

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA

**DETERMINAÇÃO DA COR DO SOLO PELA CARTA DE
MUNSELL E POR COLORIMETRIA**

THALITA LUZIA BARROS GUIMARÃES

Brasília, DF
Dezembro de 2016

THALITA LUZIA BARROS GUIMARÃES

**DETERMINAÇÃO DA COR DO SOLO PELA CARTA DE
MUNSELL E POR COLORIMETRIA**

Monografia apresentada à Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília-UnB, como parte das exigências do curso de Graduação em Agronomia, para a obtenção do título de Engenheira Agrônoma.

Orientador: Prof. Dr. Tairone Paiva Leão

**Brasília, DF
Dezembro de 2016**

FICHA CATALOGRÁFICA

GUIMARÃES, Thalita Luzia Barros

“DETERMINAÇÃO DA COR DO SOLO PELA CARTA DE MUNSELL E POR COLORIMETRIA”.

Orientação: Tairone Paiva Leão, Brasília 2016. 57 páginas. Monografia de Graduação (G) – Universidade de Brasília / Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2016.

1. Cor do solo 2. Carta de Munsell 3. Colorimetria

I. LEÃO, T.P. II. Ph.D..

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

GUIMARÃES, T.L.B **DETERMINAÇÃO DA COR DO SOLO PELA CARTA DE MUNSELL E POR COLORIMETRIA**. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2016, 57 Páginas. Monografia.

CESSÃO DE DIREITOS

Nome do Autor: THALITA LUZIA BARROS GUIMARÃES

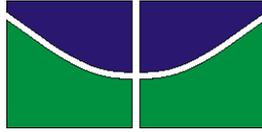
Título da Monografia de Conclusão de Curso: Determinação da cor do solo pela carta de Munsell e por colorimetria.

Grau: 3º**Ano:** 2016

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta monografia de graduação e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva-se a outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de graduação pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

THALITA LUZIA BARROS GUIMARÃES

e-mail: thalitaluzia@gmail.com



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA

THALITA LUZIA BARROS GUIMARÃES

**DETERMINAÇÃO DA COR DO SOLO PELA CARTA DE
MUNSELL E POR COLORIMETRIA**

Monografia apresentada à Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília-UnB, como parte das exigências do curso de Graduação em Agronomia, para a obtenção do título de Engenheira Agrônoma.

Orientador: Prof. Dr. Tairone Paiva Leão

BANCA EXAMINADORA:

Tairone Paiva Leão
Ph.D., Universidade de Brasília (FAV/UnB)
Orientador / email: tleao@unb.br

Marina Rolim Bilich Neumann
Doutora, Universidade de Brasília (FAV/UnB)

Ernandes Rodrigues de Alencar
Doutor, Universidade de Brasília (FAV/UnB)

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho e todas as minhas conquistas à Antônia Ferreira de Barros, o maior amor da minha vida. A mulher mais sábia que eu já conheci, que nunca soube escrever nada além do seu nome, e mesmo assim, foi minha maior professora e ensinou-me as coisas mais preciosas que hoje eu sei. Salomão, no capítulo 31 do livro de provérbios fala de uma mulher cujo valor muito excede ao de finas joias e pergunta: “Mulher virtuosa quem a achará? ”. Eu achei!

Dona Antônia, eu sinto sua falta constantemente e não ter a senhora ao meu lado faz tudo muito mais difícil. Tudo que eu mais precisava era da senhora aqui, para me contar suas histórias, fazer um chazinho gostoso, acalmar meu coração no seu colo. Então, eu teria certeza de que tudo vai dar certo e que eu não preciso ter medo de nada. A senhora é o meu maior exemplo! Peço a Deus que me faça ser a metade da pessoa que a senhora foi! Obrigada, por tudo Vovó! Eu te amo com todo o meu coração e dedico todas as minhas vitórias e realizações à senhora.

“Muitas mulheres procedem virtuosamente, mas tu a todas sobrepujas. ”
Provérbios 31. 29

Com muito amor, sua neta preferida, Thalita!

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, meu adorado Senhor e ao seu filho, Jesus Cristo meu amado Mestre. Sou grata pela misericórdia de não me dar o que eu mereço, a morte, e pela graça de me dar o que eu não mereço, a salvação em Cristo.

Ao meu orientador, Tairone. Obrigada pela compreensão e apoio durante toda a minha graduação. O senhor se tornou muito mais que um professor, eu te considero um amigo para a vida toda, eu te respeito e admiro muito.

Aos professores, Nandes e Marina, agradeço por terem aceitado o convite de participação na banca e por terem sido tão atenciosos e prestativos ao emprestar o colorímetro e a carta de Munsell para que eu pudesse fazer as determinações da cor dos solos.

Aos meus Pais, Geraldo e Clerice, eu agradeço todo amor, dedicação que sempre tiveram comigo. Agradeço por todos os sacrifícios que fizeram para me dar o melhor, muitas vezes me colocando antes de vocês mesmos. Vocês são os melhores.

Ao meu irmão, Juninho, companheiro de todas as horas. Agradeço por você ter crescido e ter ficado tão forte para poder me carregar no colo kkkk. Eu te amo!

À minha família pelo carinho e amor. Especialmente aos meus primos, Nandinha e Dudu, por terem me recebido na casa de vocês durante todos esses anos de faculdade.

Ao meu namorado, Lucas. Agradeço por ser sempre presente, por provar que o amor sobrevive à distância e por me entender mesmo quando eu mesma não me entendo, por ser tão calmo e tranquilo equilibrando minha falta de equilíbrio!

À família que construí na UnB. Meus amigos do ilustríssimo BMFC, Marrie, Barbarrá, Morena, Karenzita, Cathê, Tailinda, Jas, Lara, Larinha, Máira, Ana Paula, Léo, Di, Gui, Daniboy, Zoião, Pedro, Bacon, Erick e André, obrigada por todos os churrascos, jogos e momentos inesquecíveis. Minhas amigas, Bruninha e Deusa filha, obrigada por sempre acreditarem no meu potencial. E ao meu amado amigo Kil, obrigada pela melhor massagem e por ser o único capaz de estralar meu dedão, vou te amor sempre, príncipe!

À minha família do Arizona, as Travas mais lindas, Smiggle, Celi, Marina, Matheus, Matheuzinho, Maysa, Raina, Talita, Tatty, Thais e Thaisinha. Eu agradeço por serem meu oásis no deserto, literalmente!

Agradeço às mestrandas Bruna e Helen, por toda ajuda e apoio que me deram. Agradeço especialmente a Bruna pelos dados das análises químicas e físicas dos solos.

Aos professores, Tairone, Eiyti, Alessandra, Lucrecia, Thais, Cícero e ao pesquisador da Embrapa Hortaliças Juscimar, eu agradeço pela prestatividade em participar como observadores convidados.

E finalmente, ao meu querido Perninha, o cachorro de três patas mais massa do mundo. Obrigada por me fazer rir sempre.

*“Ao único Deus, nosso Salvador, mediante Jesus Cristo, Senhor
nosso, glória, majestade, império e soberania, antes de todas as eras,
e agora, e por todos os séculos. Amém! ” Judas 1.25*

GUIMARÃES, THALITA LUZIA BARROS. **DETERMINAÇÃO DA COR DO SOLO PELA CARTA DE MUNSELL E POR COLORIMETRIA.** 2016. Monografia (Bacharelado em Agronomia). Universidade de Brasília – UnB.

RESUMO

A cor é uma propriedade física mundialmente utilizada na classificação dos solos e na diferenciação dos horizontes. A cor do solo pode ser determinada por comparação visual com a carta de Munsell e com o uso de instrumentos de sensoriamento remoto como colorímetros, espectrofotômetros e espectrorradiômetros. O objetivo deste trabalho foi comparar determinação da cor do solo feitas com o uso da carta de Munsell e por colorimetria, avaliando a precisão de cada método e as possíveis divergências entre eles. Foram feitas determinações da cor seca e úmida dos horizontes superficiais e subsuperficiais de cinco solos do Distrito Federal. Os coeficientes de correlação mostraram coerência entre os dois métodos de determinação da cor dos solos. Observou-se que há divergência entre os métodos para o componente valor, onde percebeu-se tendência de superestimação deste componente pelo método de Munsell. O método de determinação da cor com o uso do colorímetro mostrou-se mais preciso que o método de determinação visual, pois a medição da cor é dada em condições controladas e não subjetivas. Também foram observadas influências da mineralogia dos solos, umidade, e acúmulo de matéria orgânica sobre os componentes da cor do solo.

Palavras-chave: Cor do solo, Carta de Munsell, Colorimetria

ABSTRACT

Color is a physical property of soils. It is used worldwide in soil classification. The soil color can be determined through visual comparison with the Munsell chart and with the use of remote sensing instruments such as colorimeters, spectrophotometers and spectroradiometers. The objectives of this research were to compare soil color determination by the conventional method and colorimetry, evaluate the accuracy of each method and check possible differences between them. The dry and wet color of the surface and subsurface horizons of five soils of the Federal District were measured. The correlation coefficients showed that there is consistency among the two methods. The Munsell method tended to overestimating the value component of the soil color. The colorimetric method was more accurate than the visual determination method because the color measurement is given under controlled and non-subjective conditions. It was also observed that the soil mineralogy, moisture, and organic matter content had influence over the soil color components.

Key-words: Soil color, Munsell Color Chart, Colorimetry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama representando os três componentes da cor pelo sistema Munsell de Cores.....	23
Figura 2. Carta de Munsell com exemplo de notação de cor.	25
Figura 3. Espectro visível da luz e respectivos comprimentos de onda em nm.....	25
Figura 4. Funções de ajustamento da cor do espaço colorimétrico RGB do CIE	26
Figura 5. Funções de ajustamento da cor do espaço colorimétrico XYZ do CIE	27
Figura 6. Diagrama de cromaticidade x e y do CIE	28
Figura 7. Esquema para identificação da tonalidade e saturação da cor pelo diagrama de cromaticidade.....	29
Figura 8. Gama de cores de Munsell para os solos representada no diagrama de cromaticidade do CIE.....	30
Figura 9. Perfis dos cinco solos utilizados neste estudo.....	33
Figura 10. Leitura da carta de Munsell para amostra de solo seca e úmida do horizonte Cg do Organossolo.	35
Figura 11. Leitura da carta de Munsell para amostra de solos secas e úmidas em condição de laboratório	36
Figura 12. Colorímetro ColorQuest® XE.	36
Figura 13. Média da componente de cor x entre os métodos de determinação avaliados.	44
Figura 14. Média da componente de cor y entre os métodos de determinação avaliados	44
Figura 15. Média da componente de cor Y entre os métodos de determinação avaliados	45
Figura 16. Curvas espectrais do Gleissolo	46
Figura 17. Curvas espectrais do Organossolo	46
Figura 18. Curvas espectrais do Neossolo.....	47
Figura 19. Curvas espectrais do Latossolo Vermelho.....	48
Figura 20. Curvas espectrais do Latossolo Amarelo	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Notação em Munsell da cor dos minerais e suas respectivas fórmulas e tamanho	20
Tabela 2. Resultados das análises físicas de densidade de partículas (Dp) e granulometria.....	38
Tabela 3. Resultados das análises químicas de alumínio (Al^{3+}), cálcio e magnésio ($Ca^{2+}+Mg^{2+}$), potássio (K^+), fósforo (P), matéria orgânica (M.O.), Carbono (C) e pH	38
Tabela 4. Valores de x,y,Y da escala cromática CIE (1931) para os diferentes solos analisados.	39
Tabela 5. Correlação de Pearson	40
Tabela 6. Resultado do F da análise da variância para as variáveis medidas.....	41
Tabela 7. Valores de x,y,Y da escala cromática CIE (1931) para os diferentes solos analisados com o uso de um colorímetro e pela leitura da carta de Munsell por 7 observadores convidados	50

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	13
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1.	Cor do solo.....	15
2.2.	Importância.....	17
2.3.	Fatores que determinam a cor do solo.....	18
2.3.1.	Mineralogia.....	18
2.3.2.	Umidade.....	21
2.3.3.	Matéria Orgânica.....	21
2.4.	Métodos de determinação.....	22
2.4.1.	Carta de Munsell.....	22
2.4.2.	Colorimetria.....	25
3.	OBJETIVOS.....	32
3.1.	Objetivo geral.....	32
3.2.	Objetivos específicos.....	32
4.	MATERIAL E MÉTODOS.....	33
4.1.	Amostragem.....	33
4.2.	Procedimentos em laboratório (Caracterização dos solos).....	34
4.3.	Delineamento.....	34
4.3.1.	Experimento 1.....	35
4.3.2.	Experimento 2.....	37
4.4.	Análises Estatísticas.....	37
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
5.1.	Caracterização dos solos utilizados no experimento.....	38
5.2.	Cor do solo.....	38
5.3.	Análise de Correlação (R de Pearson).....	40
5.4.	Análise de Variância (ANOVA).....	41
5.5.	Teste de Tukey para comparação de médias.....	43
5.6.	Curvas espectrais dos solos.....	45
5.7.	Desvio Padrão.....	49
6.	CONCLUSÕES.....	51
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52

1 INTRODUÇÃO

A cor é a primeira característica notada ao se observar um perfil de solo. Por ser de fácil visualização, a cor é um atributo utilizado na identificação e descrição do solo no campo. Através da cor do solo é possível inferir diversas informações sobre o relevo, vegetação e clima de uma região além de algumas propriedades dos solos como a sua mineralogia e concentração de matéria orgânica (FERNANDEZ & SCHULZE, 1992; SCHAETZL & ANDERSON, 2005). A determinação da cor do solo por meio da comparação visual com os padrões da carta de Munsell passou a ser aderida como método oficial de classificação dos solos pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América no ano de 1951. Desde então o sistema de cores de Munsell vem sendo utilizado por pesquisadores de solos mundialmente (SIMONSON, 1993). No atual Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013), a cor, determinada por comparação com os padrões da carta de Munsell, é atributo de diferenciação de algumas classes de solos.

O sistema Munsell de cores (MUNSELL SOIL COLOR COMPANY, 1950) classifica as cores em três componentes: Matiz, Valor e Cromo, onde o matiz é a cor espectral dominante, o valor é a tonalidade da cor e o croma é a pureza da cor (SURVEY STAFF, 1993). A Carta de Cores Munsell para Solos reúne uma série de padrões de cor encontradas nos solos, abaixo de cada padrão de cor há uma abertura onde são posicionadas as amostras de solo para se fazer a comparação visual. A notação Munsell referente a cada padrão de cor é feita da seguinte forma: matiz valor/croma. A determinação da cor dos solos pela carta de Munsell vem sendo mundialmente utilizada devido à sua fácil e rápida aplicação em campo.

