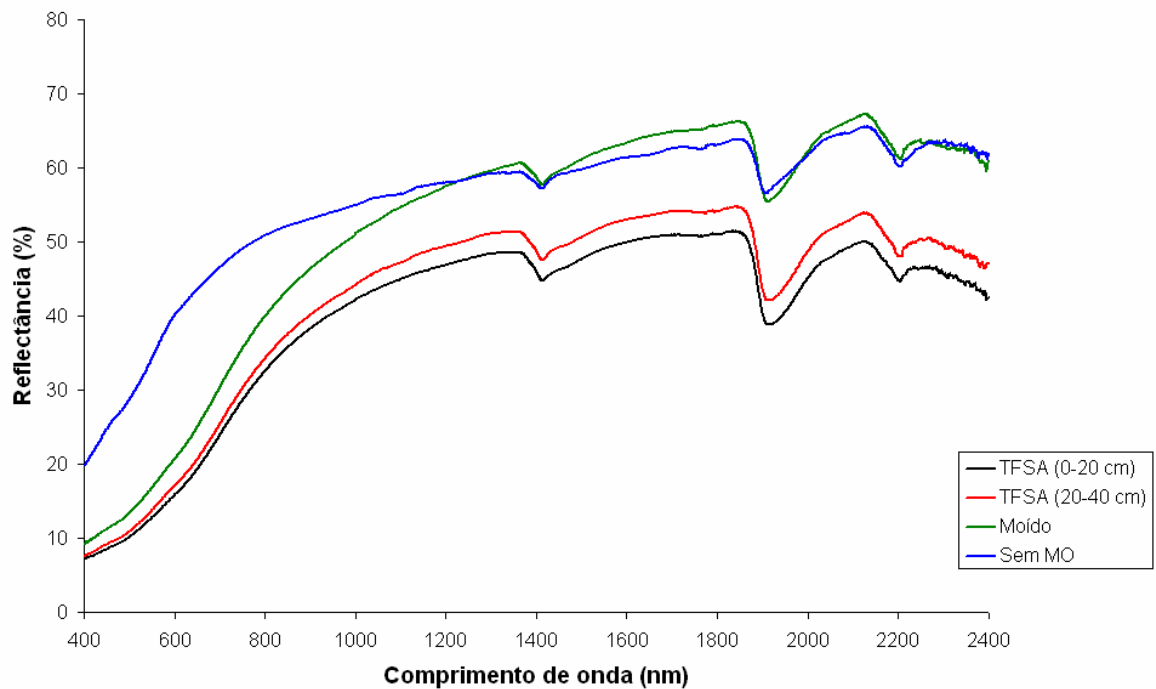


Figura 35 - Curvas espectrais para as profundidades de 0-20 e 20-40 cm (TFSA), moído e sem matéria orgânica (0-20 cm) para o solo SGe

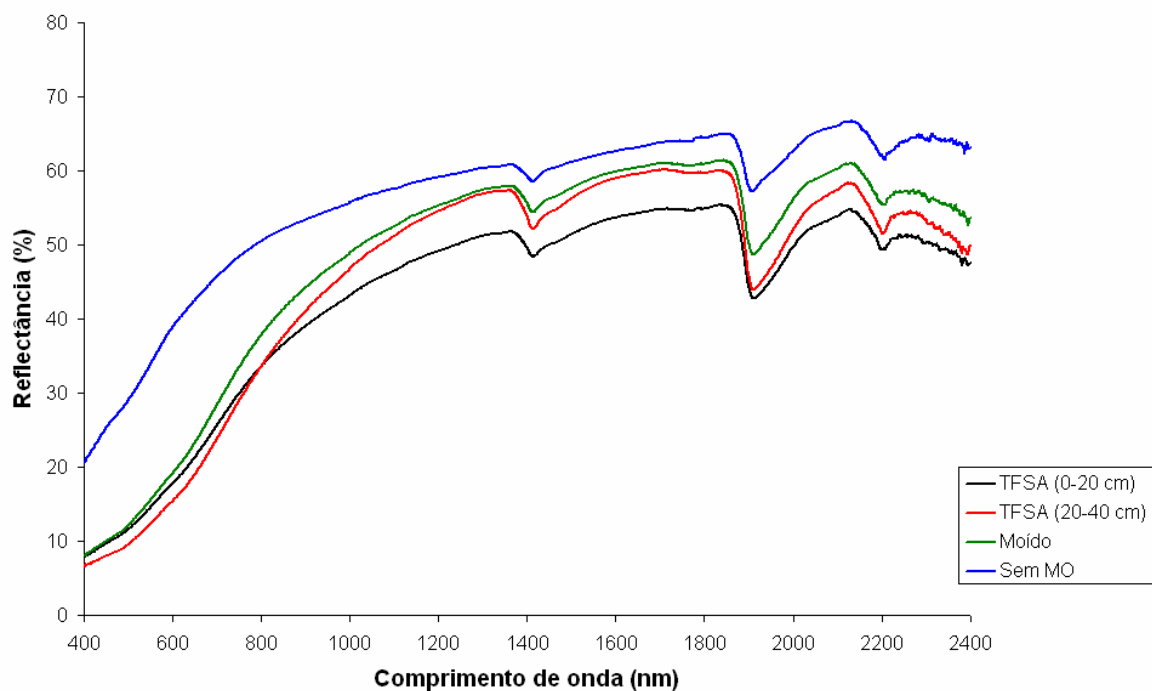


Figura 36 - Curvas espectrais para as profundidades de 0-20 e 20-40 cm (TFSA), moído e sem matéria orgânica (0-20 cm) para o solo SXe

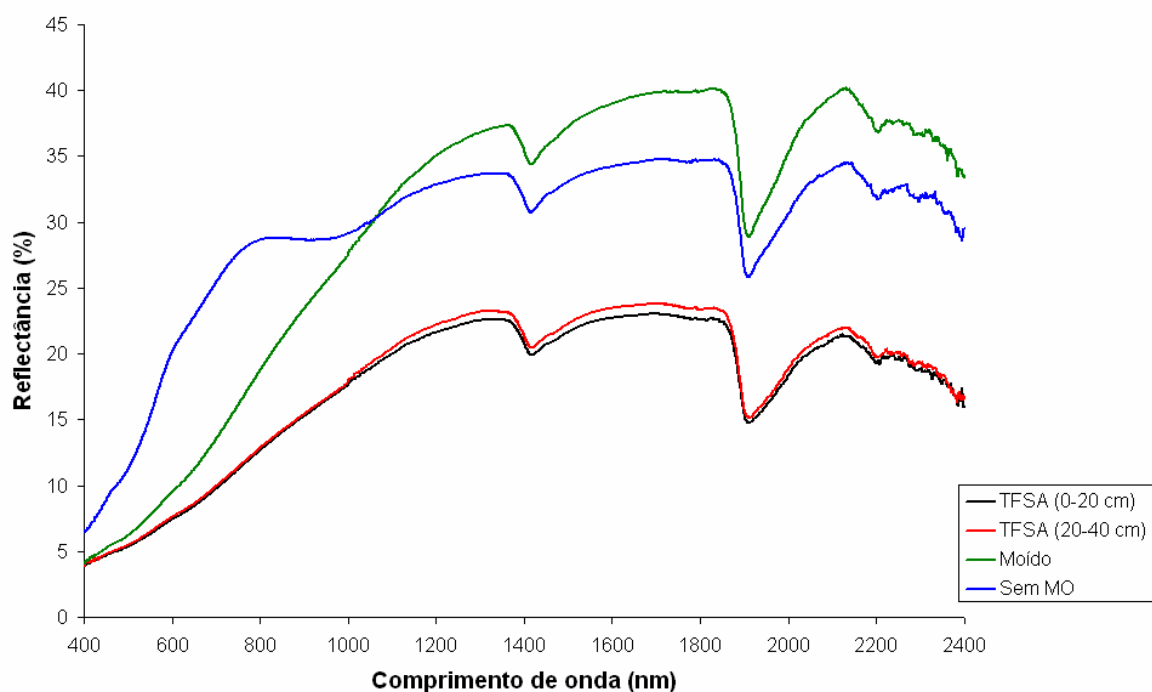


Figura 37 - Curvas espectrais para as profundidades de 0-20 e 20-40 cm (TFSA), moído e sem matéria orgânica (0-20 cm) para o solo VEo

4.3.3 Correlações entre as características dos solos e a reflectância

As características estudadas, como a cor, matéria orgânica, óxidos de ferro e textura apresentaram correlações significativas com a reflectância dos solos ao longo da faixa espectral óptica, seja para todos os solos em conjunto, seja para grupos de solos, conforme os anexos 9, 10, 11 e 12. Para cada correlação foi determinado o coeficiente de correlação de Pearson (r), coeficiente de determinação linear (r^2) e a equação de regressão.

Os teores de areia exibem correlações positivas, sendo as principais a partir de 1050 nm e, no caso do silte, as melhores correlações estão nos comprimentos de onda até 600 nm (Anexo 9). A argila apresentou correlações negativas com a reflectância em todo o espectro óptico, e as melhores correlações estão entre 900 e 2400 nm (Figura 38, em 1900 nm). Esta informação confirma os resultados obtidos por Coleman et al. (1991), que elegeram as bandas de 520 a 600 nm (verde) e do infravermelho próximo ao infravermelho termal para explicar as variações nos teores de argila. Já Galvão (1994) obteve as melhores correlações para a areia e a argila na faixa de 2000 a 2500 nm.