Outra forma de determinação da cor é com o uso de instrumentos de sensoriamento remoto como colorímetros, espectrofotômetros e espectrorradiômetros. Esses equipamentos registam a energia refletida pelos solos. Uma vez que o solo é um objeto não luminoso, sua cor é resultado de sua interação com a luz. O solo absorve determinados comprimentos de onda e a combinação dos comprimentos de onda refletidos é que determina a cor do solo (DALMOLIN et al., 2005; SCHANDA, 2007). Existem vários espaços colorimétricos criados pelo Comitê Internacional de Colorimetria que possibilitam a definição das cores em três estímulos. No ano de 1931 foi criado o espaço colorimétrico xyY onde, x e y representam a cromaticidade e Y

representa a luminosidade. Os três valores (x,y,Y) juntos definem completamente uma cor (KERR, 2016; OHTA & ROBERTSON, 2006).

Rossel et al. (2006) correlacionaram o sistema de Munsell com o espaço colorimétrico xyY. Estes autores observaram uma boa correlação entre a matiz e a coordenada y, entre o croma a coordenada x e entre o valor com o estímulo Y.

O método convencional de determinação da cor do solo depende de fatores que não podem ser controlados, tais como as características da luz incidente sobre o solo e a percepção visual dos observadores, que afetam a interpretação da cor tornando o método subjetivo (MELVILLE & ATKINSON, 1985).

A determinação da cor dos solos com o uso de aparelhos de sensoriamento remoto surge como uma alternativa ao método de determinação por comparação visual. A medição da cor é dada em condições controladas que eliminam a subjetividade e o erro humano e permite a caracterização da cor de maneira mais exata e precisa (BOTELLHO et al 2006).

Desta forma, o objetivo desse trabalho foi comparar os métodos de determinação da cor do solo pela carta de Munsell e por colorimetria, avaliando a precisão de cada método e as possíveis divergências entre eles. Foram feitas determinações da cor seca e úmida dos horizontes superficiais e subsuperficiais de cinco solos do Distrito Federal.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Cor do solo

Os pigmentos dos solos foram utilizados como agentes colorantes no desenvolvimento de várias civilizações. Os povos aborígenes do norte e centro da Austrália utilizavam o pigmento ocre, derivado do solo, nas pinturas corporais em todas as cerimônias importantes, desde o nascimento até a morte (TAÇON, 2004). Escavações em cavernas revelaram que o pigmento ocre era amplamente utilizado para fins artísticos e filosóficos pelos primeiros australianos entre 57.000-71.000 anos atrás (THORNE et al., 1999). O povo nativo americano Chusmas, habitou as regiões costeiras do centro e sul da Califórnia, utilizava hematita em suas pinturas rupestres caracterizadas por faixas e manchas vermelhas (GRANT, 1965). Além dos pigmentos vermelhos, a tribo Chusmas utilizava argila branca em pinturas corporais e cerimônias de cura (ROBINSON, 2004).

Na Itália, óxidos de ferro eram utilizados como pigmentos amarelos para decorar cerâmicas durante a renascença (BULTRINI et al., 2006). As cerâmicas são peças de argila, praticamente imperecíveis, por este motivo, são artefatos importantes em estudos arqueológicos (ARNOLD, 1985). As peças de cerâmicas mais antigas são datadas de 25.000 anos atrás (CARTER & NORTON, 2007).

Ainda hoje as cores do solo são destaques no artesanato e os pigmentos do solo vêm sendo empregados como corantes. O Projeto Cores da Terra (CARVALHO et al., 2007), desenvolvido pelo Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa (UFV), ensina como fabricar tintas à base de solo para pintura de residências. No Havaí, uma marca de roupas é muito conhecida por ter todas as peças tingidas com solo vermelho.

Minerais são comumente utilizados na indústria farmacêutica como ingredientes ativos, por apresentar propriedades terapêuticas, ou como excipientes. Também são utilizados com frequência em spas e centros de estética (CARRETERO & POZO, 2009). Além das propriedades físicas, mecânicas e térmicas dos minerais, os atributos visuais como os pigmentos e agentes opacificantes são muito utilizados para melhorar as propriedades organolépticas de medicamentos (CARRETERO & POZO, 2009).

As argilas são utilizadas como princípio ativo em cosméticos, como as máscaras faciais, sendo recomendadas no tratamento de inflamações da pele e oleosidade devido a sua capacidade em absorver óleos e toxinas (CARRETERO, 2002). Com uma grande variedade de cor (branco, amarelo, cinza, verde, etc.) cada uma das argilas utilizadas em tratamentos estéticos tem uma função específica que depende de suas propriedades físico-químicas (LÓPEZ-GALINDO et al., 2007).

A cor do solo é uma característica morfológica de grande importância na ciência do solo. Por sua fácil visualização e determinação, a cor do solo, é amplamente utilizada para classificar e interpretar os solos (SANTOS et al., 2005). Há mais de dois mil anos os filósofos romanos e gregos já classificavam o solo pela cor associando-a com a produtividade do solo. Os solos pretos eram tidos como férteis e os mais claros como inférteis. Columela, escritor romano do século primeiro, discordava deste ponto de vista considerando a infertilidade de solos pretos de pântanos e a alta fertilidade dos solos claros da Líbia (LAPIDO-LOUREIRO et al., 2009).

O povo indígena Xicrin que habita a reserva indígena Kayapó-Xicrin no estado do Pará, desenvolveu o seu próprio sistema de classificação dos solos. Neste sistema o atributo cor divide o solo em quatro categorias, branco, vermelho, amarelo e preto. Além da cor eles avaliam a textura, pedregosidade e umidade do solo (COOPER et al., 2005).

Cientistas Russos passaram a dar atenção à cor dos solos no início do século 19. Durante a década de 1920, começaram a descrever a cor do solo de acordo com a tonalidade, brilho e saturação (ZAKHAROV, 1927). Nos Estados Unidos, o atributo cor do solo não foi considerado no sistema de classificação até o ano de 1914 quando a divisão de solos do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA - United States Department of Agriculture) publicou uma lista com vinte e dois nomes para cores de solo, mas não havia, até então, nenhum padrão de cores. O USDA juntamente com a *Munsell Company* preparou uma série de cartas de cores que foram adotadas a partir de 1951 no manual de levantamento de solo (SOIL SURVEY STAFF, 1993). Desde então o sistema de cores de Munsell (MUNSELL SOIL COLOR COMPANY, 1950) e uma nova lista de nomes passaram a ser utilizados e recomendados pela USDA na determinação das cores dos solos (SIMONSON, 1993). Esse sistema passou a ser aderido por pesquisadores de solos do mundo todo.

O sistema Brasileiro de Classificação de Solos-SiBCS (EMBRAPA, 2013) surgiu como uma evolução do antigo sistema de classificação americano. Começou a ser desenvolvido no ano de 1950, sendo a sua primeira edição publicada no ano de 1999. O SiBCS utiliza a carta de Munsell (MUNSELL SOIL COLOR COMPANY, 1950) como padrão na classificação da cor do solo.

2.2 Importância

A cor é uma propriedade física da qual pode-se inferir diversas informações sobre o solo. A mudança da cor pode ser uma resposta a mudanças de relevo, vegetação, profundidade, clima, aeração, material de origem, grau de intemperismo, mineralogia e concentração de matéria orgânica. Nesse contexto, a análise da cor pode ser utilizada para obter informações sobre as propriedades do solo e do ambiente, na classificação dos solos e diferenciação dos horizontes além de exercer influência na temperatura do solo (FERNANDEZ & SCHULZE, 1992; SCHAETZL & ANDERSON, 2005).

O estabelecimento de relações quantitativas entre a cor e os constituintes do solo é objeto de pesquisas que buscam estabelecer a análise da cor como alternativa mais rápida e barata aos métodos tradicionais de determinação de algumas propriedades do solo. A exemplo a identificação e quantificação de óxidos de ferro por meio da análise de cor do solo (BARRON & TORRENT, 1986; CAMPOS et al., 2003; MADEIRA NETTO et al., 1997). Braumann et al. (2016) e Schulze et al. (1993) avaliaram a relação entre a cor do solo e a concentração e composição de matéria orgânica.

Alguns parâmetros de cor podem ser obtidos através da reflectância do solo. A reflectância do solo, quantidade de energia refletida, é a junção de três fatores: energia incidente, quantidade de energia absorvida e quantidade de energia que é transmitida (STONER & BAUMGARDNER, 1986). A energia espectral refletida é representada em diagramas conhecidos como curvas espectrais. Stoner et al. (1979) utilizaram curvas espectrais de várias classes de solos para predizer características dos mesmos. Em 1981, Stoner e Baumgardner definiram curvas espectrais para solos de acordo com o conteúdo de matéria orgânica, óxidos de ferro e mineralogia.

A cor é uma característica importante na identificação e descrição do solo no campo. No atual Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013), a cor, determinada por comparação com os padrões da carta de Munsell, é atributo de diferenciação de algumas classes de solos. Determinando o nome no segundo nível

categorico de Argissolos, Latossolos e Nitossolos e é caráter de diferenciação entre Nitossolos e Argissolos Vermelhos ou Vermelho-Amarelos quando as demais características forem coincidentes.

A análise da cor do solo também é importante no sensoriamento remoto. Escadafal et al. (1989) estudaram a relação entre a cor do solo e as bandas do LANDSAT e obtiveram coeficientes de correlação superiores a 0,90 nas cores medidas com a carta de Munsell. Post et al. (1994) avaliaram a cor da terra fina de solos com colorímetro e obtiveram dados correlacionados com as bandas do LANDSAT. Mattikalli (1997) utilizou a reflectância para determinar a cor de 76 solos e os intervalos espectrais obtidos coincidiram com as bandas do sensor multiespectral (MSS) do LANDSAT. O autor concluiu que a determinação da cor do solo por meio da reflectância pode ser utilizada para identificação e mapeamento de solos de áreas grandes ou inacessíveis utilizando imagens de satélite.

2.3 Fatores que determinam a cor do solo

A cor do solo está diretamente relacionada às propriedades químicas e físicas do solo e a sua composição biológica e mineralógica, sendo que os principais fatores que influenciam a cor dos solos são a mineralogia, a umidade e o conteúdo de matéria orgânica.

2.3.1 Mineralogia

A mineralogia está diretamente ligada ao material de origem e ao grau de intemperismo do solo (SCHAETZL & ANDERSON, 2005). Solos com pequeno desenvolvimento pedogenético, como os Neossolos, apresentam textura arenosa ou franco-arenosa devido a sua constituição mineralógica ser rica em quartzo. Esses solos são geralmente pobres em matéria orgânica e óxidos de ferro e tendem a ser mais claros e esbranquiçados por apresentarem pouco desenvolvimento de cor (AZEVEDO, 2006; EMBRAPA, 2013). Solos bem drenados e altamente intemperizados, como os Latossolos, apresentam uma coloração vermelha ou amarela devido à presença de óxidos de ferro (Fe^{+3}).

Mesmo que em pequenas concentrações, os óxidos de ferro exercem grande influência nas propriedades dos solos, principalmente na cor (SCHWERTMANN,

2008). A presença desses minerais pode mascarar a influência de outros constituintes sobre a cor do solo (STONER & BAUMGARDNER, 1981). De acordo com os autores, quando em teores maiores que 4%, os óxidos de ferro podem disfarçar o efeito da matéria orgânica.

Os óxidos de ferro apresentam cores diferentes devido à absorção seletiva da luz na região do visível, que é causada pela transição de elétrons na camada orbital (DALMOLIN et al., 2005). A hematita apresenta transição eletrônica no espectro em 530 nm e a goethita em 480 nm (SHERMAN & WAITE, 1985), em outras palavras, quando a hematita absorve um comprimento de onda de 530 nm, ocorre a transição de elétrons entre os orbitais moleculares, sendo observada a cor vermelha, enquanto a transição eletrônica do goethita ocorre quando é absorvida uma radiação eletromagnética no comprimento de onda de 480 nm, sendo observada a cor amarela. A goethita absorve um comprimento de onda menor, apresentando maior reflectância que a hematita (VITORELLO & GALVÃO, 1996; KOSMAS et al., 1984). Stoner et al. (1991) observaram que o predomínio de hematita no solo eleva o poder de absorção de luz deixando-o mais opaco.

A goethita, óxido de ferro hidratado, é o óxido de ferro mais comum nos solos, pode ser encontrada tanto em regiões tropicais como em regiões temperadas e confere aos solos uma cor amarelada. A hematita, óxido de ferro não-hidratado, confere ao solo uma cor vermelha forte. Em amostras heterogêneas, mesmo em pequenas quantidades, o matiz avermelhado da hematita mascara o matiz amarelo da goethita, sobressaindo a cor vermelha (RESENDE, 1976; SCHAETZL & ANDERSON, 2005; SCHWERTMANN, 1988). Os solos tropicais e subtropicais são solos mais avermelhados, pois apresentam níveis variados tanto de hematita quanto de goethita. Já os solos de climas temperados são dominados por goethita e normalmente não apresentam hematita em sua composição, portanto são mais amarelos a amarronzados (SCHWERTMANN & TAYLOR, 1989).

Em condições hidromórficas, onde ocorre prolongada saturação com água, e quando em condição anaeróbica, o ferro presente no solo sofre um processo de redução ($\text{Fe}^{+3} \rightarrow \text{Fe}^{+2}$) conferindo uma coloração cinzenta ao solo. Esse processo é conhecido como gleização e é típico dos Gleissolos (SCHWERTMANN, 2008).

A cor específica de cada mineral é decorrente da sua interação com a luz visível e depende da estrutura cristalina e do tamanho da partícula. Partículas maiores de

goethita conferem uma cor mais amarelada aos solos enquanto partículas menores produzem uma coloração mais amarronzada. Partículas de hematita de tamanhos maiores apresentam cores mais púrpuras que as partículas menores (TORRENT & SCHWERTMANN, 1987).

A Tabela 1 apresenta os minerais do solo e suas respectivas fórmulas, relacionados com a notação Munsell referente a cada um deles. Destacando-se a influência do tamanho da partícula na determinação da cor. Os nomes das cores foram traduzidos para o português de acordo com Santos et al. (2005).

Tabela 1. Notação em Munsell da cor dos minerais e suas respectivas fórmulas e tamanho (Adaptado de LYNN & PEARSON, 2000).

Mineral	Fórmula	Munsell	Cor
Goethita (1-2 mm)	FeOOH	10YR 8/6	Amarelo
Goethita (~0.2 mm)	FeOOH	7.5YR 5/6	Bruno-forte
Hematita (~0.4 mm)	Fe ₂ O ₃	5R 3/6	Vermelho
Hematita (~0.1 mm)	Fe ₂ O ₃	10R 4/8	Vermelho
Lepidocrocita (~0.5 mm)	Fe ³⁺ O(OH)	5YR 6/8	Amarelo-avermelhado
Lepidocrocita (~0.1 mm)	Fe ³⁺ O(OH)	2.5YR 4/6	Vermelho
Ferrihidrita	Fe ₃ HO ₈ 4H ₂ O	2.5YR 3/6	Vermelho-escuro
Glauconita	K(Si _x Al _{4-x})(Al,Fe,Mg)O ₁₀ (OH) ₂	5Y 5/1	Cinzeno-escuro
Sulfeto de ferro	FeS	10YR 2/1	Preto
Pirita	FeS ₂	10YR 2/1	Preto (metálico)
Jarosita	K Fe ₃ (OH) ₆ (SO ₄) ₂	5Y 6/4	Amarelo-claro-acinzentado
Todorokita	MnO ₄	10YR 2/1	Preto
Húmus		10YR 2/1	Preto
Calcita	CaCO ₃	10YR 8/2	Branco
Dolomita	CaMg (CO ₃) ₂	10YR 8/2	Branco
Gipsita	CaSO ₄ .2H ₂ O	10YR 8/3	Bruno muito claro-acinzentado
Quartzo	SiO ₂	10YR 6/1	Cinzeno-claro

2.3.2 Umidade

A umidade influencia na cor do solo. A presença de água na amostra aumenta a radiação eletromagnética absorvida, deixando os solos mais escuros quanto maior for a umidade (STONER & BAUMGARDNER, 1981). Carter (1931) observou que os resultados da determinação da cor com espectrofotômetro variaram de acordo a umidade das amostras. Shields et al. (2011), utilizando um espectrofotômetro, observaram que o aumento da umidade causou um decréscimo significativo no componente valor da cor dos solos avaliados, porém teve pequeno efeito sobre os componentes matiz e croma. Stoner et al. (1991) observaram que o aumento da umidade reduziu a reflectância de Latossolos.

2.3.3 Matéria Orgânica

A matéria orgânica é um constituinte primário da coloração do solo e está relacionada à tonalidade da cor, quanto maior for o conteúdo de matéria orgânica, mais escuro será o solo (DALMOLIN et al., 2005; SANTOS et al., 2005). O acúmulo de matéria orgânica em diferentes estágios de decomposição é o que confere a cor preta característica dos Organossolos (EMBRAPA, 2013).

O acúmulo de matéria orgânica nos horizontes superficiais de um perfil de solo confere a estes uma coloração mais escura que os demais horizontes, geralmente há uma diminuição na concentração dos compostos orgânicos com o aumento da profundidade, tornando a cor dos óxidos de ferro mais aparente nos horizontes subsuperficiais (LYNN & PEARSON, 2000). Isso porque a matéria orgânica, quando em concentração maior que 2%, desempenha grande papel na cor do solo mascarando os efeitos dos demais constituintes do solo, quando em concentrações menores que 2%, torna-se menos efetiva (SCHWERTMANN, 2008).

Quando a luz incide sobre um objeto de cor escura, a energia luminosa é absorvida e transformada em calor. Esse fenômeno foi observado nos solos por Bowers & Hanks (1965), que relataram que a temperatura mais elevada em solos mais escuros está relacionada à absorção da energia solar durante o dia. Após remover a matéria orgânica desses solos, os autores observaram que houve um acréscimo na reflectância, ou seja, na energia refletida. Outros autores também relataram essa relação inversamente proporcional entre concentração de matéria orgânica e a reflectância do solo (AL-ABBAS et al., 1972; DALMOLIN, 2002; DEMATTÊ & GARCIA, 1999).

Em síntese, quanto menor a concentração de matéria orgânica, maior a energia refletida pelo solo, e mais clara é a cor do solo.

2.4 Métodos de determinação

A determinação da cor é de grande importância no estudo dos solos. Usualmente, a cor é determinada em campo por comparação visual com os padrões da carta de Munsell (MUNSELL SOIL COMPANY, 1950). Mas também pode ser determinada por instrumentos de sensoriamento remoto como colorímetros, espectrofotômetros e espectrorradiômetros.

Por ser baseada na percepção visual, a determinação da cor do solo pela carta de Munsell apresenta subjetividade. Alguns fatores como as características da luz incidente sobre o solo, as características da superfície do solo e a qualidade da resposta espectral do olho humano não são controlados e afetam a interpretação da cor (MELVILLE & ATKINSON, 1985).

A medição da cor com aparelhos de sensoriamento remoto é mais precisa, pois é dada em condições controladas e não subjetivas (BOTELLHO et al., 2006). Fernandez & Schulze (1987) calcularam a cor do solo a partir do espectro de reflectância e, utilizando-se desta técnica, os autores quantificaram pequenas diferenças na cor do solo que foram imperceptíveis à observação visual.

O colorímetro faz observações mais detalhadas do solo, com medidas de cor em intervalos que não são apresentados na carta de Munsell, isso confere uma maior precisão e exatidão a essas determinações. Sánchez-Marañón et al. (1995) concluíram que a distância de 2,5 unidades na variação do matiz entre cada página da carta de Munsell é muito grande o obriga interpolações que nem sempre são adequadas.

2.4.1 Carta de Munsell

O sistema Munsell de cores foi criado pelo professor Albert H. Munsell no início do século XX e classifica as cores em três componentes: Matiz, Valor e Croma (Hue, Value e Chroma em inglês) (Figura 1).

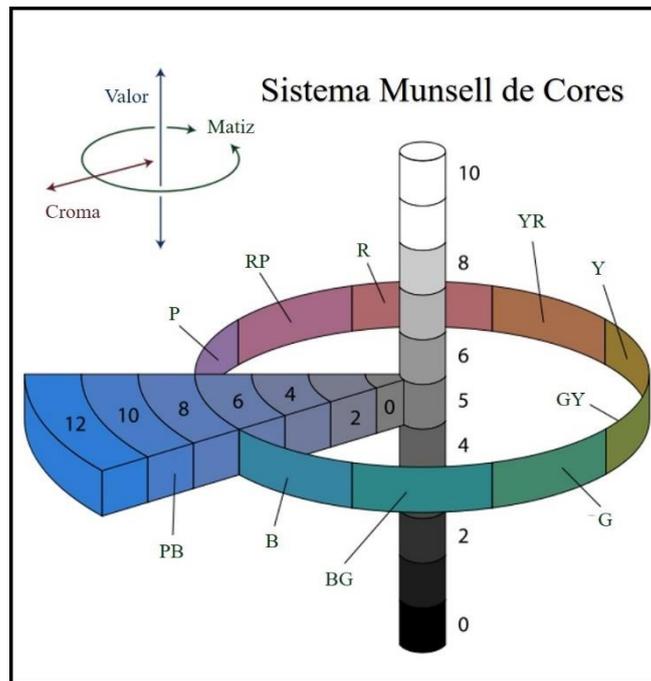


Figura 1. Diagrama representando os três componentes da cor pelo sistema Munsell de Cores (adaptado de RUS, 2007).

Especialistas em ciência do solo em colaboração com a Munsell Company, adaptaram o sistema Munsell de cores para a caracterização da cor dos solos (MUNSELL SOIL COLOR COMPANY, 1950). A Carta de cores Munsell para Solos (“Munsell Soil Color Charts”) é um livro que reúne uma série de padrões de cor que são encontradas nos solos. Foi adotada no American Soil Survey Program no ano de 1949 e passou a ser recomendado pela Sociedade Internacional de Ciência do Solo (ISSS) em 1960 (SIMONSON, 1993).

O matiz é a cor espectral dominante. Está relacionado ao comprimento de onda da luz que é refletida por um objeto e é dividido em cinco cores principais, vermelho (R- red), amarelo (Y- yellow), verde (G- green), azul (B- blue) e roxo (P- purple) e cinco cores intermediárias (YR- yellow-red; GY- green-yellow; BG- blue-green; PB- purple-blue e RP- red-purple). Nos solos os matizes mais comuns são R, Y e YR (vermelho, amarelo e vermelho-amarelo). A carta de cores Munsell para solos especifica 13 matizes em incrementos de 2,5 unidades. São eles 5R, 7,5R, 10R, 2,5YR, 5YR, 7,5YR, 10 YR, 2,5Y, 5Y, 10Y-5GY, Gley 1, Gley 2 e White. Gley 1 e Gley 2 são tons de cinza. Cada página do livro corresponde a um Matiz (CLELAND, 1921; SANTOS et al., 2005; SCHAETZL & ANDERSON, 2005; SOIL SURVEY STAFF, 1993).

O Valor é a luminosidade da cor. Está relacionado à intensidade de luz refletida, ou ao brilho. O valor é uma escala acromática que varia do preto absoluto (valor 0) ao branco absoluto (valor 10). Na carta de cores Munsell para solos o componente valor está disposto verticalmente em ordem decrescente do topo para o final de cada página (CLELAND, 1921, SANTOS et al., 2005; SCHAETZL & ANDERSON, 2005; SOIL SURVEY STAFF, 1993).

O Cromo é a pureza da cor. Indica o grau de saturação da cor, ou seja, a pureza da cor em relação ao cinza. O croma varia de 0 (cores neutras: branco, cinza e preto) a 10 (cores mais vivas) em incrementos de duas unidades. Na carta de cores Munsell para solos o componente croma está disposto horizontalmente iniciando-se em 1 e normalmente chegando até 8 em ordem crescente da esquerda para a direita de cada página (CLELAND, 1921, SANTOS et al., 2005; SCHAETZL & ANDERSON, 2005; SOIL SURVEY STAFF, 1993).

Cada página da carta é composta por padrões de cores para solos com uma abertura abaixo de cada um. Em campo é feita a comparação visual de amostras secas e úmidas com a carta de Munsell posicionando-as atrás das aberturas até que se encontre uma combinação visual da cor do solo com o padrão de cor. Cada padrão de cor corresponde a uma notação Munsell que é feita da seguinte forma: matiz valor/croma.

Para uma amostra de solo que tenha matiz de 7,5 YR (7,5 Yellow-Red), valor 5 e croma 6, a notação Munsell será 7.5 YR 5/6 (Figura 2). Na página oposta aos padrões de cores está indicado o nome de cada cor, em inglês. Neste caso, o nome comum dessa cor pela carta de cores Munsell para solos (MUNSELL SOIL COLOR COMPANY, 1950) é Strong Brown, correspondente em português à Bruno-forte (SANTOS et al., 2005).

Devido à sua fácil e rápida aplicação em campo, a carta de Munsell vem sendo utilizada mundialmente. Entretanto, esse método é dependente da percepção visual do observador torna-se subjetivo (Melville & Atkinson, 1985).

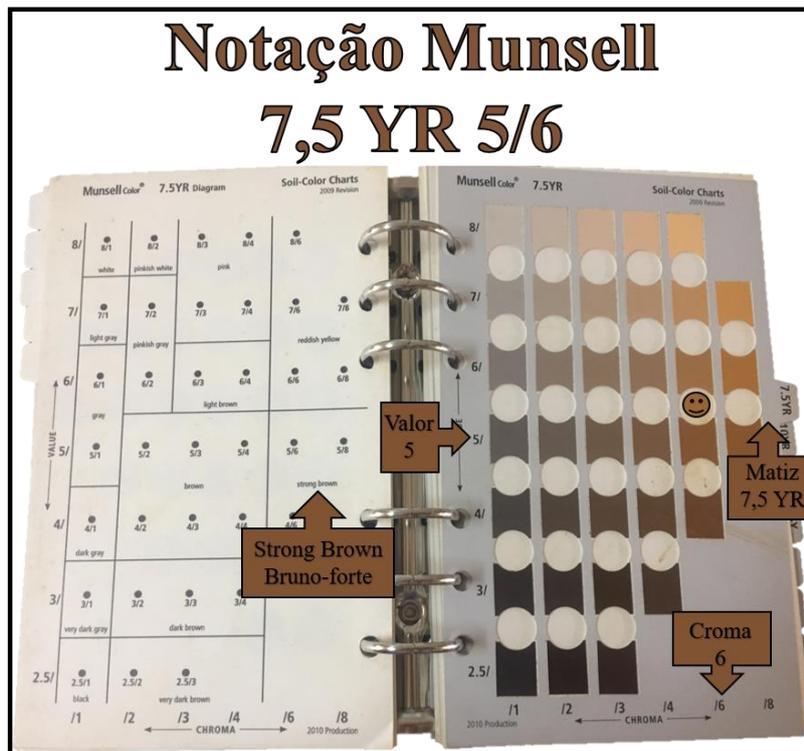


Figura 2. Carta de Munsell com exemplo de notação de cor.

2.4.2 Colorimetria

Isaac Newton foi o precursor da colorimetria quando, no ano de 1666, provou experimentalmente que a luz branca é composta por vários comprimentos de onda correspondentes a luzes coloridas quando dispersas. No experimento, Newton, passou uma luz branca (luz solar) por um prisma e a decompôs em sete componentes, as sete cores do arco-íris: vermelho, laranja, amarelo, verde, azul, anil e violeta (OHTA & ROBERTSON, 2006). A luz é classificada pelo seu comprimento de onda eletromagnética, as cores observadas por Newton são aquelas com comprimentos entre 400 e 700 nanômetros (nm) que compõem o espectro visível da luz (Figura 3), ou seja, são percebidas pela visão humana (PETTER, 2003).

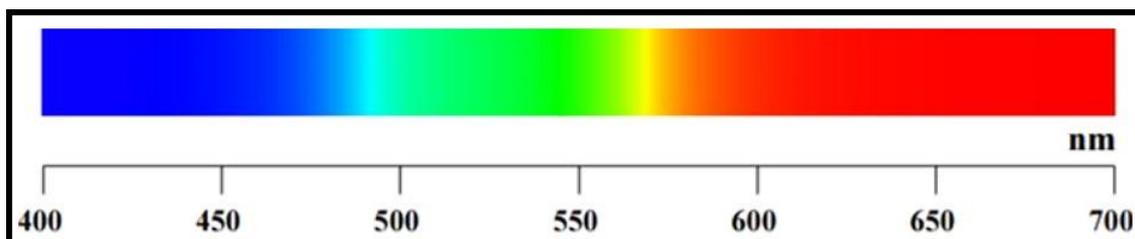


Figura 3. Espectro visível da luz e respectivos comprimentos de onda em nm (adaptado de LOPES, 2007).

Cada impressão de cor pode ser analisada através de três elementos matemáticos, sendo estas três variáveis necessárias e suficientes para determinar a cor (Grassmann, 1853). Baseando-se nesta lei básica da colorimetria proposta por Grassmann, o Comitê Internacional de Colorimetria (CIE- Commission Internationale L'Eclairage) vem desenvolvendo normas e padrões que possibilitem a quantificação dos atributos físicos das cores. Em 1931 o CIE estabeleceu o espaço colorimétrico de cores primárias RGB, onde R é a cor vermelha com comprimento de onda de 700 nm; G é a cor verde com comprimento de onda de 546,1 nm; e B é a cor azul com comprimento de onda de 435,8 nm. As demais cores do espectro visível são formadas pela soma, mistura, dessas três cores primárias (CIE, 1931). Para a determinação de cada cor é necessário um ajustamento dos constituintes monocromáticos por meio das funções de ajustamento da cor (CMF- color matching functions), as coordenadas RGB são então escritas como $\bar{r}(\lambda), \bar{g}(\lambda), \bar{b}(\lambda)$ (SCHANDA, 2007). A Figura 4 mostra a quantidade de cada luz RGB que é necessária para reproduzir as demais cores do espectro visível.