Em relação ao Fed, as correlações foram negativas e significativas em todos os comprimentos de onda ao considerar os solos conjuntamente (Anexo 10), porém, com melhor comportamento ao separar os solos LBa, LVdf1 e LVdf, com teores de ferro muito superiores aos demais solos (Anexo 9 e Figura 39).

No caso do Feo, as correlações também foram negativas, discordando do trabalho de Demattê (1995), que encontrou correlações positivas, portanto, aumentando a reflectância do solo e ao mesmo tempo concordando com o trabalho de Dalmolin (2002), com redução na reflectância do solo com o aumento do Feo.

A matéria orgânica é responsável pela diminuição da reflectância do solo em todo o espectro óptico, com correlações negativas em todo o espectro, sendo a mais elevada na região de 770 nm (Figura 40 e anexo 11), indo ao encontro dos trabalhos de Krishnan et al. (1980), Coleman et al. (1991) e Dalmolin (2002), que obtiveram boas correlações com a matéria orgânica tanto no visível como no infravermelho. A matéria orgânica apresentou correlações elevadas ao longo do espectro analisado, ao separar os solos LVd1, LVd2, LVdf2 e PVd1. Estes solos demonstraram comportamento diferenciado em relação aos demais, com teores médios a baixos de

matéria orgânica e baixa reflectância, visto que o efeito dos óxidos de ferro na reflectância é ressaltado. As correlações foram significativas para estes solos até a região de 900 nm (Anexo 12)

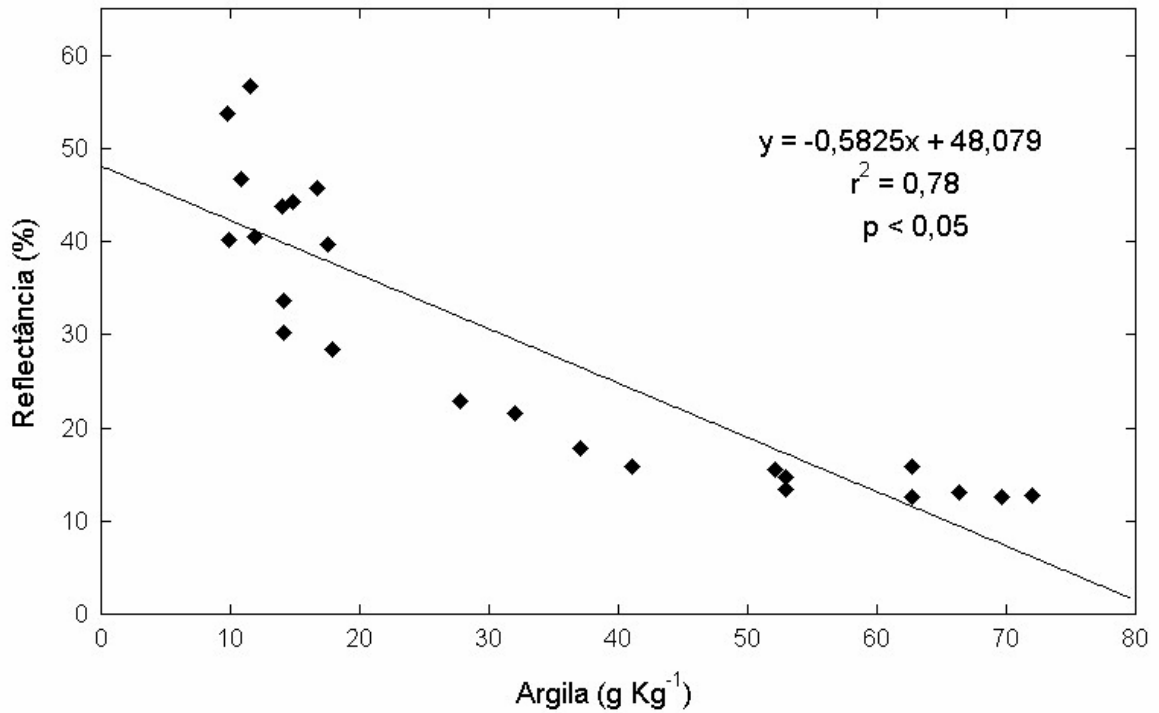


Figura 38 - Relação entre a reflectância (1900 nm) e a argila para todos os solos estudados

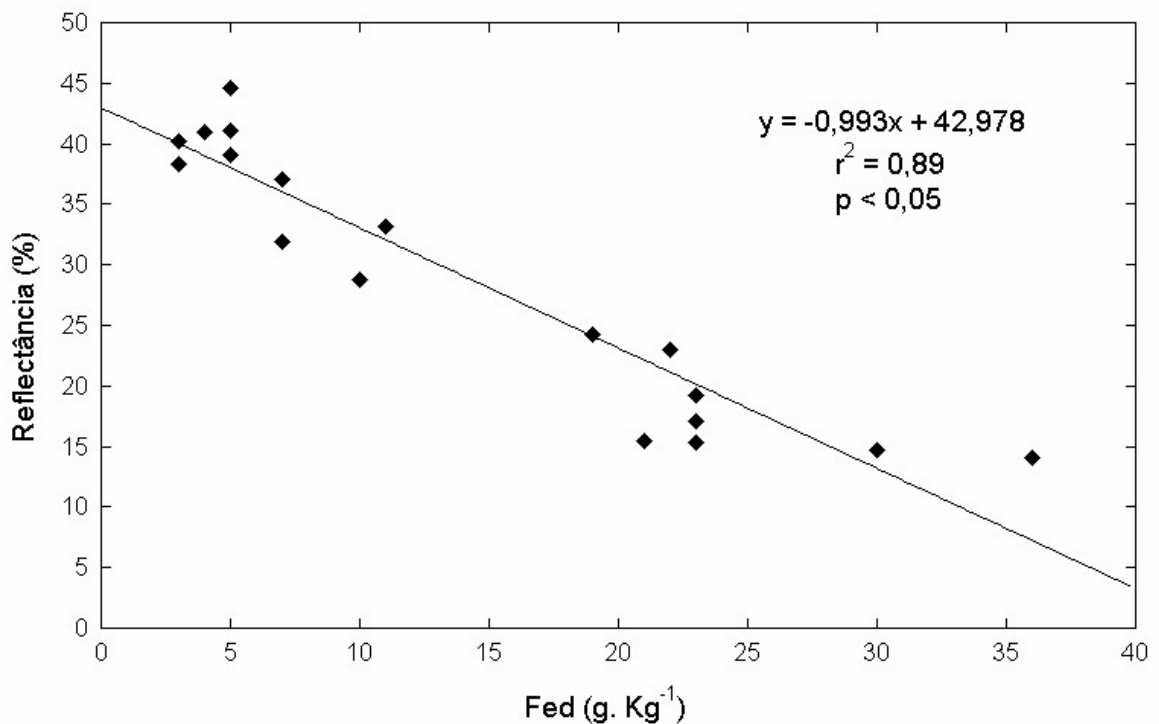


Figura 39 - Relação entre a reflectância (470 nm) e o Fed para os solos, exceto LBa, LVdf1 e LVdf2

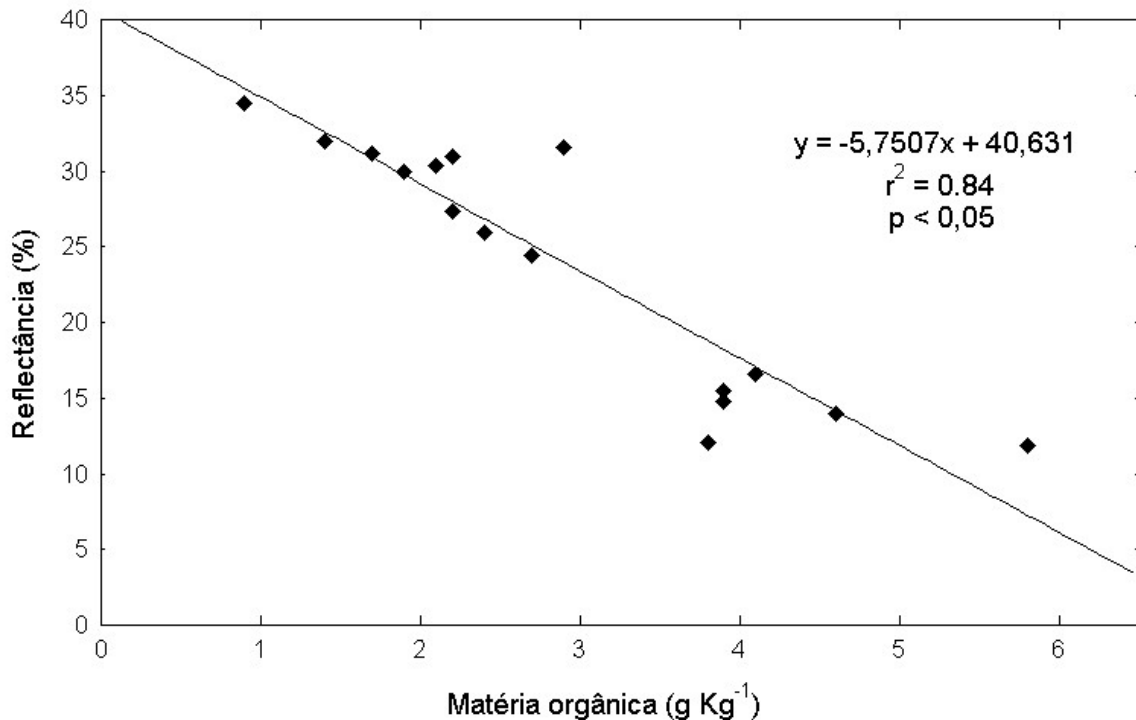


Figura 40 - Relação entre a reflectância (770 nm) e a matéria orgânica para os solos APt, LBa, LVdf1, PVd2, PVd3, SGe, SXe e VEO

A cor, embora seja a reflectância do solo na faixa do visível, teve correlações significativas também no infravermelho, indo ao encontro do trabalho de Post et al. (1994). O matiz apresentou a melhor correlação em 470 e 540 nm (anexo 9), enquanto o valor teve correlações elevadas em todo o espectro principalmente entre 470 e 900 nm (Figura 41). Estas informações ainda concordam com o trabalho de Demattê (1995) com relação ao matiz e ao valor. Como o valor representa a variação da luminosidade, está diretamente relacionado com a reflectância do solo (Post et al., 2000), apresentando as correlações mais elevadas, se comparado com o matiz e croma.