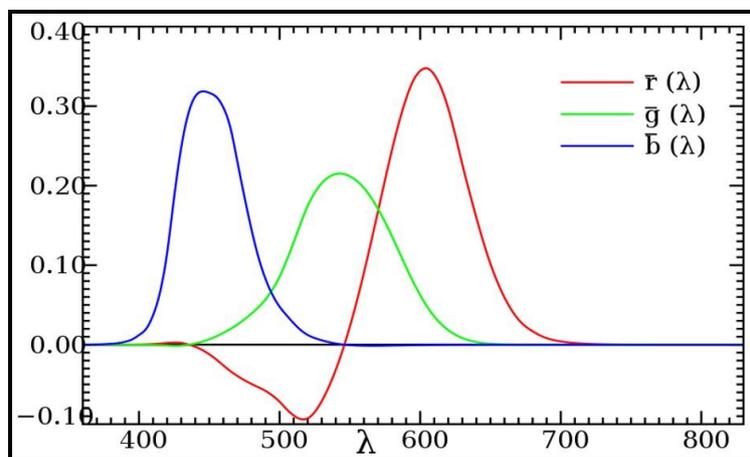


Figura 4. Funções de ajustamento da cor do espaço colorimétrico RGB do CIE (CIE, 1931).

O espaço colorimétrico RGB apresenta valores negativos para a cor vermelha (Figura 4), o que significa uma inconveniência e aumentava as chances de erro. O CIE decidiu transformar a matriz RGB de forma que os valores negativos fossem eliminados. Por se tratar apenas de números, foi feita uma conversão matemática para criar o valor de Tristímulos, um novo conjunto de cores primárias imaginárias composto por três estímulos básicos denotados como X, Y e Z. Quando combinados, estes estímulos geram todas as cores puras de um espectro de energia constante (EPIPHANIO

et al., 1992). Para a determinação de cada cor é necessário um ajustamento dos valores de tristimulus por meio das funções de ajustamento da cor (CMF- color matching functions), as coordenadas XYZ são então escritas como $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ (SCHANDA, 2007). A Figura 5 mostra a quantidade de cada luz XYZ que é necessária para reproduzir as demais cores do espectro visível.

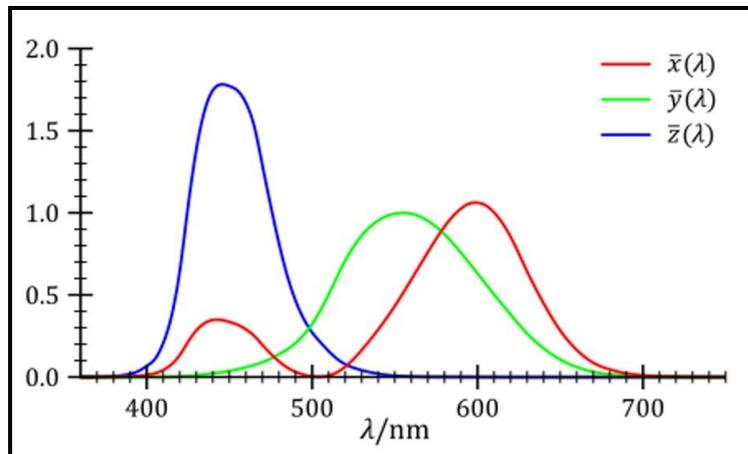


Figura 5. Funções de ajustamento da cor do espaço colorimétrico XYZ do CIE (CIE, 1931).

Os valores de XYZ definem as cores, mas não são de fácil visualização, por este motivo o CIE, ainda no ano de 1931, criou outro espaço colorimétrico importante: o CIE xyY. Cujas coordenadas de cromaticidade x, y, z são derivadas dos valores de Tristimulos pelo cálculo: $x = \frac{X}{X+Y+Z}$; $y = \frac{Y}{X+Y+Z}$; $z = \frac{Z}{X+Y+Z}$. Onde $x + y + z = 1$. Os valores x e y descrevem a cromaticidade. Com essas duas coordenadas foi criado o diagrama de cromaticidade (Figura 6). O diagrama de cromaticidade é um mapa bidimensional que engloba qualquer cor do espectro visível nos eixos x e y (DOUGLAS & KERR, 2005). Entretanto, de acordo com a lei de Grassmann, são necessárias três variáveis para descrever um estímulo de cor, portanto, o espaço colorimétrico do CIE é composto pelas coordenadas xyY (OHTA & ROBERTSON, 2006). Onde o estímulo Y do valor de Tristimulos representa a luminosidade (KERR, 2016). Os três valores (x,y,Y) juntos definem completamente uma cor.

Quando uma série de valores tristimulos são plotados no diagrama, forma-se uma curva de formato semelhante a uma ferradura, essa curva chama-se lócus espectral. Cada ponto neste lócus corresponde a uma luz monocromática do espectro visível com um respectivo comprimento de onda em nm. A linha que une a base do lócus chama-se

locus não espectral, pois é composta por uma mistura de uma série de tons de roxo que não estão no espectro visível da luz, logo, não são monocromáticas e não fazem parte das cores do arco-íris, portanto não possuem valores para comprimento de onda (KERR, 2010).

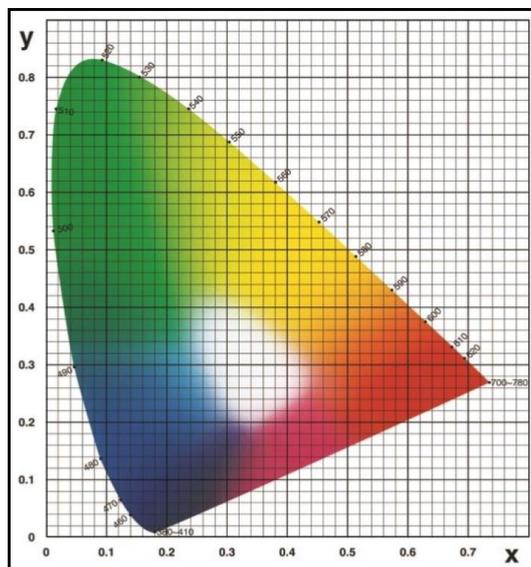


Figura 6. Diagrama de cromaticidade x e y do CIE (CIE, 1931). Comprimentos de onda representados no locus espectral em nanômetros correspondem à luz monocromática do espectro visível.

As bordas deste gráfico são consideradas como tendo 100% de saturação e à medida que se aproxima do centro a saturação vai diminuindo até o branco total, onde a saturação é 0%. Para determinar a saturação e de uma cor no gráfico é necessário traçar uma reta que parta do ponto de branco total (B), passe pelo o ponto da cor de interesse (A) e vá até o ponto de intersecção com o locus (C) (Figura 7). A saturação da cor será definida pela proporção entre a distância do ponto B ao ponto A e a distância total do B ao ponto C. Por exemplo, se o ponto de interesse estiver no meio do caminho entre o branco total e o locus que o representa, a saturação desta cor é de 50%. O ponto de intersecção dessa reta com o locus (C) determina a tonalidade da cor. Caso o ponto de intersecção seja na região do locus espectral, a tonalidade é definida pelo comprimento de onda dominante, caso a intersecção seja no locus não espectral, não há como determinar a tonalidade numericamente (DOUGLAS & KERR, 2005; EPIPHANIO et al., 1992).

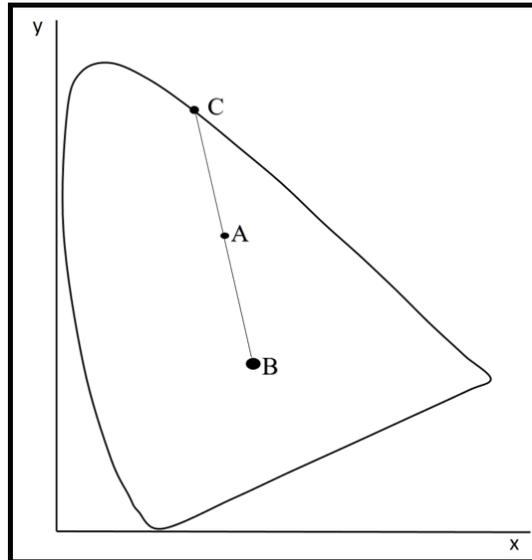


Figura 7. Esquema para identificação da tonalidade e saturação da cor pelo diagrama de cromaticidade (CIE, 1931).

Rosset et al. (2006) compararam espaços colorimétricos utilizados na ciência do solo. Ao correlacionar o espaço colorimétrico de Munsell com as coordenadas cromáticas x, y, Y do CIE, estes autores observaram uma boa correlação entre a matiz e a coordenada y , entre o cromas a coordenada x e entre o valor com o estímulo Y . De acordo com os autores, o espaço x, y, Y não é uniforme sendo que os matizes mais vermelhos têm um menor intervalo na coordenada y que os matizes amarelos e os cromas mais baixos (cores neutras) têm um menor intervalo na coordenada x que os cromas de valor mais elevado (ROSSEL et al., 2006).

Os pesquisadores observaram que a gama de cores de Munsell para os solos estão concentradas entre os comprimentos de onda 574 e 615 nm no diagrama de cromaticidade do CIE como demonstrado na Figura 8

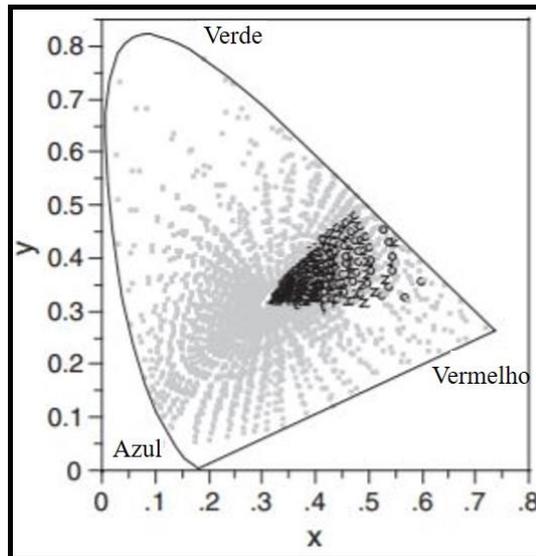


Figura 8. Gama de cores de Munsell para os solos (círculos pretos) representada no diagrama de cromaticidade do CIE (adaptado de ROSSEL, 2006).

Na colorimetria os estímulos de cor são divididos dois grupos: estímulos provenientes de uma fonte primária de luz, ou seja, de objetos que emitem luz própria como uma lâmpada, um monitor, a luz solar e outros; e os estímulos provenientes de fontes secundárias de luz, que são os objetos não luminosos. Quando a luz proveniente de uma fonte primária entra em contato com um objeto não luminoso, parte dessa luz é refletida e é observada (SCHANDA, 2007). O solo é um objeto não luminoso, portanto a sua cor é resultado da sua interação com a luz. O solo absorve determinados comprimentos de onda e a combinação dos comprimentos de onda refletidos é que determina a cor do solo. Se o solo refletisse toda a luz incidente ele seria branco (EPIPHANIO et al., 1992).

Equipamentos como colorímetros, espectrofotômetros e espectrorradiômetros tem como objetivo registrar a energia refletida pelos objetos. Os sensores captam uma medida de reflectância, que é a relação entre a quantidade de energia transmitida e a quantidade de energia a absorvida, e medem a intensidade relativa de energia refletida pelo objeto de maneira contínua, fornecendo um conjunto de dados numéricos e gráficos conhecidos como curvas espectrais. (DALMOLIN et al., 2005). O estudo do comportamento espectral dos solos é uma linha de pesquisa relativamente nova e crescente.

A cor do solo pode ser determinada através da reflectância espectral do solo (BARRON & TORRENT, 1986; TORRENT et al., 1983). Campos (2001) recomenda o

uso da colorimetria e radiometria na determinação da cor do solo com fins de classificação para eliminar a subjetividade do modelo tradicional. Desta forma, os equipamentos que registram o comportamento espectral dos solos têm surgido como alternativa aos métodos subjetivos de determinação por comparação visual com o objetivo de eliminar o erro humano e caracterizar a cor de maneira exata (STIGLITZ et al., 2016).

As coordenadas cromáticas x, y, Y do CIE têm sido usadas para representar as cores dos solos em estudos científicos e na determinação de componentes no solo, como Madeira Netto et al. (1997) que utilizaram as coordenadas cromáticas do CIE para estimar o teor de hematita em Latossolos e Mathieu et al. (1998) que utilizaram as coordenadas cromáticas do CIE para correlacionar a cor do solo com índices radiométricos.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Comparar determinação da cor do solo feita com o uso da carta de Munsell e por colorimetria.

3.2 Objetivos específicos

- i. Avaliar a precisão na determinação da cor do solo com o uso da carta de Munsell.
- ii. Avaliar a precisão na determinação da cor do solo com o uso de um colorímetro.
- iii. Determinar as curvas espectrais para os cinco solos.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Amostragem

As amostras de solo para este estudo foram coletadas na Fazenda Água Limpa (FAL), campo experimental da Universidade de Brasília (UnB), localizada na Vargem Bonita, Brasília, Distrito Federal. Ao todo, a fazenda possui uma área de 42,36 km², delimitada pelas coordenadas 47°59'02,23''W e 47°53'16,15''W e 15°58'32,77''S e 15°58'56,84''S. A fazenda está inserida na Área de Proteção Ambiental (APA) da Bacia do Gama e Cabeça de Veado apresentando 80% de sua vegetação nativa preservada.

Foram retiradas amostras de cinco perfis de solos, classificados de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013) como: Gleissolo Melânico (15,93750°S; 047,93525°W), Latossolo Vermelho (15,94580°S; 047,94553°W), Latossolo Amarelo (15,94595°S; 047,94753°W), Neossolo Regolítico (15,98028°S; 047,94934°W) e Organossolo Háplico (15,93693°S; 047,93586°W) (Figura 9).