O croma foi melhor correlacionado ao separar o solo VEO, que apresenta cor escura (8,50 YR 3,6/1,7) diferenciando-se dos demais solos (Anexo 9). A melhor correlação com a reflectância foi em 540 nm (Figura 42), sendo todas negativas ao longo do espectro. Quanto mais puro o croma menor a reflectância. Este comportamento pode estar associado aos teores de ferro que apresentam influência no espectro de reflectância.

Os índices de vermelho tiveram correlações significativas em todo o espectro, sendo as melhores correlações em 470 e 540 nm (Anexo 9). Os coeficientes de correlação foram negativos, sugerindo que os solos com índices de vermelho baixo tendem a ser mais claros, portanto, com maior valor de reflectância.

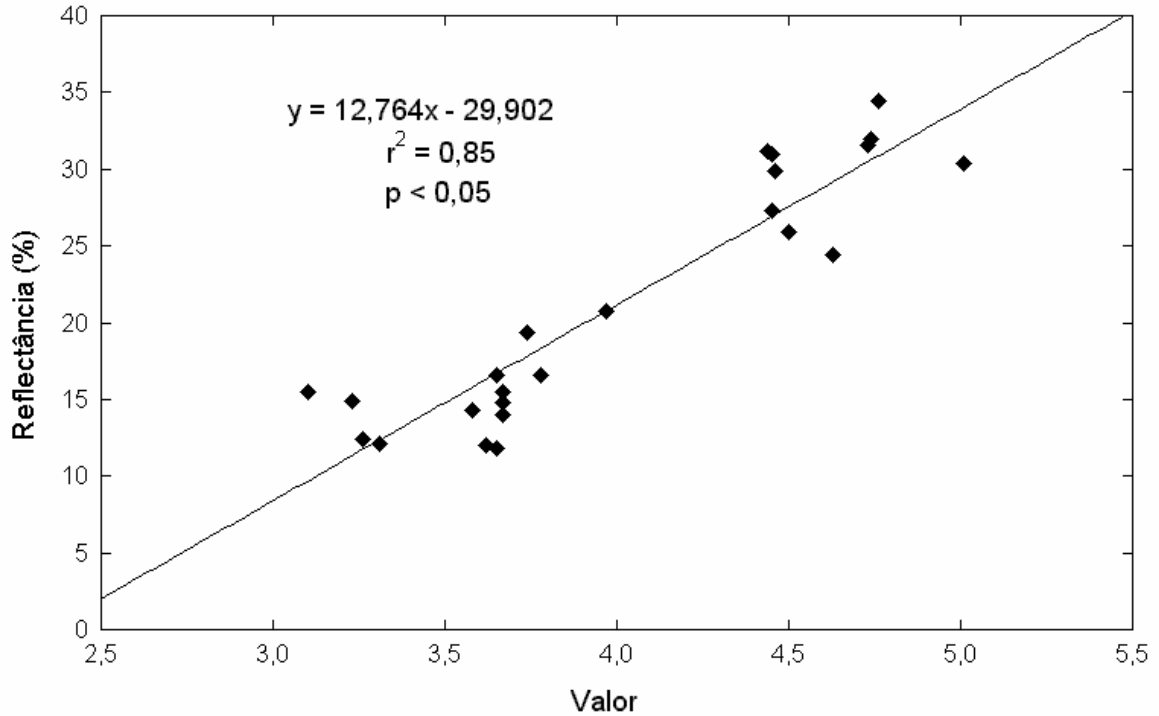


Figura 41 - Relação entre a reflectância (770 nm) e o valor para todos os solos

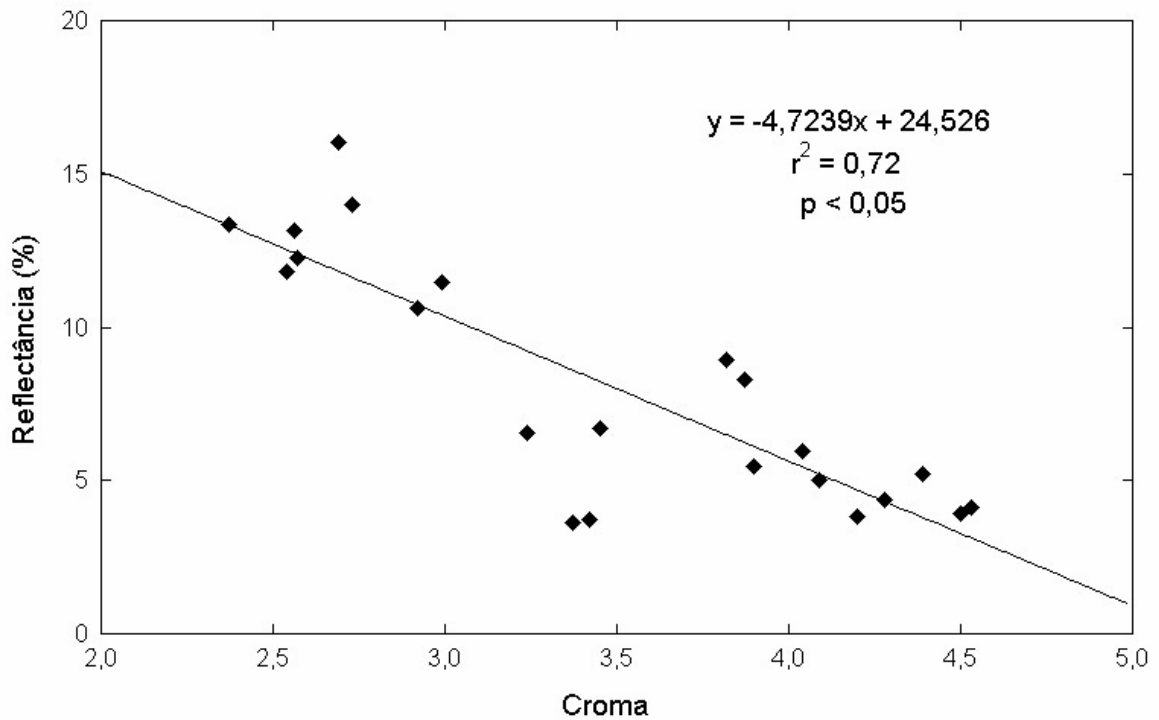


Figura 42 - Relação entre a reflectância (540 nm) e o croma para os solos estudados, exceto o VEO

4.4 CONCLUSÕES

Os solos estudados apresentaram pouca variação nas características entre as profundidades de 0-20 e 20-40 cm, o que praticamente não alterou o formato dos espectros, ocasionando apenas pequenas variações no albedo da curva espectral.

As diferentes intensidades nas feições espectrais ao longo do espectro óptico são atribuídas aos fatores matéria orgânica, óxidos de ferro, mineralogia e granulometria de cada solo, sendo os dois primeiros os mais marcantes no albedo das curvas espectrais.

A realização dos tratamentos para eliminação dos efeitos de rugosidade e sombra e eliminação da matéria orgânica com H_2O_2 aumentou a reflectância do solo. Este último evidenciou melhor as feições centradas em 450 e 900 nm, atribuídas aos óxidos de ferro, as quais são mascaradas pela matéria orgânica. Sugere-se que para trabalhos em que os óxidos de ferro sejam estudados, faça-se a remoção da matéria orgânica.

A técnica da espectrorradiometria de solos em condições de laboratório mostrou ser eficiente para evidenciar determinadas características do solo, como matéria orgânica, óxidos de ferro e granulometria. Estas características apresentaram correlações significativas tanto na região do visível como no infravermelho.

A matéria orgânica teve melhores correlações ao separar os solos LVd1, LVd2, LVdf2 e PVd1. Este fato mostra o elevado poder pigmentante da hematita, que é o principal responsável pela cor do solo. O Fed apresentou correlações negativas com a reflectância em todo o espectro. Os coeficientes de correlação foram elevados e significativos ao separar os solos LBa, LVdf1 e LVdf2, com teores de ferro muito elevados em relação aos demais solos.

Quando analisada a cor, o valor Munsell apresentou as correlações mais elevadas em todo o intervalo espectral estudado. O matiz também apresentou correlações significativas.

O intervalo espectral que melhor se correlacionou com os componentes da cor está entre 470 e 900 nm. O croma também foi melhor correlacionado neste intervalo, com exceção para o solo VEO, que apresentou comportamento diferenciado dos demais solos.

A forma da curva espectral e a intensidade da absorção em determinados pontos do espectro são diferenciados, sugerindo que as diferentes classes de solos podem ser identificadas e separadas. Estes estudos são preliminares e serão fonte de estudo para futuros trabalhos, correlacionando as informações obtidas em laboratório com informações obtidas a partir de imagens de satélite.

5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AL-ABBAS, A. H., SWAIN, P. H., BAUMGARDNER, M. F. Relating organic matter and clay content to the multispectral radiance of soils. **Soil Science**. Baltimore, v.114, p.477-485, 1972.

ALVARENGA, B. S., D'ARCO, E., ADAMI, M., FORMAGGIO, A. R. **O ensino de conceitos e práticas de espectrorradiometria laboratorial: estudo de caso com solos do Estado de São Paulo**. In: Anais XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Belo Horizonte: p. 739 -747, 2003.

BARRÓN, V.; TORRENT, J. Use of the kubelka_munk theory to study the influence of iron oxides on soil colour. **Journal of Soil Science**, Oxford, v.37, p.499-510, 1986.

BARRÓN, V.; MELLO, J. W. V.; TORRENT, J. Caracterização de óxidos de ferro em solos por espectroscopia de reflectância difusa. In: NOVAIS, R. F., ALVAREZ, V. H., SCHAEFER, C. E. G. R. **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.1, p.139-161, 2000.

BAUMGARDNER, M. F.; KRISTOF, S. J., JOANNSEN, C. J., ZACHARY, A. L. E. Effects of organic matter on the multispectral properties of soils. **Proceedings Indiana academy of Science**. Brookville, v.79, p.413-422, 1970.

BAUMGARDNER, M. F.; SILVA, L. F.; BIEHL, L. L., STONER, E. R. Reflectance properties of soils. **Advances in Agronomy**, v.38, p.1-44, 1985.

BEDIDI, A., CERVELLE, B., MADEIRA NETTO, J. S., POUGET, M. Moisture effects on visible spectral characteristics of lateritic soils. **Soil Science**, Baltimore, v.153, n.2, p.129-141, 1992.

BOWERS, S. A., HANKS, R. J. Reflectance of radiant energy from soils. **Soil Science**, Baltimore: v.100, p.130-138, 1965.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão pedológica. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul**. Recife, 1973. 431p. (DNPEA. Boletim técnico, 30).

CAMPOS, R. C. **Determinação da cor do solo e sua utilização na predição dos teores de hematita**. 2001, 59f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2001.

CAMPOS, R. C., DEMATTÊ, J. A. M, QUARTAROLI, C. F. Determinação indireta do teor de hematita no solo a partir de dados de radiometria e colorimetria. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.38, nº 4, p.521-528, 2003.

CIPRA, J. E., BAUMGARDNER, M. F., STONER, E. R., McDONALD, R. B. Measuring radiance characteristics of soil with a field spectroradiometer. **Soil Science Society of America Proceedings**. Madison, v.5, p.1014-1017, 1971.

CLEMENTE, C. A., DEMATTÊ, J. A. M., MAFRA, A. L., BENTIVENHA, S. R. P. Reflectância espectral e mineralogia de materiais formados sobre diabásio. **Scientia Agrícola**, v.57, p.159-168, 2000.

COLEMAN, T. L., MONTGOMERY, O. L. soil moisture, organic matter and iron content effect on the spectral characteristics of selected vertisols and alfisols in Alabama. **Photogrammetric Engineering**, Falls Church, v.53, p.1659-1663, 1987.

COLEMAN, T. L., AGBU, P. A., MONTGOMERY, O. L, GAO, T., PRASAD, S. Spectral band selection for quantifying selected properties in highly weathered soils. **Soil Science**, Baltimore, v.151, p.355-361, 1991.

COLORPRO. Munsell Conversion versão 6.41. Disponível em: <http://www.colorpro.com/info/software/munsell.htm>. Acesso em: 8 de junho de 2004.

DALMOLIN, R. S. D. **Matéria orgânica e características físicas, químicas, mineralógicas e espectrais de latossolos de diferentes ambientes**. 2002, 151f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo). Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, UFRGS, Porto Alegre, 2002.

DALMOLIN, R. S. D., GONÇALVES, C. N., KLAMT, E., DICK, D. P. Relação entre os constituintes do solo e seu comportamento espectral. Santa Maria: **Ciência Rural**, v.35, n.2, 2005.

D'ARCO, E., ALVARENGA, B. S., MOURA, P. e TEIXEIRA, C. G. Estudos de reflectância de amostras de 5 tipos de solos brasileiros, em condições de laboratório. In: **Anais XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Belo Horizonte: p.2327-2334, 2003.

DEMATTÊ, J. A. M. **Relações entre dados espectrais e características físicas, químicas e mineralógicas de solos desenvolvidos de rochas eruptivas**. Piracicaba: ESALQ, 1995. 264f. Tese (Doutorado em Agronomia – Solos e nutrição de plantas). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

DEMATTÊ, J. A. M., GARCIA, G. J. Avaliação de atributos de latossolo Bruno e terra Bruna estruturada da região de Guarapuava, Paraná, por meio de sua energia refletida. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.343-355, 1999.

DEMATTÊ, J. A. M., CAMPOS, R. C., ALVES, M. C. Avaliação espectral de solos desenvolvidos de diabásio e folhelho da região de Piracicaba, SP. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, p. 2447-2460, 2000.

DEMATTÊ, J. A. M., CAMARGO, W. P., FIORIO, P. R., NANNI, M. Diferentes produtos do sensoriamento remoto como auxílio no mapeamento de solos. In: **Anais X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Foz do Iguaçu: p.1381-1389, 2001.

DEMATTE, J. A. M. Characterization and discrimination of soils by their reflected electromagnetic energy. Brasília: **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.10, p. 1445-1458. 2002

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2 ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 212p. il. (EMBRAPA/CNPS – RJ. Documentos, 1).

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: EMBRAPA, 1999. 412p. il. (EMBRAPA/CNPS – RJ. Documentos, 5).

FERNANDES, R. B. A., BARRÓN, V., TORRENT, J., FONTES, M. P. F. Quantificação dos óxidos de ferro de latossolos brasileiros por espectroscopia de reflectância difusa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.28, p.245-257, 2004.

FERNANDEZ, R. N., SCHULZE, D. G. Calculation of soil color from reflectance spectra. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.51, p.1277-1282, 1987.

FERNANDEZ, R. N., SCHULZE, D. G., COFFIN, D. L., SCOYOC, G. E. V. Color, organic matter and pesticide adsorption relationships in a soil landscape. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.52, p.1023-1026, 1988.

FORMAGGIO, A. R., EPIPHANIO, J. C. N., VALERIANO, M. M., OLIVEIRA, J. B. Comportamento espectral (450-2.450 nm) de solos tropicais de São Paulo. Campinas: **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.20, p.467-474, 1996.

FORMAGGIO, A. R., EPIPHANIO, J. C. N. Feições espectrais e parâmetros analíticos de solos tropicais brasileiros. In: **Anais X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Foz do Iguaçu: p. 1399-1401, 2001.

FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 97p.

GALVÃO, L. S. **Litoestratigrafia de reflectância espectral e uma abordagem quantitativa para análise de espectros**. São Paulo: USP, 1994. 191f. Tese (Doutorado em Geofísica) – Instituto Agrônomo e Geofísico. Departamento de Geofísica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

GALVÃO, L. S., VITORELLO, I., FORMAGGIO, A. R. Relationship of spectral reflectance and color among surface and subsurface horizons of tropical soil profiles. **Remote Sensing of Environment**, New York, v.61, p. 24-33, 1997.

GALVÃO, L. S., VITORELLO, I. Role of organic matter in obliterating the effects of iron on spectral reflectance and colour of Brazilian tropical soils. **International Journal of Remote Sensing**, London, v.19, p.1669-1979, 1998.

HENDERSON, T. L., SZILAGYI, A., BAUMGARDNER, M. F., CHEN, C. T., LANDGREBE, D. A. Spectral band selection for classification of soil organic matter content. Madison: **Soil Science Society of America Journal**, v.53, p.1778-1784, 1989.

HENDERSON, T. L., BAUMGARDNER, M. F., FRANZMEIER, D. P., STOTT, D. E., COSTER, D. C. High dimensional reflectance analysis of soil organic matter. Madison: **Soil Science Society of America Journal**, v.56, p.865-872, 1992.

HOLMGREN, G. G. S. A rapid citrat-dithionite extractable iron procedure. **Soil Science Society of America Journal**. 31, p. 210-211, 1967.

HUNTERLAB. XYZ – CIE tristimulus values. Applications note, v.8, n.1, 1996a. Disponível em http://www.hunterlab.com/color_theory.php. Acesso em 12 de setembro de 2004.

HUNTERLAB. CIE L*a*b* color scale. Applications note, v.8, n.7, 1996b. Disponível em http://www.hunterlab.com/color_theory.php. Acesso em 12 de setembro de 2004.

HURST, V. J. Visual estimation of iron in saprolite. **Geologic Society American. Bull**, v.88, p. 174-176, 1977.

KÄMPF, N., KLAMT, E. Mineralogia e gênese de Latossolos (Oxisols) e solos Podzólicos da região Nordeste do Planalto Sul-Riograndense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.2, p. 68-73, 1978.

KÄMPF, N., SCHWERTMANN, U. Relações entre óxidos de ferro e a cor em solos caulínicos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.7, p. 27-31, 1983.

KÄMPF, N., SCHNEIDER, P., MELLO, P. F. Alterações mineralógicas em seqüência Vertissolo-Litossolo na região da Campanha no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.19, p. 349-357, 1995.

KÄMPF, N., CURTI, N. Óxidos de ferro: indicadores de ambientes pedogênicos e geoquímicos. In: NOVAIS, R. F., ALVAREZ, V. H., SCHAEFER, C. E. G. R. **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.1, p.107-138, 2000.