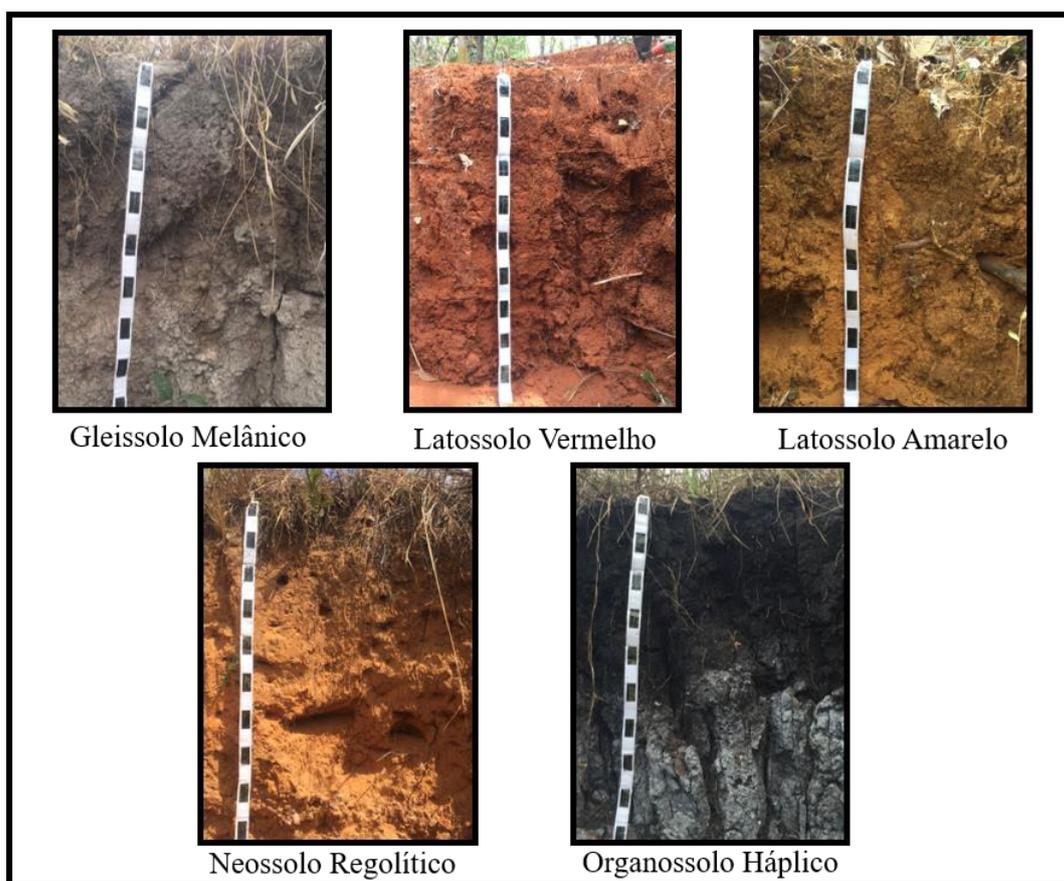


Figura 9. Perfis dos cinco solos utilizados neste estudo.

Com uma espátula de mão foram coletas, para cada perfil, amostras de solo em dois horizontes. As amostras do Gleissolo foram coletadas nos horizontes A e Cg, nas profundidades de 0,10 e 0,70 m respectivamente; do Latossolo Vermelho nos horizontes A e Bw, nas profundidades de 0,05 e 0,75 m respectivamente; do Latossolo Amarelo nos horizontes A e Bw, nas profundidades de 0,15 e 0,70 m respectivamente; do Neossolo nos horizontes A e AC, nas profundidades de 0,20 e 0,50 m respectivamente; e do Organossolo nos horizontes O e Cg, nas profundidades de 0,20 e 0,60 m respectivamente. Em seguida, as amostras foram armazenadas em sacolas individuais e levadas para o Laboratório de Física do Solo da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária (FAV) da Universidade de Brasília campus Darcy Ribeiro.

4.2 Procedimentos em laboratório (Caracterização dos solos)

Para a obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA), as amostras foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de malha 2 mm antes das determinações. No Laboratório de Física do Solo da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília (FAV/UnB) foram realizadas análises de granulometria pelo método do hidrômetro, conforme EMBRAPA (1997) e densidade de partículas pelo método do balão volumétrico, conforme Flint & Flint (2002). As análises químicas de pH em água, alumínio (Al^{3+}), cálcio e magnésio ($Ca^{2+} + Mg^{2+}$), potássio (K^+), fósforo (P), teor de matéria orgânica (M.O.) e carbono orgânico (C), foram realizadas no Laboratório de Química do Solo da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília (FAV/UnB) seguindo o manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes da EMBRAPA (2009).

4.3 Delineamento

O estudo foi dividido em dois experimentos. No Experimento 1 foi feita a comparação entre os dois métodos de determinação da cor do solo, pela carta de Munsell e por Colorimetria. No Experimento 2 avaliou-se a precisão dos métodos considerando o efeito de diferentes observadores nas leituras com a carta de Munsell.

4.3.1 Experimento 1

Foram feitas determinações de cor de cinco solos (Gleissolo Melânico, Latossolo Vermelho, Latossolo Amarelo, Neossolo Regolítico e Organossolo Háplico) em dois horizontes (superficial e subsuperficial), duas umidades (seco e úmido) e em três tratamentos (pela carta de Munsell em campo, pela carta de Munsell em laboratório, e com o uso de um colorímetro) totalizando 60 determinações de cor.

As determinações de cor feitas por comparação visual com os padrões da carta de Munsell, foram feitas pela autora em condições de campo, sob fonte de iluminação solar (Figura 10), e em condições de laboratório, sob fonte de iluminação proveniente de lâmpada *led* de 32W (Figura 11). Decidiu-se fazer as duas determinações pela carta de Munsell (campo e laboratório) para averiguar a influência da fonte de iluminação sobre a determinação das cores, uma vez que no laboratório a luminosidade seria constante e uniforme para todas as amostras.

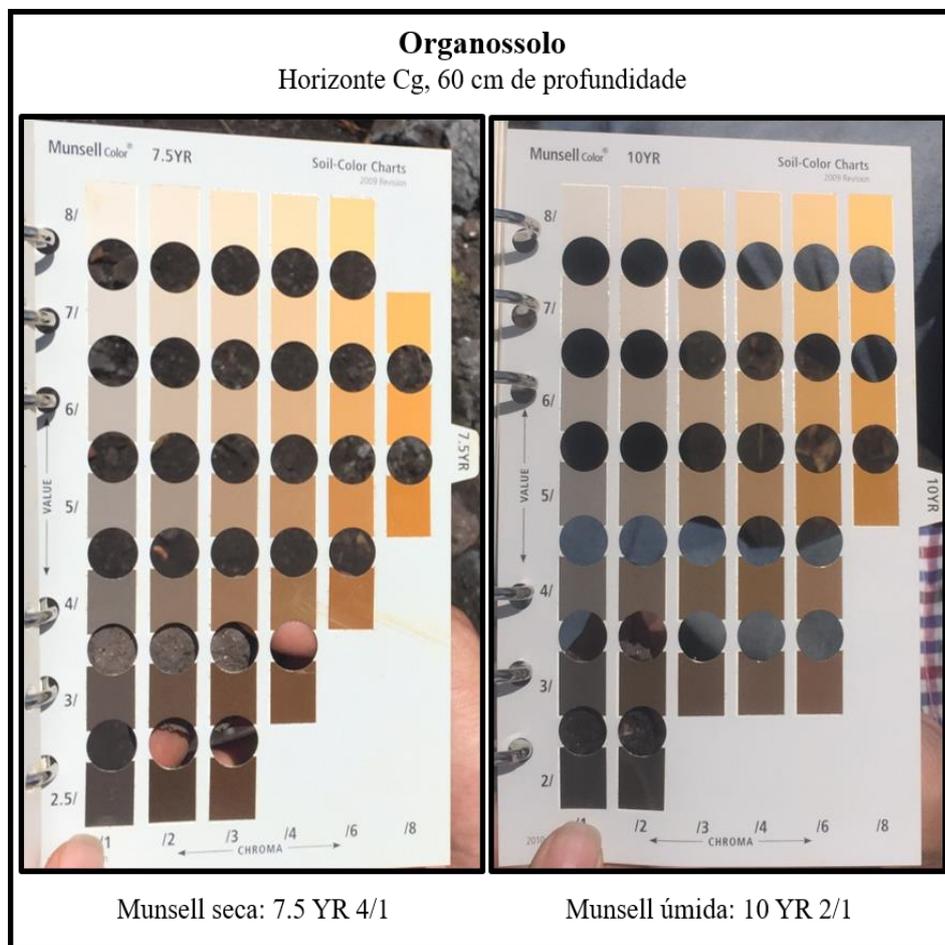


Figura 10. Leitura da carta de Munsell para amostra de solo seca e úmida do horizonte Cg do Organossolo.



Figura 11. Leitura da carta de Munsell para amostra de solos secas e úmidas em condição de laboratório

Posteriormente as amostras tiveram a cor determinada utilizando-se um colorímetro ColorQuest® XE fabricado pela empresa Hunter Lab (Figura 12). Este espectrofotômetro tem feixe duplo de *xenon flash*, opera na faixa espectral do visível com comprimento de ondas entre 400 e 700 nanômetros (nm). As amostras de solo foram colocadas em uma célula de vidro opticamente transparente de 33 mm de comprimento, 55 mm de largura e 57 mm de altura, sendo o recipiente de vidro fornecido pelo fabricante do equipamento. Foram feitas seis repetições para cada amostra. As cores foram representadas pelas coordenadas cromáticas xyY do Comitê Internacional de Colorimetria (CIE, 1931). Foram geradas curvas de reflectância espectral para cada solo. As conversões dos valores x,y,Y para Munsell, e vice-versa, foram feitas no *software* WinPhyton-64bit, utilizando o código desenvolvido por Mansencal et al. (2015).



Figura 12. Colorímetro ColorQuest® XE.

4.3.2 Experimento 2

Para averiguar a precisão dos métodos de determinação da cor, foram convidados sete observadores, todos doutores na área de solos, para fazer a leitura da carta de Munsell de 10 amostras correspondendo a cinco perfis solos (Gleissolo Melânico, Latossolo Vermelho, Latossolo Amarelo, Neossolo Regolítico e Organossolo Háplico) e dois horizontes (superficial e subsuperficial). As determinações de cor do experimento 2 foram feitas apenas para as amostras secas. As amostras foram entregues em ordem aleatória e sem qualquer identificação. As leituras foram em laboratório, sob fonte de iluminação proveniente de lâmpada *led* de 32W a uma distância de 0,40 m das amostras. Os resultados da determinação da cor das amostras secas feitas com o uso do colorímetro ColorQuest® XE também foram consideradas no experimento 2. No total foram realizadas 130 determinações de cor, sendo 70 pela carta de Munsell e 60 pelo colorímetro.

4.4 Análises Estatísticas

Os dados do experimento 1, obtidos pelo colorímetro e os convertidos da carta de Munsell para os valores da escala cromática x,y,Y do CIE, foram submetidos a análises de correlação linear de Pearson (coeficiente de correlação r) (MOORE et al., 2000) e à análise de variância, ANOVA (BANZATTO & KRONKA, 2008), utilizando-se o teste de F ao nível de 5% de probabilidade. Foi feito o teste Tukey de comparação de médias (BANZATTO & KRONKA, 2008), ao nível de 5% de probabilidade para avaliar a magnitude das diferenças entre as médias dos tratamentos (determinação da cor pela carta de Munsell em campo, pela carta de Munsell no laboratório e com um colorímetro). As análises estatísticas do experimento 1 foram realizadas utilizando-se o software estatístico R (R CORE TEAM, 2015).

Os dados do experimento 2 provenientes das leituras da carta de Munsell pelos observadores convidados foram convertidos para os valores xyY do CIE. Foram tiradas as médias e calculado o desvio padrão de cada componente de cor (PIMENTEL GOMES, 1990). O mesmo foi feito com as medidas de cor feitas com o colorímetro para as amostras secas. A precisão de cada método foi analisada pelos desvios padrões das médias.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização dos solos utilizados no experimento

As Tabela 2 e Tabela 3 apresentam, respectivamente, os valores médios das análises físicas e químicas dos solos estudados. As amostras para estas determinações foram coletadas nos horizontes Glei (Cg) do Gleissolo, horizonte B latossólico (Bw) dos Latossolos, horizonte A do Neossolo, e horizonte O do Organossolo.

Tabela 2. Resultados das análises físicas de densidade de partículas (Dp) e granulometria (média±desvio padrão).

Solo	Dp	Areia	Silte	Argila
	g/cm ³			
GL	2,435±0,031	75,0±1,2	178,5±2,1	746,5±0,9
LV	2,609±0,020	20,5±2,0	155,2±2,8	824,3±0,8
LA	2,656±0,020	164,3±0,1	175,8±1,5	659,9±1,4
NE	2,511±0,019	47,9±1,2	846,8±1,2	105,3±1,2
ORG	1,860±0,057	164,9±2,0	784,2±1,1	50,9±1,2

Organossolo (ORG); Gleissolo (GL); Neossolo (NE); Latossolo Amarelo (LA); Latossolo Vermelho (LV).

Tabela 3. Resultados das análises químicas de alumínio (Al³⁺), cálcio e magnésio (Ca²⁺+Mg²⁺), potássio (K⁺), fósforo (P), matéria orgânica (M.O.), Carbono (C) e pH em água (média±desvio padrão).

Solo	Al ³⁺	Ca ²⁺ +Mg ²⁺	K ⁺	P	M.O.	C	pH
	(cmol _c /dm ³)	(cmol _c /dm ³)	(mg/dm ³)	(mg/dm ³)	(mg/g)	(mg/g)	
GL	0,05±0,00	0,38±0,03	206,82±1,84	6,64±2,69	1,86±0,06	10,82±0,36	5,21±0,12
LV	0,03±0,03	0,03±0,03	44,49±17,53	7,81±2,23	1,86±0,06	10,82±0,36	5,16±0,06
LA	0,03±0,03	0,03±0,03	49,80±5,51	8,04±1,68	1,78±0,04	10,34±0,21	5,52±0,06
NE	0,88±0,06	0,25±0,10	186,66±11,25	3,45±2,58	2,46±0,13	14,31±0,75	5,01±0,03
ORG	2,12±0,06	0,27±0,03	78,44±3,18	7,73±3,04	34,64±0,47	201,42±2,76	4,12±0,04

Organossolo (ORG); Gleissolo (GL); Neossolo (NE); Latossolo Amarelo (LA); Latossolo Vermelho (LV).

5.2 Cor do solo

Os valores dos componentes Cromo, Matiz e Valor obtidos por comparação visual com a carta de Munsell, em campo e laboratório, convertidos para os valores da

escala cromática x,y,Y, e os valores médios de x,y,Y obtidos por colorimetria são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Valores de x,y,Y da escala cromática CIE (1931) para os diferentes solos analisados.