KOSMAS, C. C., CURTI, N., BRYANT, R. B., FRANZMEIER, D. P. Characterization of iron oxide minerals by second-derivate visible spectroscopy. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.48, p.401-405, 1984.

KRISHNAN, P., ALEXANDER, J. D., BUTLER, B. J., HUMMEL, J. W. Reflectance technique for predicting soil organic matter. **Soil Science Society of America Journal**. Madison: v.52, p.1282-1285, 1980.

JENNY, H. **Factors of soil formation**. New York: McGraw-Hill, 1941. 281p.

LEMOES, R. C., SANTOS, R. D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 4 ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo: EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2002. 83p.

MADEIRA NETTO, J. S., BEDIDI, A. CERVELLE, B., POUGET, M, FLAY, N. Spectral (MIR) determination of kaolinite and gibbsite contents in Lateritic soils. **C. R. Academy Science**, Paris, serie IIA. P.119-128, 1995.

MADEIRA NETTO, J. S. Comportamento espectral de solos. In: MENESES, P. R., MADEIRA NETTO, J. S. **Sensoriamento remoto: reflectância dos alvos naturais**. Brasília: EMBRAPA, 2001. p.127-154.

MATHEWS, H. L., CUNNINGHAM, R. L., PETERSEN, G. W. Spectral reflectance of selected Pennsylvania soils. **Soil Science Society of America Proceedings**. Madison, v.37, p.421-424, 1973.

MATHIEU, R., POUGET, M., CERVELLE, B., ESCADAFAL, R. relationships between satellite-based radiometric indices simulated using laboratory reflectance data and typic soil color of an arid environment. **Remote Sensing of Environment**, New York, v.66, p.17-28, 1998.

MATTIKALLI, N. soil color modeling for the visible and near-infrared bands of Landsat sensors using laboratory spectral measurements. **Remote Sensing of Environment**, New York, v.59, p.14-28, 1997.

MEHRA, O. P., JACKSON, M. L. Iron oxides removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. **Proceedings Clay and Clay Mineral Conference**. London, v.7, p. 317-327, 1960.

MELVILLE M. D., ATKINSON, G. Soil color: its measurement and its designation in models of uniform color space. **Journal of Soil Science**, Ottawa, v.36, p. 495-512, 1985.

MENESES, P. R. Fundamentos de radiometria óptica espectral. In: MENESES, P. R., MADEIRA NETTO, J. S. **Sensoriamento remoto: reflectância dos alvos naturais**. Brasília: EMBRAPA, 2001. p.15-40.

MINOLTA. **Precise color communication: color control from perception to instrumentation**. Japan, 1998. 59p.

MONTGOMERY, O. L. **An Investigation of the relationship between spectral reflectance and chemical, physical and genetic characteristics of soil**. West Lafayette: Purdue University, 1976. 148f. Thesis (PhD): Purdue University, West Lafayette, 1976.

MUNSELL SOIL COLOR COMPANY. **Munsell soil color charts**. Baltimore, 1975.

NELSON, D. W., SOMMERS, L. E. **Total carbon, organic carbon and organic matter**. In: SPARKS, D. L.; PAGE, A. L; HELMKE, P. A. e LOEPPERT, R. H. eds. *Methods of soil analysis: chemical methods. Part 3*. Madison, American Society of America, 1996. p.961-1010.

NOVO, E. M. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Edgard Blücher, 1992. 308 p.

NUNES, W. A. G. A. **Caracterização física, química, mineralógica, micromorfológica e espectral de alguns solos da zona da mata mineira**. 1999. 135f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Solos e Nutrição de Plantas. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999.

POST, D. F., LEVINE, S. J., BRYANT, R. B., MAYS, M. D., BATCHILY, A. K., ESCADAFAL, R. HUETE, E. A. Correlations between field and laboratory measurements of soil color. In: BIGHAM, J. M., CIOLKOSZ, E. J. (Eds). **Soil color**. Madison: Soil Science Society of America, 1993. p.35-49. (Special Publication, 31)

POST, D. F., HORVATH, E. H., LUCAS, W. M., WHITE, S. A., EHASZ, M. J., BATCHILY, A. K. Relations between soil color and landsat reflectance on semiarid rangelands. **Soil Science Society of America Journal**. Madison, v.58, p. 1809-1816, 1994.

POST, D. F., FIMBRES, A., MATTHIAS, A. D., SANO, E. E., ACCIOLY, L., BATCHILY, A. K., FERREIRA, L. G. Predicting soil albedo from soil color and spectral reflectance data. **Soil Science Society of America Journal**. Madison, v.64, p. 1027-1034, 2000.

RESENDE, M., CURI, N., REZENDE, S. B., CORRÊA, G. F. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. Viçosa: NEPUT, 4ed. 2002. 338p.

ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto**. 3 ed. Uberlândia: Editora da Universidade Federal de Uberlândia, 1995. 117p.

SCHEINOST, A. C.; SCHWERTMANN, U. Color identification of iron oxides and hydroxysulfates: use and limitations. **Soil Science Society of America Journal**. Madison, v.63, p.1463-1471, 1999.

SCHULZE, D. G., JEFFREY, L. N., GEORGE, E. V. S., HENDERSON, T. L., BAUMGARDNER, M. F. significance of organic matter in determining soil colors. In: BIGHAM, J. M., CIOLKOSZ, E. J. (Eds). **Soil color**. Madison: Soil Science Society of America, 1993. p.71-90. (Special Publication, 31)

SCHWERTMANN, U. Differenzierung der eisen oxide des bodens durch extraktion unit saurer ammoniumoxalat-losung. **Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde**. Weinheim, v.105, p.194-202, 1964.

SCHWERTMANN, U., TAYLOR, R. M. Iron Oxides. In: DIXON, J. B., WEED, S. B. **Minerals in Soil Environments**. Madison: Soil Science Society of America, 2 ed., 1989. p.379-438.

SCHWERTMANN, U. Relations between iron oxides, soil color and soil formation. In: BIGHAM, J. M., CIOLKOSZ, E. J. (Eds). **Soil color**. Madison: Soil Science Society of America, 1993. p.51-69. (Special Publication, 31)

SHERMAN, D. M., WAITE, T. D. Eletronic spectra of Fe oxides and oxide hydroxides in the near IR to near UV. **American Mineralogist**. Washington, v.70, p. 1262-1269, 1985.

STONER, E. R. **Physicochemical, site and bi-directional reflectance factor characteristics of uniformly moist soils**. West Lafayette: Purdue University, 1979. 132 f. Thesis (PhD) – Purdue University, West Lafayette, 1979.

STONER, E. R., BAUMGARDNER, M. F., WEISMILLER, R. A., BIEHL, L. L., ROBINSON, B. F. Extension of laboratory-measured soil spectra to field conditions. Madison: **Soils Science Society America Journal** v.44, p.572-574, 1980.

STONER, E. R., BAUMGARDNER, M. F. Characteristic variations in reflectance of surface soils. Madison: **Soils Science Society America Journal**, v.45, p.1161-1165, 1981.

STONER, E. R., BAUMGARDNER, M. F. Data acquisition through remote sensing. In: BEATTY, M. T., PETERSEN, G. W., SWINDALE, L. D. (orgs). **Planning the uses and management of land**. Madison: Soil Science society of America, 1986. p.159-185.

STONER, E. R., DERKSEN, I., MACEDO, J. Discriminação espectral de Latossolos do Planalto Central brasileiro. Brasília: **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.26, p.1599-1606, 1991.

STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P.C., SCHNEIDER, P. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: EMATER/RS, Editora da UFRGS, 2002. 126p.

TEDESCO, M. J., GIANELLO, C., BOHNEN, H., VOLKWEISS, S. J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2 ed.,1995. 174p. (Boletim técnico, 5)

TORRENT, J., SCHWERTMANN, U., SCHULZE, D. G. Iron oxide mineralogy of some soils of two river terrace sequences in Spain. *Geoderma*: 23, p.191-208, 1980.

TORRENT, J., BARRÓN, V. Laboratory measurement of soil color: theory and practice. In: BIGHAM, J. M., CIOLKOSZ, E. J. (Eds). **Soil color**. Madison: Soil Science Society of America, 1993. p.21-33. (Special Publication, 31)

YEOMANS, J. C. e BREMNER, J. M. **A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil**. *Commun. In: Soil Science. Plant Analysis*, v.19, p.1467-1476, 1988.

ANEXOS

ANEXO 1 - Resultados das análises químicas de rotina

Solo	Prof. (cm)	pH H ₂ O	Ca	Mg	K	Al	H+Al	P Mg kg ⁻¹	CTC		Saturação	
									Efetiva	pH7	Al %	V %
			cmol _c kg ⁻¹									
APt	0-20	5,4	4,5	1,2	0,10	0,3	3	4,8	6,10	8,80	5	66
	20-40	5,5	3,5	0,5	0,10	0,5	3,3	3,2	4,60	7,40	11	55
LBa	0-20	4,4	1,6	1,1	0,11	3,5	15,1	4,0	6,31	17,91	55	16
	20-40	4,4	1,1	0,7	0,05	4,7	16,5	3,2	6,55	18,35	72	10
LVd1	0-20	5,1	1,3	1,1	0,11	0,3	3	4,0	2,81	5,51	11	46
	20-40	4,8	1,0	0,9	0,07	0,9	4,3	3,2	2,87	6,27	31	31
LVd2	0-20	4,4	0,5	0,2	0,07	4,3	12,6	3,2	5,07	13,37	85	6
	20-40	4,3	0,2	0,1	0,05	3,3	15,1	2,5	3,65	15,45	91	2
LVdf1	0-20	4,7	2,2	1,8	0,18	1,5	10,5	3,2	5,68	14,68	26	28
	20-40	4,6	1,0	0,6	0,09	2,5	8,8	2,5	4,19	10,49	60	16
LVdf2	0-20	5,3	5,5	2,1	0,31	0	3,9	4,0	7,91	11,81	0	67
	20-40	5,3	5,7	1,9	0,15	0	3,9	4,0	7,75	11,65	0	67
PVd1	0-20	4,7	2,8	1,5	0,16	0,7	3,9	7,2	5,16	8,36	14	53
	20-40	4,7	2,5	1,3	0,09	1,6	8	6,3	5,49	11,89	29	33
PVd2	0-20	4,7	1,6	0,8	0,29	0,5	3,6	7,2	3,19	6,29	16	43
	20-40	4,5	1,2	0,8	0,31	1,0	5,1	5,5	3,31	7,41	30	31
PVd3	0-20	5,3	2,5	1,3	0,08	0,3	3,6	6,3	4,18	7,48	7	52
	20-40	4,5	0,5	0,4	0,05	2,2	5,6	4,8	3,15	6,55	70	14
SGe	0-20	4,6	1,6	0,6	0,50	1,5	4,3	7,2	4,20	7,00	36	39
	20-40	4,5	0,8	0,2	0,18	0,7	4,3	4,0	1,88	5,48	37	22
SXe	0-20	4,7	3,0	1,4	0,13	1,4	5,6	4,8	5,93	10,13	24	45
	20-40	3,7	2,1	0,9	0,08	4,3	11,5	4,0	7,38	14,58	58	21
VEo	0-20	6,0	24,1	6,7	0,17	0	3,6	7,2	30,97	34,57	0	90
	20-40	5,9	21,9	6,6	0,21	0	3,6	9,7	28,71	32,31	0	89

ANEXO 2 - Coeficientes de correlação de Pearson para as medidas do matiz determinadas pelos observadores e pelo colorímetro

	OBS_1	OBS_2	OBS_3	OBS_4	OBS_5	OBS_6	OBS_7	OBS_8	M_OBS*	M_CR**
OBS_1	1,00	0,88	0,91	0,98	0,82	0,82	0,97	0,95	0,97	0,91
OBS_2	0,88	1,00	0,95	0,90	0,89	0,77	0,91	0,88	0,95	0,88
OBS_3	0,91	0,95	1,00	0,94	0,94	0,78	0,95	0,89	0,97	0,94
OBS_4	0,98	0,90	0,94	1,00	0,85	0,83	0,98	0,95	0,98	0,94
OBS_5	0,82	0,89	0,94	0,85	1,00	0,70	0,85	0,80	0,91	0,86
OBS_6	0,82	0,77	0,78	0,83	0,70	1,00	0,83	0,75	0,86	0,77
OBS_7	0,97	0,91	0,95	0,98	0,85	0,83	1,00	0,95	0,98	0,97
OBS_8	0,95	0,88	0,89	0,95	0,80	0,75	0,95	1,00	0,95	0,88
M_OBS*	0,97	0,95	0,97	0,98	0,91	0,86	0,98	0,95	1,00	0,94
M_CR**	0,91	0,88	0,94	0,94	0,86	0,77	0,97	0,88	0,94	1,00

* Leitura média observadores

** Leitura média colorímetro

ANEXO 3 - Coeficientes de correlação de Pearson para as medidas do valor determinadas pelos observadores e pelo colorímetro

	OBS_1	OBS_2	OBS_3	OBS_4	OBS_5	OBS_6	OBS_7	OBS_8	M_OBS*	M_CR**
OBS_1	1,00	0,84	0,91	0,95	0,82	0,90	0,94	0,94	0,97	0,98
OBS_2	0,84	1,00	0,82	0,88	0,89	0,82	0,81	0,89	0,89	0,88
OBS_3	0,91	0,82	1,00	0,93	0,90	0,85	0,88	0,93	0,96	0,92
OBS_4	0,95	0,88	0,93	1,00	0,85	0,93	0,93	0,96	0,98	0,97
OBS_5	0,82	0,89	0,90	0,85	1,00	0,80	0,81	0,93	0,89	0,86
OBS_6	0,90	0,82	0,85	0,93	0,80	1,00	0,90	0,95	0,94	0,89
OBS_7	0,94	0,81	0,88	0,93	0,81	0,90	1,00	0,95	0,95	0,96
OBS_8	0,94	0,89	0,93	0,96	0,93	0,95	0,95	1,00	0,98	0,95
M_OBS*	0,97	0,89	0,96	0,98	0,89	0,94	0,95	0,98	1,00	0,98
M_CR**	0,98	0,88	0,92	0,97	0,86	0,89	0,96	0,95	0,98	1,00

* Leitura média observadores

** Leitura média colorímetro

ANEXO 4 - Coeficientes de correlação de Pearson para as medidas do croma determinadas pelos observadores e pelo colorímetro

	OBS_1	OBS_2	OBS_3	OBS_4	OBS_5	OBS_6	OBS_7	OBS_8	M_OBS*	M_CR**
OBS_1	1,00	0,90	0,93	0,96	0,87	0,96	0,93	0,69	0,98	0,96
OBS_2	0,90	1,00	0,82	0,90	0,80	0,96	0,88	0,80	0,95	0,84
OBS_3	0,93	0,82	1,00	0,95	0,77	0,89	0,86	0,65	0,93	0,92
OBS_4	0,96	0,90	0,95	1,00	0,82	0,96	0,91	0,69	0,97	0,94
OBS_5	0,87	0,80	0,77	0,82	1,00	0,83	0,75	0,70	0,89	0,85
OBS_6	0,96	0,96	0,89	0,96	0,83	1,00	0,92	0,77	0,98	0,92
OBS_7	0,93	0,88	0,86	0,91	0,75	0,92	1,00	0,55	0,92	0,87
OBS_8	0,69	0,80	0,65	0,69	0,70	0,77	0,55	1,00	0,78	0,60
M_OBS*	0,98	0,95	0,93	0,97	0,89	0,98	0,92	0,78	1,00	0,94
M_CR**	0,96	0,84	0,92	0,94	0,85	0,92	0,87	0,60	0,94	1,00

* Leitura média observadores

** Leitura média colorímetro

ANEXO 5 - Análise da variabilidade do componente matiz para uma mesma amostra de solo

Solo	Prof. (cm)	Média	Mínimo	Máximo	Amplitude	Variância	Desv. Pad	CV (%)	Erro
APt	0 - 20	10YR (5,0)	10YR (5,0)	10YR (5,0)	0	0	0	0	0
	20 - 40	10YR (5,0)	10YR (5,0)	10YR (5,0)	0	0	0	0	0
LBa	0 - 20	8,75YR (4,5)	7,5YR (4,0)	10YR (5,0)	1	0,280	0,529	11,9	0,187
	20 - 40	8,5YR (4,4)	7,5YR (4,0)	10YR (5,0)	1	0,262	0,511	11,5	0,181
LVd1	0 - 20	5,75YR (3,3)	5YR (3,0)	7,5YR (4,0)	1	0,208	0,450	13,6	0,159
	20 - 40	5,5YR (3,2)	5YR (3,0)	7,5YR (4,0)	1	0,173	0,408	12,7	0,144
LVd2	0 - 20	5YR (3,0)	5YR (3,0)	5YR (3,0)	0	0	0	0	0
	20 - 40	5YR (3,0)	5YR (3,0)	5YR (3,0)	0	0	0	0	0
LVdf1	0 - 20	5,25YR (3,1)	5YR (3,0)	7,5YR (4,0)	0,7	0,095	0,252	8,0	0,095
	20 - 40	5,25YR (3,1)	5YR (3,0)	7,5YR (4,0)	1	0,143	0,378	12,0	0,143
LVdf2	0 - 20	3,5YR (2,4)	2,5YR (2,0)	5YR (3,0)	1	0,268	0,518	21,8	0,183
	20 - 40	3,5YR (2,4)	2,5YR (2,0)	5YR (3,0)	1	0,268	0,518	21,8	0,183
PVd1	0 - 20	4,75YR (2,9)	2,5YR (2,0)	5YR (3,0)	1	0,125	0,354	12,3	0,125
	20 - 40	4,75YR (2,9)	2,5YR (2,0)	5YR (3,0)	1	0,125	0,354	12,3	0,125
PVd2	0 - 20	8,25YR (4,3)	5YR (3,0)	10YR (5,0)	1,7	0,399	0,627	14,7	0,222
	20 - 40	8,5YR (4,4)	7,5YR (4,0)	10YR (5,0)	1	0,274	0,523	11,8	0,185
PVd3	0 - 20	9,75YR (4,9)	7,5YR (4,0)	10YR (5,0)	1	0,125	0,354	7,3	0,125
	20 - 40	9,75YR (4,9)	7,5YR (4,0)	10YR (5,0)	1	0,125	0,354	7,3	0,125
SGe	0 - 20	10YR (5,0)	10YR (5,0)	10YR (5,0)	0	0	0	0	0
	20 - 40	10YR (5,0)	10YR (5,0)	10YR (5,0)	0	0	0	0	0
SXe	0 - 20	9,75YR (4,9)	7,5YR (4,0)	10YR (5,0)	1	0,143	0,378	7,8	0,143
	20 - 40	9,75YR (4,9)	7,5YR (4,0)	10YR (5,0)	1	0,143	0,378	7,8	0,143
VEo	0 - 20	9,50YR (4,8)	5YR (3,0)	10YR (5,0)	2	0,5	0,707	14,9	0,25
	20 - 40	9,50YR (4,8)	5YR (3,0)	10YR (5,0)	2	0,5	0,707	14,9	0,25