Perfil	Horizonte	Umidade	Colorímetro			Munsell Campo			Munsell Laboratório		
			x	y	Y	x	y	Y	x	y	Y
GL	Sup	Úmido	0,36	0,36	4,28	0,34	0,34	6,39	0,35	0,33	4,50
GL	Sup	Seco	0,36	0,36	9,73	0,34	0,33	11,70	0,34	0,33	11,70
GL	Sub	Úmido	0,36	0,36	12,72	0,35	0,34	19,27	0,35	0,35	19,27
GL	Sub	Seco	0,36	0,36	25,70	0,34	0,35	41,99	0,35	0,35	29,30
LV	Sup	Úmido	0,42	0,37	4,68	0,46	0,37	11,70	0,45	0,35	4,50
LV	Sup	Seco	0,45	0,38	7,85	0,51	0,38	11,70	0,46	0,37	11,70
LV	Sub	Úmido	0,44	0,37	5,40	0,50	0,37	6,39	0,50	0,37	6,39
LV	Sub	Seco	0,47	0,38	8,72	0,51	0,38	11,70	0,51	0,38	11,70
LA	Sup	Úmido	0,42	0,38	4,67	0,47	0,40	11,70	0,41	0,37	6,39
LA	Sup	Seco	0,42	0,39	12,85	0,44	0,41	19,27	0,42	0,39	11,70
LA	Sub	Úmido	0,44	0,39	6,60	0,48	0,40	19,27	0,47	0,40	11,70
LA	Sub	Seco	0,45	0,40	15,92	0,48	0,41	19,27	0,44	0,40	19,27
NE	Sup	Úmido	0,42	0,38	5,22	0,42	0,38	11,70	0,44	0,39	6,39
NE	Sup	Seco	0,41	0,38	14,06	0,44	0,40	19,27	0,40	0,37	19,27
NE	Sub	Úmido	0,45	0,38	6,76	0,47	0,39	11,70	0,47	0,39	11,70
NE	Sub	Seco	0,43	0,39	19,98	0,44	0,40	19,27	0,42	0,39	29,30
ORG	Sup	Úmido	0,32	0,34	1,02	ND	ND	ND	ND	ND	ND
ORG	Sup	Seco	0,34	0,35	2,45	0,35	0,34	3,05	0,35	0,34	3,05
ORG	Sub	Úmido	0,34	0,34	2,58	0,35	0,34	3,05	0,35	0,34	3,05
ORG	Sub	Seco	0,35	0,35	7,74	0,34	0,33	11,70	0,34	0,34	11,70

Organossolo (ORG); Gleissolo (GL); Neossolo (NE); Latossolo Amarelo (LA); Latossolo Vermelho (LV); Horizonte superficial (Sup); Horizonte subsuperficial (Sub); ND não determinado (Cor não contemplada na carta de Munsell)

As diferenças observadas entre as medidas de cor devem-se principalmente à diferença na sensibilidade espectral entre o olho humano e o colorímetro e a diferença da fonte de iluminação (POST et al., 1993; TORRENT & BARRON, 1993).

Não foi possível determinar a cor úmida do horizonte superficial do Organossolo pela carta de Munsell. A cor escura típica desse solo, intensificada pela maior concentração de matéria orgânica no horizonte superficial e pela umidade, não foi contemplada pela carta de Munsell devido ao baixo valor do componente luminosidade da cor (Y, valor). Além disso, segundo as leituras da carta de Munsell, a cor seca do horizonte superficial do Organossolo é idêntica à cor úmida do horizonte subsuperficial deste mesmo solo, porém os dados obtidos com o colorímetro mostraram diferenças entre as amostras no fator comprimento de onda dominante (matiz) e brilho (valor).

Epiphany et al. (1992) obtiveram resultados semelhantes, onde duas amostras avaliadas pelos autores apresentaram-se idênticas segundo a carta de Munsell, porém a análise espectral mostrou diferenças entre as amostras para as características valor e matiz.

5.3 Análise de Correlação (R de Pearson)

Os dados foram submetidos à análise de correlação linear de Pearson. Coeficientes com $p \leq 0,05$ foram considerados significativos, indicando associação entre duas variáveis analisadas, coeficientes com $p > 0,05$ foram considerados como não significativos, indicando ausência de correlação entre as variáveis. Os resultados da análise de correlação são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Correlação de Pearson

	x_C	y_C	Y_C	x_M _C	y_M _C	Y_M _C	x_M _L	y_M _L	Y_M _L
x_C	1								
y_C	0,86 ^{***}	1							
Y_C	0,17 ^{ns}	0,45 [*]	1						
x_M _C	0,97 ^{***}	0,76 ^{***}	-0,05 ^{ns}	1					
y_M _C	0,8 ^{***}	0,94 ^{***}	0,2 ^{ns}	0,8 ^{***}	1				
Y_M _C	0,08 ^{ns}	0,37 ^{ns}	0,89 ^{***}	-0,02 ^{ns}	0,21 ^{ns}	1			
x_M _L	0,95 ^{***}	0,65 ^{**}	-0,1 ^{ns}	0,95 ^{***}	0,68 ^{**}	-0,06 ^{ns}	1		
y_M _L	0,82 ^{***}	0,88 ^{***}	0,2 ^{ns}	0,78 ^{***}	0,92 ^{***}	0,25 ^{ns}	0,75 ^{***}	1	
Y_M _L	0,12 ^{ns}	0,39 ^{ns}	0,96 ^{***}	0,01 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,84 ^{***}	-0,05 ^{ns}	0,25 ^{ns}	1

Colorímetro (C); Munsell campo (M_C); Munsell Laboratório (M_L); *** significativo $p < 0,001$, ** significativo $p < 0,01$, *Significativo $p < 0,05$, NS não significativo, segundo o teste de correlação de Pearson.

Os valores de r de Pearson para as variáveis x, y e Y demonstraram forte correlação linear positiva entre as medidas realizadas com a carta de Munsell (tanto no campo quanto no laboratório) e com o colorímetro. A correlação das variáveis x, y e Y entre os tratamentos são significantes ao nível de significância de $p < 0,001$, demonstrando haver coerência entre os dois métodos.

Entre as variáveis x e y também é observada uma correlação ao nível de significância $p < 0,01$. Já para a variável Y, os valores dos coeficientes de correlação com as variáveis x e y não são significativos, demonstrando que nenhuma relação existe na população entre as variáveis consideradas. Isso pode ser explicado pela origem do espaço colorimétrico xyY do CIE. Sabe-se que as coordenadas x e y são derivadas dos valores de Tristimulos XYZ por meio de cálculos matemáticos. Essas duas coordenadas (x e y) são os eixos do diagrama de cromaticidade, um mapa bidimensional que engloba

as cores do espectro visível. Já o Y, que representa a luminosidade, é o estímulo Y de Tristimulos sem transformação. Embora os três valores (x,y,Y) sejam necessários para descrever um estímulo de cor, o valor de Y é independente de x e y, não sendo representado no diagrama de cromaticidade. Como resultado, os valores de r de Pearson obtidos para a variável Y em relação à x e y não foram significativos.

Uma alta correlação entre as medidas de cor, também foi observada por Campos & Demattê (2004) e Botelho et al. (2006), indicando haver coerência entre as medidas de cor pelo colorímetro e as medidas feitas pela carta de Munsell.

A escolha do método de determinação da cor a ser utilizado vai depender do propósito. No caso de uma simples análise descritiva do solo, a carta de Munsell seria apropriada. Caso seja necessário análises numéricas e estatísticas os modelos de coordenadas cartesianas são mais apropriados uma vez que a notação de Munsell descreve uma cor perceptível e não é uma medida quantitativa da luz visível (ROSSEL et al., 2006).

5.4 Análise de Variância (ANOVA)

Os dados coletados foram submetidos à ANOVA utilizando-se o teste de F ao nível de 5% de probabilidade, para os fatores tratamento, umidade, tipo de solo e horizonte. Os resultados do teste de F da ANOVA são apresentados na Tabela 6. Devido à natureza do delineamento, não foram testados termos de interação.

Tabela 6. Resultado do F da análise da variância para as variáveis medidas.

Fator	x	y	Y
Tratamento	**	NS	***
Umidade	NS	NS	**
Solo	***	***	NS
Horizonte	***	*	*

*** significativo $p < 0,001$, ** significativo $p < 0,01$, * significativo $p < 0,05$, NS não significativo, segundo o teste F da análise de variância.

Observou-se que todos os fatores podem exercer influência sobre a determinação da cor influenciando pelo menos uma das componentes. As diferenças entre as médias são consideradas como não significativas a 5% de probabilidade pelo teste F quando as diferenças amostrais são pequenas, decorrente de mera variabilidade amostral,

considera-se que as variâncias entre as populações são iguais (BANZATTO & KRONKA, 2008).

Verificou-se que o fator tratamento apresentou diferenças significativas aos níveis de 1% e 0,1% de probabilidade pelo teste F entre as médias dos componentes x e Y, respectivamente. Isso indica que a escolha do método de determinação da cor dos solos exerce influência nas variáveis dependentes croma e valor. O componente Y é altamente influenciado pela escolha do método, sendo que os valores de Y pelo colorímetro são em média quase 4 unidades menores que os obtidos pela carta de Munsell (Tabela 4. **Valores de x,y,Y da escala cromática CIE (1931) para os diferentes solos analisados.**) o que indica uma possível superestimação do componente Y pelo método Munsell. A carta de Munsell também apresenta maiores valores para o componente y em relação aos valores obtidos pelo método do colorímetro para 65% das amostras avaliadas.

O fator umidade apresentou diferença significativa ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F para as médias do componente Y. Ou seja, a umidade do solo exerce influência sobre a característica valor da cor. A cor das amostras úmidas apresentaram valores de Y menores do que a das amostras secas indicando haver uma diminuição na luminosidade da cor dos solos à medida que a umidade aumenta. O mesmo foi observado por Bowers e Hanks (1965), os autores observaram uma diminuição na reflectância dos solos com o aumento da umidade.

O fator solo apresentou diferença significativa ao nível de 0,1% de probabilidade pelo teste F para os componentes x e y. Indicando que as diferenças entre os solos, principalmente no que diz respeito à concentração de matéria orgânica e à mineralogia, influenciam na pureza (croma) e no comprimento de onda dominante (matiz) da cor. Observou-se que o Gleissolo e o Organossolo apresentaram baixos valores de croma em relação aos demais solos. O branco, o cinza e o preto são cores neutras e possuem valores de croma baixos. A cor cinza do Gleissolo é decorrente do processo de gleização, em que o ferro presente no solo é reduzido ($Fe^{+3} \rightarrow Fe^{+2}$) conferindo essa coloração característica do solo. A cor preta do Organossolo deve-se ao elevado teor de matéria orgânica que mascara os efeitos dos demais constituintes do solo. Os demais solos possuem cores mais vivas, pois são geralmente pobres em matéria orgânica. O Latossolo Vermelho e o Latossolo Amarelo apresentam maiores valores de x e y devido à alta concentração de óxidos de ferro (Fe^{+3}) (SCHWERTMANN, 2008). Os altos

valores de x e y observados para o Neossolo estudado indicam possível presença de óxidos de ferro, isso explicaria o matiz vermelho amarelo desses solos pela notação Munsell.

O fator horizonte apresentou diferença significativa ao nível de 0,01% pelo teste F para x e ao nível de 5% de probabilidade para y e Y. Com o aumento da profundidade ocorre uma mudança na cor dos solos. Os horizontes superficiais geralmente apresentam menores valores de croma, matiz e valor que os horizontes subsuperficiais devido, principalmente, à maior concentração de matéria orgânica nos horizontes superficiais. O caráter acromático da matéria orgânica influencia principalmente o componente croma, pois, a adição do pigmento escuro diminui significativamente a pureza da cor. O matiz e o valor também são afetados de forma significativa, uma vez que quanto maior for o conteúdo de matéria orgânica, mais escuro será o solo. Os horizontes subsuperficiais apresentam cores mais vivas, puras e com mais brilho devido a uma diminuição na concentração dos compostos orgânicos tornando a cor dos demais constituintes do solo mais aparente. Epiphany et al. (1992) obtiveram resultados semelhantes ao observar uma tendência de os horizontes subsuperficiais terem maiores valores de matiz e croma principalmente devido à presença de matéria orgânica. Entretanto os autores não observaram uma influência do horizonte para os valores de brilho.

5.5 Teste de Tukey para comparação de médias

Já se era esperado que houvesse diferenças significativas nos componentes de cor dos solos em relação à umidade, tipo de solo e horizonte. Tendo em vista o objetivo principal deste trabalho de avaliar possíveis divergências entre os dois métodos de determinação da cor do solo, o teste de Tukey foi feito apenas para o fator tratamento.

Após concluir que existem diferenças significativas entre pelo menos um dos tratamentos, foi feito o teste de comparação de médias para avaliar quais tratamentos diferem ou não entre si. O teste de Tukey, a um nível de significância de 5%, não evidenciou diferenças de médias significativas para os componentes x e y entre os dois métodos (Figura 13 e Figura 14).

O componente croma apresentou diferenças significativas ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F da ANOVA (Tabela 6), entretanto, nenhuma das diferenças entre as médias deste componente foi considerada significativa pelo teste de Tukey,

que é um teste mais rigoroso (BANZATTO & KRONKA, 2008). De acordo com Pimentel Gomes (1990), é possível que hajam discordâncias entre o teste F e o teste Tukey devido a aceitações de hipóteses diferentes nas deduções teóricas.

Para o componente Y, as diferenças entre as médias foram consideradas significativas. As médias de Y obtidas pelo colorímetro diferiram das obtidas pela carta de Munsell, tanto em campo quanto em laboratório, ao nível de 0,001 de significância. As médias obtidas pela carta em condições de campo não diferiram das obtidas em laboratório (Figura 15).

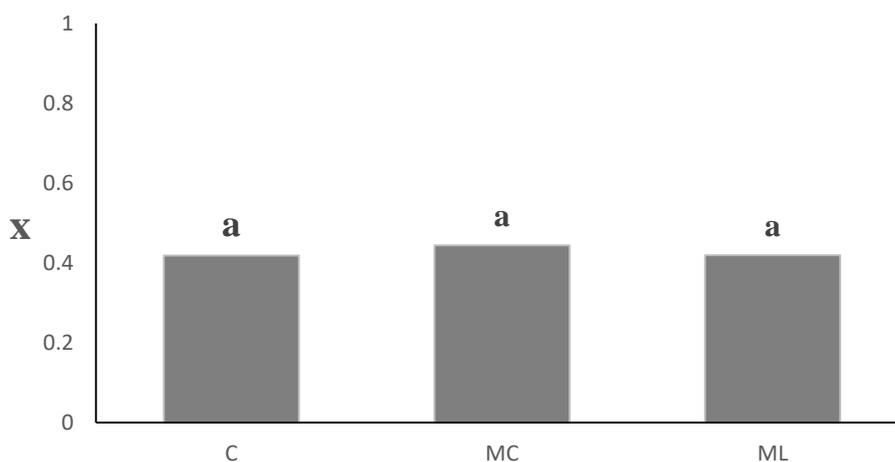


Figura 13. Média da componente de cor x entre os métodos de determinação avaliados. Médias seguidas de letras iguais acima das colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. Colorímetro (C); Munsell campo (MC); Munsell Laboratório (ML).