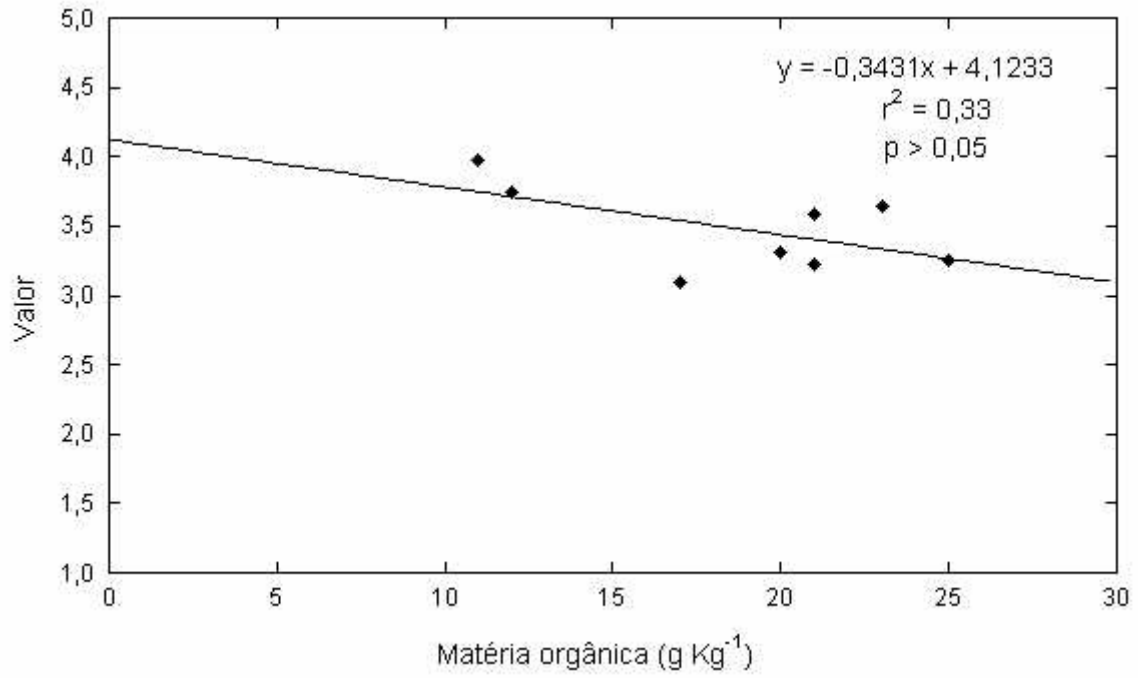
ANEXO 6 - Análise da variabilidade do componente valor para uma mesma amostra de solo

Solo	Prof. (cm)	Média	Mínimo	Máximo	Amplitude	Variância	Desv. Pad.	CV (%)	Erro
APt	0 - 20	5	3	6	3	0,862	0,916	17,9	0,324
	20 - 40	6	4	6	2	0,560	0,748	13,4	0,264
LBa	0 - 20	4	4	5	1	0,128	0,292	7,1	0,103
	20 - 40	4	3	4	1	0,125	0,354	8,9	0,125
LVd1	0 - 20	4	3	5	2	0,528	0,727	16,2	0,257
	20 - 40	4	3	5	2	0,385	0,597	14,1	0,211
LVd2	0 - 20	4	3	4	1	0,198	0,442	12,0	0,156
	20 - 40	4	3	4	1	0,168	0,408	10,8	0,147
LVdf1	0 - 20	4	3	5	1	0,305	0,441	10,4	0,156
	20 - 40	4	4	5	1	0,282	0,528	12,2	0,199
LVdf2	0 - 20	4	3	4	1	0,274	0,523	14,9	0,185
	20 - 40	3	3	4	1	0,375	0,603	17,4	0,213
PVd1	0 - 20	4	4	4	0	0,042	0,118	2,9	0,042
	20 - 40	4	4	4	0	0	0	0	0
PVd2	0 - 20	5	5	6	1	0,284	0,532	10,0	0,188
	20 - 40	5	5	6	1	0,138	0,348	6,7	0,123
PVd3	0 - 20	5	3	6	3	0,900	0,946	18,5	0,335
	20 - 40	5	3	6	3	1,055	1,027	19,3	0,363
SGe	0 - 20	5	3	6	3	1,067	1,033	19,4	0,365
	20 - 40	5	3	6	3	1,083	1,035	19,7	0,366
SXe	0 - 20	6	5	6	1	0,333	0,571	10,0	0,216
	20 - 40	5	4	6	1	0,206	0,444	8,9	0,168
VEo	0 - 20	4	3	4	1	0,193	0,430	11,1	0,152
	20 - 40	4	3	4	1	0,134	0,366	9,5	0,129

ANEXO 7 - Análise da variabilidade do componente croma para uma mesma amostra de solo

Solo	Prof. (cm)	Média	Mínimo	Máximo	Amplitude	Variância	Desv. Pad	CV (%)	Erro
APt	0 - 20	3	2	4	2	0,220	0,449	15,19	0,159
	20 - 40	3	3	4	1	0,143	0,366	12,19	0,133
LBa	0 - 20	4	4	5	1	0,399	0,514	12,46	0,182
	20 - 40	4	4	4	0	0,042	0,118	2,98	0,042
LVd1	0 - 20	6	3	8	5	2,750	1,649	28,26	0,583
	20 - 40	5	4	7	3	1,446	1,144	21,34	0,411
LVd2	0 - 20	4	4	7	3	1,119	1,016	23,00	0,359
	20 - 40	4	4	7	3	1,119	1,016	23,00	0,359
LVdf1	0 - 20	6	4	8	4	2,175	1,473	25,56	0,557
	20 - 40	6	4	8	4	1,778	1,324	23,37	0,501
LVdf2	0 - 20	6	4	7	3	1,321	1,144	20,48	0,404
	20 - 40	5	3	6	3	1,315	1,145	20,98	0,405
PVd1	0 - 20	7	6	8	2	1,024	1,010	13,93	0,357
	20 - 40	6	5	8	3	1,087	1,004	15,83	0,366
PVd2	0 - 20	5	4	6	2	0,563	0,666	14,26	0,235
	20 - 40	5	4	7	3	1,405	0,967	21,11	0,342
PVd3	0 - 20	3	2	4	2	0,375	0,604	18,81	0,213
	20 - 40	3	2	4	2	0,345	0,567	17,91	0,201
SGe	0 - 20	3	2	3	1	0,115	0,322	10,96	0,114
	20 - 40	3	2	3	1	0,179	0,331	11,05	0,117
SXe	0 - 20	3	2	4	2	0,540	0,732	25,21	0,277
	20 - 40	3	2	3	1	0,226	0,465	16,40	0,176
VEo	0 - 20	2	1	3	2	0,327	0,570	29,10	0,202
	20 - 40	2	1	2	1	0,179	0,414	21,59	0,146

ANEXO 8 - Correlação não significativa entre os teores de matéria orgânica e o valor Munsell para os solos hematíticos



ANEXO 9 - Correlações significativas e regressões entre as características dos solos e a reflectância

Dependente (Y)	r	r ²	Equação	Independente (X)
Areia	0,57	0,32	$y = 1,574x + 3,3866$	770
	0,61	0,37	$y = 1,1838x + 6,8515$	900
	0,63	0,40	$y = 1,0234x + 6,5481$	1050
	0,62	0,39	$y = 0,8841x + 8,1049$	1250
	0,63	0,40	$y = 0,8169x + 9,6861$	1550
	0,64	0,41	$y = 0,7955x + 9,5223$	1750
	0,69	0,47	$y = 1,011x + 7,5813$	1900
	0,68	0,46	$y = 0,8508x + 8,3001$	2050
	0,62	0,39	$y = 0,8286x + 11,514$	2200
	0,67	0,45	$y = 0,8588x + 8,7412$	2250
	0,66	0,44	$y = 0,8804x + 10,419$	2400
Silte	0,57	0,33	$y = 1,9621x + 19,239$	470
	0,59	0,35	$y = 1,5817x + 17,665$	540
	0,57	0,32	$y = 1,4553x + 12,941$	600
	0,53	0,28	$y = 0,6914x + 15,584$	770
	0,52	0,27	$y = 0,4786x + 18,152$	900
	0,51	0,26	$y = 0,3918x + 18,677$	1050
	0,51	0,26	$y = 0,3408x + 19,196$	1250
	0,50	0,25	$y = 0,3079x + 20,037$	1550
	0,47	0,22	$y = 0,3249x + 20,866$	1750
	0,47	0,22	$y = 0,3249x + 20,866$	1900
	0,47	0,22	$y = 0,2791x + 20,906$	2050
	0,50	0,25	$y = 0,3105x + 20,784$	2200
	0,47	0,22	$y = 0,2829x + 21,012$	2250
	0,48	0,23	$y = 0,2989x + 21,299$	2400
Argila	0,67	0,45	$y = -4,9815x + 60,942$	470
	0,69	0,47	$y = -3,9591x + 64,488$	540
	0,69	0,47	$y = -3,8522x + 78,801$	600
	0,80	0,64	$y = -2,2654x + 81,028$	770
	0,84	0,70	$y = -1,6623x + 74,996$	900
	0,85	0,72	$y = -1,4152x + 74,774$	1050
	0,85	0,72	$y = -1,2249x + 72,698$	1250
	0,85	0,72	$y = -1,1249x + 70,276$	1550
	0,85	0,73	$y = -1,0835x + 70,099$	1750
	0,88	0,78	$y = -1,3358x + 71,552$	1900
	0,88	0,77	$y = -1,1299x + 70,793$	2050
	0,84	0,71	$y = -1,1391x + 67,701$	2200
	0,87	0,76	$y = -1,1416x + 70,246$	2250
	0,87	0,75	$y = -1,1793x + 68,282$	2400
Fed	0,89	0,80	$y = -2,9784x + 33,328$	470
	0,92	0,85	$y = -2,3613x + 35,167$	540
	0,94	0,88	$y = -2,1979x + 41,926$	600
	0,94	0,88	$y = -1,1795x + 41,625$	770
	0,94	0,89	$y = -0,8938x + 40,019$	900

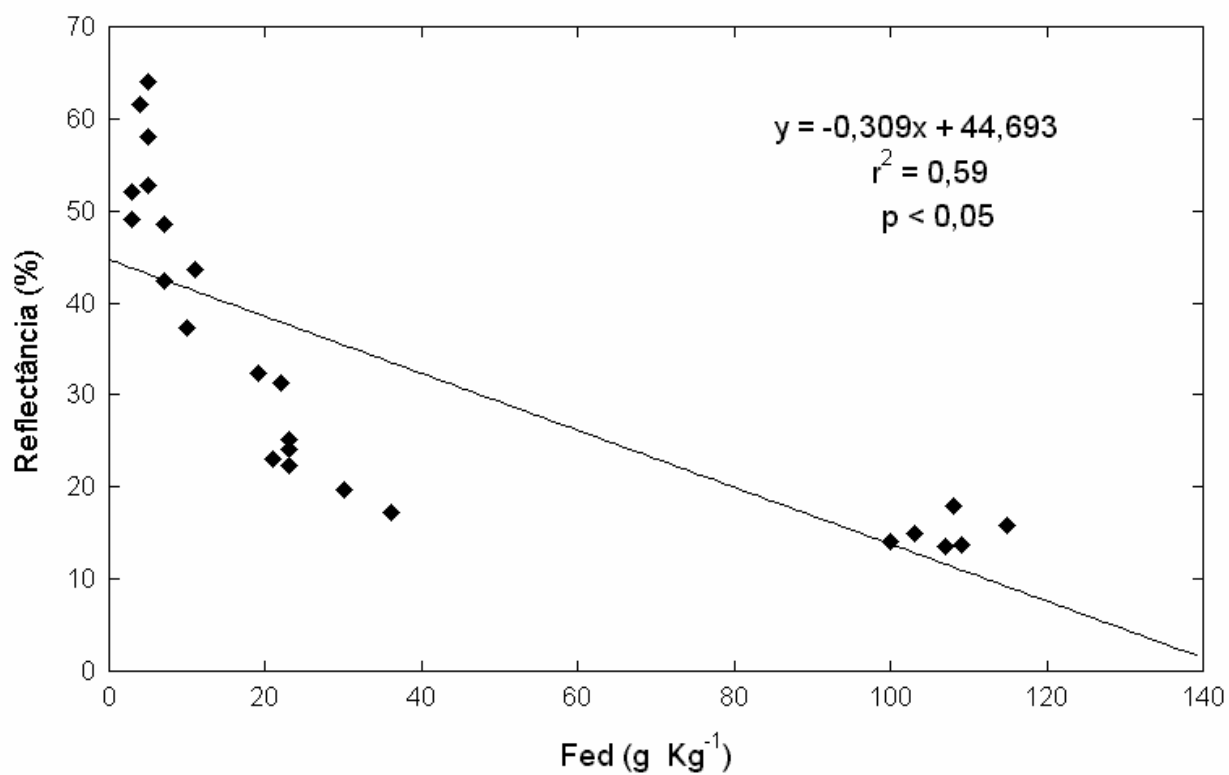
Continuação

	0,93	0,87	$y = -0,7736x + 40,665$	1050
	0,93	0,87	$y = -0,6812x + 40,038$	1250
Fed	0,93	0,86	$y = -0,6278x + 38,858$	1550
	0,92	0,85	$y = -0,6046x + 38,862$	1750
	0,91	0,82	$y = -0,6941x + 37,917$	1900
	0,91	0,83	$y = -0,6103x + 38,547$	2050
	0,92	0,84	$y = -0,6202x + 36,724$	2200
	0,91	0,83	$y = -0,6149x + 38,148$	2250
	0,91	0,82	$y = -0,6194x + 36,314$	2400
Feo	0,52	0,27	$y = -0,2658x + 6,1884$	600
	0,61	0,37	$y = -0,1584x + 6,3848$	770
	0,59	0,35	$y = -0,1071x + 5,7337$	900
	0,59	0,35	$y = -0,0892x + 5,6602$	1050
	0,57	0,32	$y = -0,0745x + 5,4413$	1250
	0,57	0,32	$y = -0,0679x + 5,279$	1550
	0,57	0,33	$y = -0,0659x + 5,2853$	1750
	0,64	0,41	$y = -0,0884x + 5,5789$	1900
	0,61	0,37	$y = -0,072x + 5,4371$	2050
	0,57	0,32	$y = -0,0699x + 5,1573$	2200
	0,61	0,37	$y = -0,0728x + 5,4035$	2250
0,62	0,38	$y = -0,0764x + 5,3139$	2400	
Feo/fed	0,77	0,60	$y = 0,0498x - 0,0714$	470
	0,73	0,53	$y = 0,0368x - 0,0844$	540
	0,61	0,37	$y = 0,0296x - 0,1438$	600
	0,63	0,40	$y = 0,0157x - 0,1239$	770
	0,69	0,48	$y = 0,012x - 0,0945$	900
	0,70	0,49	$y = 0,0101x - 0,0895$	1050
	0,71	0,50	$y = 0,009x - 0,0828$	1250
	0,71	0,51	$y = 0,0082x - 0,0632$	1550
	0,71	0,50	$y = 0,0078x - 0,0576$	1750
	0,62	0,38	$y = 0,0081x - 0,0266$	1900
	0,66	0,43	$y = 0,0074x - 0,0388$	2050
	0,68	0,46	$y = 0,008x - 0,0354$	2200
	0,66	0,43	$y = 0,0074x - 0,0342$	2250
0,64	0,41	$y = 0,0076x - 0,0181$	2400	
Matiz	0,65	0,42	$y = 0,1259x + 3,1358$	470
	0,66	0,44	$y = 0,1011x + 3,038$	540
	0,51	0,26	$y = 0,0748x + 2,9522$	600
	0,46	0,21	$y = 0,0339x + 3,123$	770
Valor	0,89	0,79	$y = 0,1683x + 3,0597$	470
	0,91	0,83	$y = 0,1352x + 2,9282$	540
	0,91	0,82	$y = 0,1289x + 2,4712$	600
	0,92	0,85	$y = 0,0668x + 2,5868$	770

Continuação

Croma	0,85	0,72	$y = -0,1931x + 4,5684$	470
	0,85	0,72	$y = -0,1515x + 4,7042$	540
	0,75	0,56	$y = -0,1351x + 5,1351$	600
	0,77	0,59	$y = -0,0712x + 5,0439$	770
Índices de Vermelho	0,69	0,48	$y = -0,5315x + 5,8473$	470
	0,70	0,49	$y = -0,4195x + 6,2026$	540
	0,53	0,28	$y = -0,3082x + 6,5312$	600
	0,51	0,26	$y = -0,151x + 6,0676$	770

ANEXO 10 - Relação entre os teores de Fed e a reflectância (1550 nm) para todos os solos



ANEXO 11 - Correlação e regressão entre os teores de matéria orgânica e a reflectância dos solos APt, LBa, LVdf1, PVd2, PVd3, SGe, SXe e VEO

Dependente (Y)	r	r ²	Equação	Independente (x)
Matéria Orgânica	0,81	0,65	$y = -0,3704x + 5,4762$	470
	0,85	0,73	$y = -0,3201x + 6,0223$	540
	0,91	0,83	$y = -0,3077x + 7,0575$	600
	0,92	0,84	$y = -0,1469x + 6,4201$	770
	0,90	0,81	$y = -0,1004x + 5,8271$	900
	0,89	0,80	$y = -0,082x + 5,6809$	1050
	0,88	0,77	$y = -0,0711x + 5,5741$	1250
	0,87	0,76	$y = -0,0644x + 5,3945$	1550
	0,87	0,76	$y = -0,0611x + 5,3374$	1750
	0,90	0,81	$y = -0,0743x + 5,367$	1900
	0,89	0,79	$y = -0,0626x + 5,3184$	2050
	0,88	0,77	$y = -0,0653x + 5,243$	2200
	0,89	0,79	$y = -0,0633x + 5,2874$	2250
	0,89	0,80	$y = -0,0663x + 5,2142$	2400

ANEXO 12 - Correlação e regressão entre os teores de matéria orgânica e a reflectância dos solos LVd1, LVd2, LVdf2 e PVd1

Dependente (Y)	r	r ²	Equação	Independente (x)
Matéria Orgânica	0,87	0,75	$y = -0,7716x + 4,1406$	470
	0,88	0,78	$y = -0,5186x + 4,1433$	540
	0,76	0,58	$y = -0,2352x + 3,9138$	600
	0,83	0,69	$y = -0,1367x + 4,0258$	770
	0,73	0,53	$y = -0,0883x + 3,4261$	900