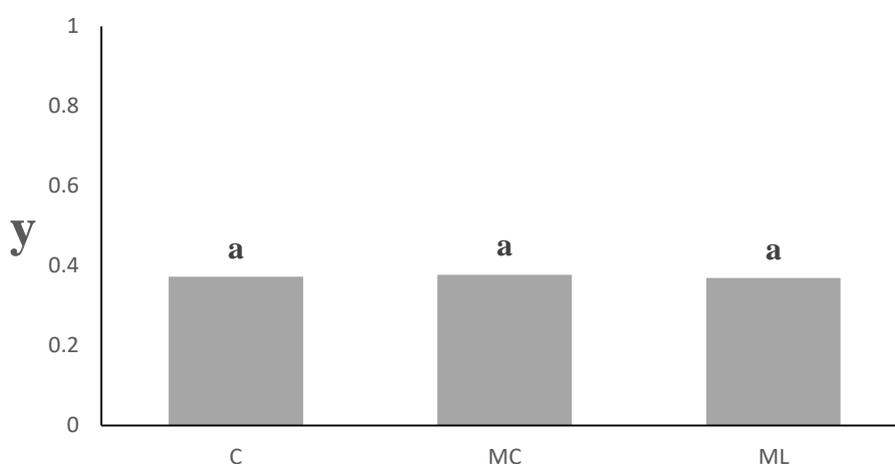


Figura 14. Média da componente de cor y entre os métodos de determinação avaliados. Médias seguidas de letras iguais acima das colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. Colorímetro (C); Munsell campo (MC); Munsell Laboratório (ML).

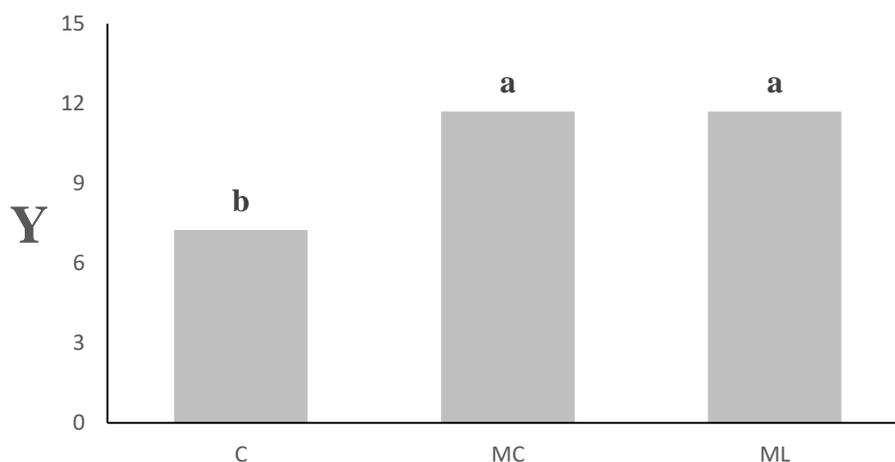


Figura 15. Média da componente de cor Y entre os métodos de determinação avaliados. Médias seguidas de letras iguais acima das colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. Colorímetro (C); Munsell campo (MC); Munsell Laboratório (ML).

5.6 Curvas espectrais dos solos

Foram geradas curvas de reflectância espectral na faixa do visível com comprimento de ondas entre 400 e 700 nanômetros (nm) das amostras secas e úmidas dos horizontes superficiais e subsuperficiais de cada solo (Figura 16, Figura 17, Figura 18, Figura 19 e Figura 20). De modo geral o acúmulo de matéria orgânica nos horizontes subsuperficiais reduz a razão reflectância/transmitância (R/T%) das amostras e à medida que aumenta a umidade aumenta-se a energia absorvida. Para o Gleissolo e o Organossolo (Figura 16 e Figura 17) as curvas espectrais são mais afetadas pelo efeito da matéria orgânica acumulada no horizonte superficial que pelo efeito da umidade, pois, as amostras dos horizontes subsuperficiais, tanto secas quanto úmidas, apresentaram maior R/T% que as amostras dos horizontes superficiais. O Organossolo apresentou valores os menores valores de R/T% devido ao elevado teor de matéria orgânica, quanto maior a concentração de matéria orgânica, maior é a absorção de energia pelo solo (AL-ABBAS et al., 1972; DALMOLIN, 2002; DEMATTÊ & GARCIA, 1999). O Gleissolo apresentou valores elevados de R/T% devido à sua coloração cinza que tende a deixar a cor mais brilhante (CHEVREUL, 1855).

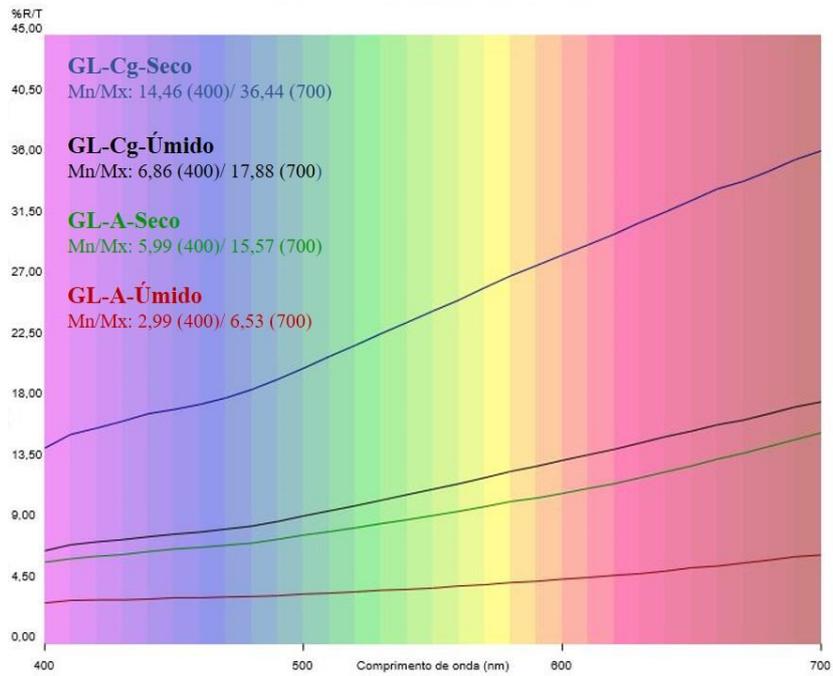


Figura 16. Curvas espectrais dos horizontes A e Cg do Gleissolo para amostras secas e úmidas. Gleissolo (GL); Horizonte superficial (A); Horizonte subsuperficial (Cg).

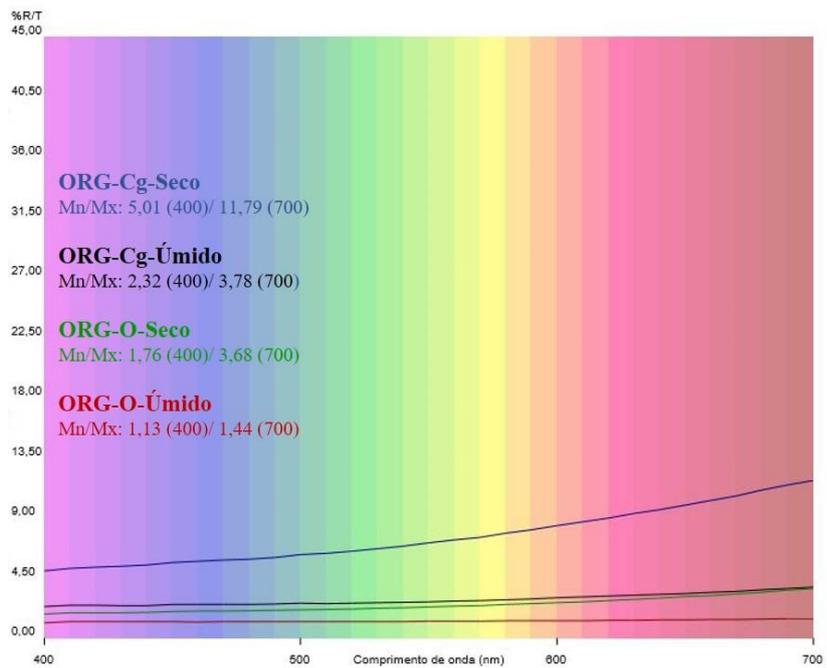


Figura 17. Curvas espectrais dos horizontes O e Cg do Organossolo para amostras secas e úmidas. Organossolo (O); Horizonte superficial (o); Horizonte subsuperficial (Cg).

Já para o Latossolo Vermelho, Latossolo Amarelo e Neossolo, o efeito da umidade é maior, pois estes solos têm teores baixos de matéria orgânica, sendo assim as amostras secas, de ambos os horizontes, apresentaram maior R/T% que as amostras úmidas. O Neossolo (Figura 18) apresentou os maiores valores de R/T% entre os solos observados, a constituição mineralógica do Neossolo é rica em quartzo e a coloração tende a ser mais clara e esbranquiçada (AZEVEDO, 2006; EMBRAPA, 2013). Observou-se também que o Latossolo Vermelho (Figura 19) apresenta menor R/T% que o Latossolo Amarelo (Figura 20), isso se deve ao fato de a goethita, predominante no LA, elevar a reflectância do solo uma vez que absorve um menor comprimento de onda que a hematita, predominante no LV, além de a presença de hematita no LV eleva o poder de absorção de luz deixando-o mais opaco (VITORELLO & GALVÃO, 1996; KOSMAS et al., 1984; STONER et al., 1991).

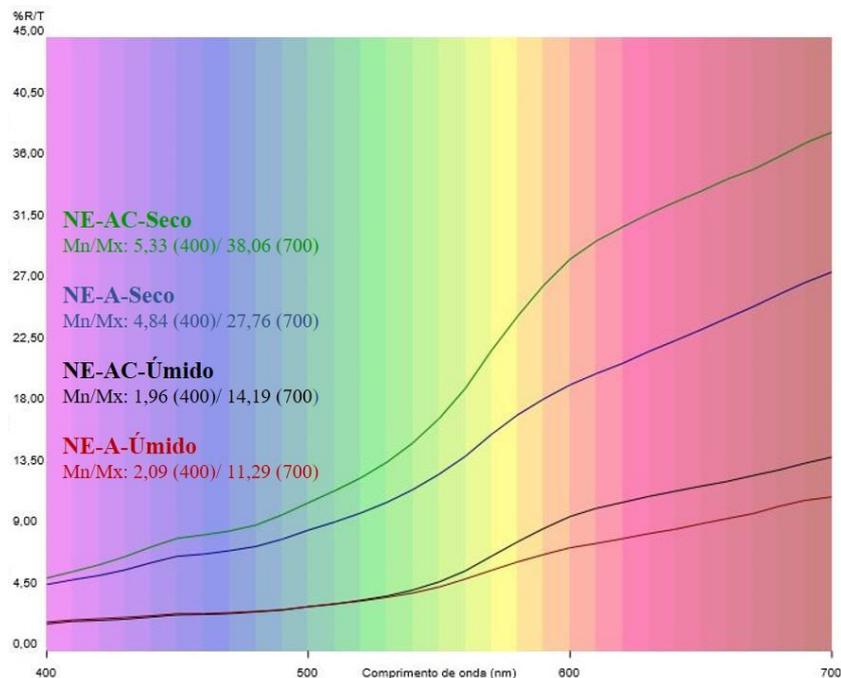


Figura 18. Curvas espectrais dos horizontes A e Ac do Neossolo para amostras secas e úmidas. Neossolo (NE); Horizonte superficial (A); Horizonte subsuperficial (Ac).

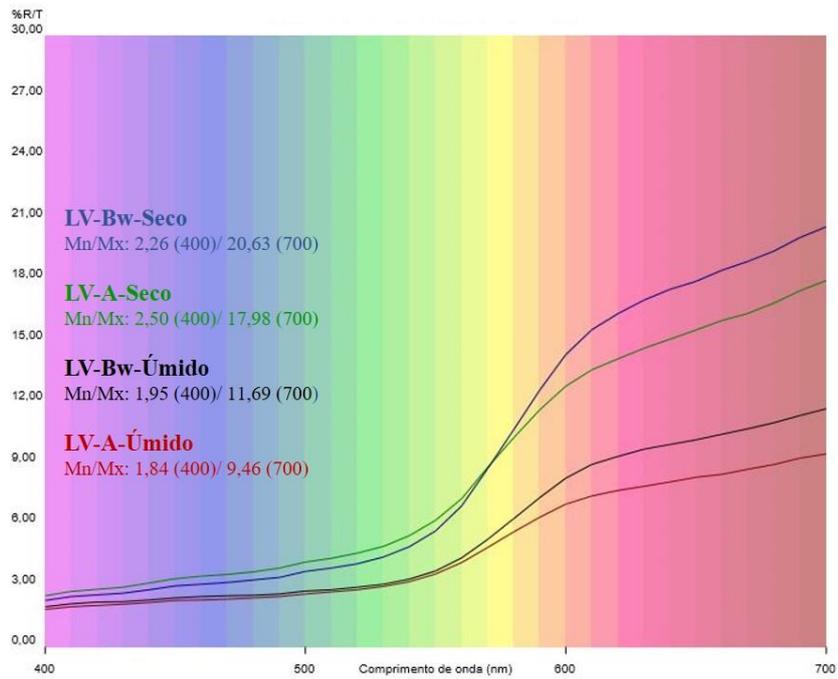


Figura 19. Curvas espectrais dos horizontes A e Bw do Latossolo Vermelho para amostras secas e úmidas. Latossolo Vermelho (LV); Horizonte superficial (A); Horizonte subsuperficial (Bw).

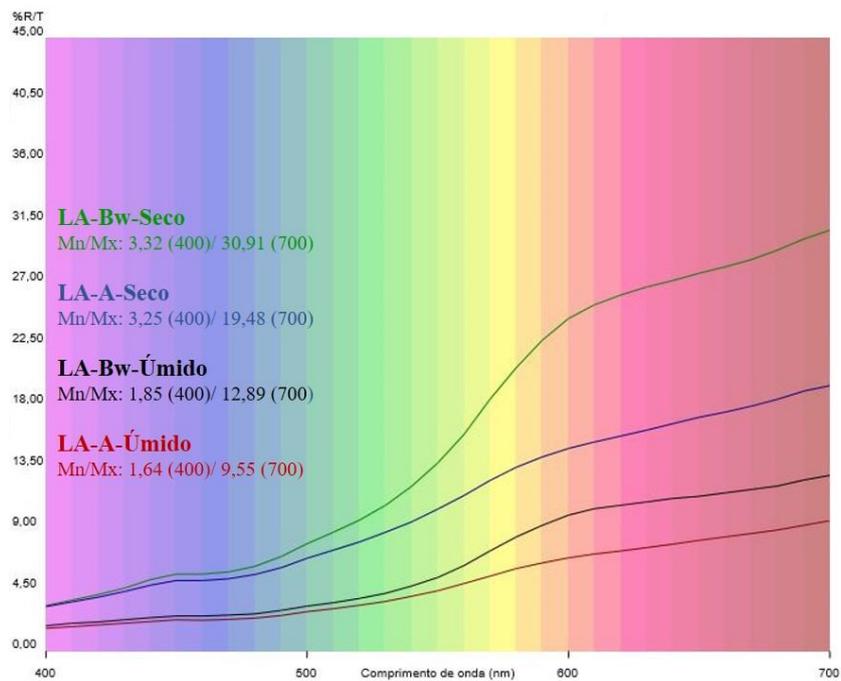


Figura 20. Curvas espectrais dos horizontes A e Bw do Latossolo Amarelo para amostras secas e úmidas. Latossolo Amarelo (LA); Horizonte superficial (A); Horizonte subsuperficial (Bw).

5.7. Desvio Padrão

A Tabela 7 apresenta os valores médios das sete leituras dos componentes de cor x, y, Y obtidos pelo colorímetro e a média das determinações feitas pelos sete observadores convidados por meio da comparação visual com a carta de Munsell e convertidos para os valores de x, y e Y da escala cromática CIE (1931) utilizando código Python desenvolvido por Mansencal et al. (2015).

Os resultados obtidos pelo colorímetro apresentaram menor desvio padrão demonstrando uma maior precisão deste método em relação à comparação visual com a carta de Munsell. Shields et al. (2011) obtiveram resultados semelhantes na determinação da cor de dois solos utilizando a carta de Munsell e um espectrofotômetro.

Observou-se uma grande variação principalmente na característica valor (Y) para as determinações feitas com o uso da carta de Munsell, indicando uma tendência de os observadores convidados superestimarem as determinações realizadas pelo colorímetro. Foram observadas pequenas variações nos componentes matiz e croma para a mesma amostra entre os diferentes observadores.

Tabela 7. Valores de x,y,Y da escala cromática CIE (1931) para os diferentes solos analisados com o uso de um colorímetro e pela leitura da carta de Munsell por 7 observadores convidados (média±desvio padrão).

Perfil	Horizonte	Colorímetro			Munsell		
		<i>x</i>	<i>y</i>	<i>Y</i>	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>Y</i>
GLE	A	0,3609±0,0020	0,3604±0,0010	9,7500±0,2376	0,3352±0,0114	0,3371±0,0080	19,2718±5,6018
GLE	Cg	0,3607±0,0003	0,3630±0,0001	25,6100±1,1589	0,3283±0,0082	0,3329±0,0072	41,9853±10,8828
LV	A	0,4492±0,0026	0,3790±0,0007	7,8500±0,1881	0,4651±0,0258	0,3777±0,0091	11,7007±2,8616
LV	Bw	0,4740±0,0045	0,3768±0,0003	8,7100±1,0009	0,5071±0,0293	0,3777±0,0059	11,7007±2,8616
LVA	A	0,4166±0,0019	0,3909±0,0005	12,8900±2,2541	0,3995±0,0174	0,3840±0,0120	19,2718±3,7907
LVA	Bw	0,4511±0,0011	0,3980±0,0011	15,9350±0,6731	0,4596±0,0195	0,4064±0,0088	19,2718±8,7876
NE	A	0,4129±0,0017	0,3829±0,0003	14,0550±0,1865	0,3991±0,0338	0,3767±0,0149	19,2718±5,3608
NE	Ac	0,4315±0,0019	0,3881±0,0001	19,9250±1,1834	0,4242±0,0268	0,3876±0,0110	29,3011±8,0493
ORG	O	0,3441±0,0002	0,3471±0,0003	2,4550±0,1060	0,3456±0,0018	0,3269±0,0090	4,4988±0,8375
ORG	Cg	0,3538±0,0003	0,3529±0,0001	7,7400±0,5445	0,3380±0,0002	0,3354±0,0036	11,7007±0,0000

Organossolo (ORG); Gleissolo (GL); Neossolo (NE); Latossolo Amarelo (LA); Latossolo Vermelho (LV); Horizonte superficial (Sup); Horizonte subsuperficial (Sub).

6 CONCLUSÕES

- i) Existe uma alta correlação entre as medidas de cor realizadas com a carta de Munsell e com o colorímetro indicando coerência entre os métodos.
- ii) Houve divergência entre os dois métodos de determinação da cor para o componente valor com tendência de superestimação do componente Y pelo método Munsell.
- iii) Os componentes de cor dos solos são influenciados pela mineralogia dos solos, pela umidade, e pelo acúmulo de matéria orgânica nos horizontes superficiais
- iv) As curvas espectrais demonstram diminuição da reflectância dos solos com o aumento da umidade e da concentração de matéria orgânica.
- v) O método de determinação da cor com o uso do colorímetro é mais preciso que o método de determinação visual.

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*, v. 114, n. 6, p. 477-485, 1972.

ARNOLD, D. E. *Ceramic theory and cultural process*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1985.

AZEVEDO, A.C. *Solos e ambiente: uma introdução*. Santa Maria: Pallotti, 2006.

BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. *Experimentação agrícola*. Jaboticabal: Funep, v. 4, 2006.

BARRON, V.; TORRENT, J. Use of the Kulbelka-Munk theory to study the influence of iron oxide on soil color. *Journal of Soil Science*, Ottawa, v.37, p.449-510, 1986.

BOWERS, S.A.; HANKS, R.J. Reflectance of radiant energy from soils. *Soil Science*, Baltimore, v.100, n.2, p.130-138, 1965.

BULTRINI, G. et al. Characterization and reproduction of yellow pigments used in central Italy for decorating ceramics during Renaissance. *Applied Physics A*, v. 83, n. 4, p. 557-565, 2006.

CAMPOS, R. C. *Determinação da cor do solo e sua utilização na predição dos teores de hematita*. 2001. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

CAMPOS, R. C.; DEMATTÊ, J. A. M. Cor do solo: uma abordagem da forma convencional de obtenção em oposição à automatização do método para fins de classificação de solos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 28, n. 5, p. 853-863, 2004.

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

CARRETERO, M. I. Clay minerals and their beneficial effects upon human health. A review. *Applied Clay Science*, v. 21, n. 3, p. 155-163, 2002.

CARRETERO, M. I.; POZO, M. Clay and non-clay minerals in the pharmaceutical industry: Part I. Excipients and medical applications. *Applied Clay Science*, v. 46, n. 1, p. 73-80, 2009.

CARTER, C. B.; NORTON, M. G. *Ceramic materials: science and engineering*. Springer Science & Business Media, 2007.

CARTER, W.T. Color analysis with spectrophotometer. *American Soil Survey Association. Bull.* V.12, p.169-170, 1931.

- CARVALHO, A. F. et al. Cores da Terra. Fazendo tinta com terra. Viçosa: UFV, sd, 2007.
- CHEVREUL, M. E. The principles of harmony and contrast of colours, and their applications to the arts. Longman, Brown, Green, and Longmans, 1855.
- CIE. Commission Internationale L' Eclairage. Proceedings of the eight session. Cambridge: England, 1931. Np. (Bureau central de la CIE, Paris).
- CLELAND, T. M. Practical description of the Munsell color system, with suggestions for its use. 1921.
- COOPER, M. et al. Learning soil classification with the Kayapó indians. *Scientia Agricola*, v. 62, n. 6, p. 604-606, 2005.
- DALMOLIN, R. S. D. et al. Relação entre os constituintes do solo e seu comportamento espectral. *Ciência rural*. Santa Maria. vol. 35, n. 2 (mar./abr. 2005), p. 481-489, 2005.
- 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, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- DEMATTE, J.A.M.; GARCIA, G.J. Alternation of soil properties through a weathering sequence as evaluated by spectral reflectance. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.63, p.327-342, 1999.
- DOUGLAS, A. K.; KERR, P. E. Color and color spaces. In: International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, New York. 2005. p. 237-277.
- EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 212p. il. (EMBRAPA/ CNPS – RJ. Documentos, 1).
- EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3. ed. Brasília-DF: Embrapa Solos, 2013. 353 p.
- EPIPHANIO, J. C. N. et al. Comportamento espectral de solos do Estado de São Paulo. São José dos Campos: INPE, p. 131, 1992.
- ESCADAFAL, R. GIRARD, M. C.; COURAULT, D. Munsell soil color and soil reflectance in the visible spectral bands of LANDSAT MSS and TM data. *Remote Sensing Environment*, New York, v.37-46, 1989.
- FERNANDEZ, R.N.; SCHULZE, D.G. Calculation of soil color from reflectance spectra. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.51, n.5, p.1277-1282, 1987.
- FERNANDEZ, R.N.; SCHULZE, D.G. Munsell colors of soils simulated by mixtures of Goethite and Hematite with kaolinite. *Zeitschrift. Pflanzenernähr Bodenk*, 155:473-478, 1992.

- FLINT, A. L.; FLINT, L. E. 2.2 Particle density. *Methods of soil analysis. Part 4 – Physical Methods*. p. 229-240. Madison, WI, 2002.
- GRANT, C. *The rock paintings of the Chumash*. University of California Press. p 163, 1965.
- GRASSMANN, H. Zur theorie der farbenmischung. *Annalen der Physik*, v. 165, n. 5, p. 69-84, 1853.
- KERR, D. A. *The CIE XYZ and xyY color spaces*. Issue, 2010.
- KOSMAS, C.S. et al. Characterization of iron oxide minerals by second-derivate visible spectroscopy. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.48, p.401-405, 1984.
- LAPIDO-LOUREIRO, F. E.; MELAMED, R.; DE FIGUEIREDO NETO, J. (Ed.). *Fertilizantes: agroindústria e sustentabilidade*. Centro de Tecnologia Mineral-CETEM/MCT, 2009.
- LOPES, J. M. B. *Cor e Luz*. Departamento de Engenharia Informática. Instituto Superior Técnico. Lisboa, 2008.
- LÓPEZ-GALINDO, A.; VISERAS, C.; CEREZO, P. Compositional, technical and safety specifications of clays to be used as pharmaceutical and cosmetic products. *Applied Clay Science*, v. 36, n. 1, p. 51-63, 2007.
- LYNN, W. C.; PEARSON, M. J. The color of soil. *The Science Teacher*, v. 67, n. 5, p. 20, 2000.
- MADEIRA NETTO, J. et al. Visible spectrometric indices of hematite (Hm) and goethite (Gt) content in lateritic soils: the application of a Thematic Mapper (TM) image for soil-mapping in Brasilia, Brazil. *International Journal of Remote Sensing*, London, v.18, p.2835-2852, 1997.
- MANSENCAL, T. et al. Colour 0.3.8. Disponível em: <<http://colour-science.org/>>. Acesso em: 18 out. 2016.
- MATHIEU, R. et al. 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. M. 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.
- 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.
- MOORE, D. S.; NOTZ, W. I.; FLIGNER, M. A. *A estatística básica e sua prática*. Grupo Gen-LTC, Rio de Janeiro, 2000.

MUNSELL SOIL COLOR COMPANY, Munsell soil color charts, Munsell color, Macbeth Division of Kollmorgen Corporation, Baltimore, Maryland, USA. 1950, revised 1975.

OHTA, N.; ROBERTSON, A. Colorimetry: fundamentals and applications. John Wiley & Sons, 2006.

PETTER C. O. Princípios de Colorimetria. Porto Alegre: PPGEM/UFRGS, 2003. Apostila. Porto Alegre 2003.

PIMENTEL GOMEZ, F. Curso de estatística experimental. Curso de estatística experimental, Piracicaba, São Paulo, v. 13, 1990.

POST, D. F. et al. Correlations between field and laboratory measurements of soil color. Soil color, n. soilcolor, p. 35-49, 1993.

POST, D.P. et al. Relations between soil color and LANDSAT reflectance on semiarid rangelands. Soil Science Society of America Journal, Madison, v.59, p.1809-1816, 1994.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria, 2015. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>>. Acesso em: 16 mar. 2016.

RESENDE, M. Mineralogy, chemistry, morphology and geomorphology of some soils of the Central Plateau of Brazil. 237f. Thesis (PhD in Soil Science) – Purdue University. 1976.

ROBINSON, D. W. The mirror of the sun: surface, mineral applications and interface in California rock-art. In: BOIVIN, N. Soils, stones and symbols: Cultural perceptions of the mineral world, p. 91-106, Routledge, 2004

ROSSEL, R. A. V. et al. Colour space models for soil science. Geoderma, v. 133, n. 3, p. 320-337, 2006.

RUS, J. Diagram representing the three dimensions of the Munsell color system. 2007 In: BLEYS, J. Language strategies for the domain of colour. Language Science Press, 2015.

SÁNCHEZ-MARAÑÓN, M. et al. Spectroradiometric and visual color measurements of disturbed and undisturbed soil samples. Soil Science, 160:291-303, 1995.

SANTOS, R. D. dos et al. Manual de descrição e coleta de solo no campo. Viçosa. SBCS/EMBRAPA/CNPS, 2005.

SCHAETZL, R.; ANDERSON, S. Soils: genesis and geomorphology. Cambridge University Press. 2005.

SCHANDA, J. (Ed.). Colorimetry: understanding the CIE system. John Wiley & Sons, 2007.

- SCHULZE, D.G. et al. Significance of organic matter in determining soils color. In: BIGHAM, J. M.; CIOLKOSZ, E. J. Soil color. Madison: SSSA, 1993. P.71-90. (Special Publication, 31).
- SCHWERTMANN, U. Iron oxides. In: Encyclopedia of soil science. Springer Netherlands, 2008. p. 363-369.
- SCHWERTMANN, U. Some properties of soil and synthetic iron oxides. In: STUCKI, J. W. et al. Iron in soils and clay minerals. Dordrecht: Nato Advanced Study Institute, 1988. p.203-250. (NATO 451 studies).
- SCHWERTMANN, U.; TAYLOR R. M. Iron oxides. in: DIXON J. B.; WEED S. B. Minerals in Soil Environments. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA, 1989. P.379-438.
- SHERMAN, D.M.; WAITE, T.D. Electronic spectra of Fe oxides and oxide hydroxides in the near IR to near UV. American Mineralogist, Washington, v.70, p.1262-1269, 1985.
- SHIELDS, J.A. et al. Measurement of soil color. Canadian Journal of Soil Science, 2011.
- SIMONSON, R. W. Soil color standards and terms for field use—history of their development. Soil Color, n. soilcolor, p. 1-20, 1993.
- SOIL SURVEY DIVISION STAFF. Soil survey manual. Soil Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Handbook 18. 1993.
- SOLOS, Embrapa. Sistema brasileiro de classificação de solos. Centro Nacional de Pesquisa de Solos: Rio de Janeiro, 2013.
- STIGLITZ, R. et al. Evaluation of an inexpensive sensor to measure soil color. Computers and Electronics in Agriculture, v. 121, p. 141-148, 2016.
- STONER, E. R. et al. Atlas of soil reflectance properties. West Lafayette, Purdue University, p. 75, 1979.
- STONER, E. R.; BAUMGARDNER, M. F. Characteristic variations in reflectance of surface soils. Soil Science Society America Journal, Madison, v.45, p.1161-1165, 1981.
- STONER, E. R.; BAUMGARDNER, M. F. Data acquisition through remote sensing. In: BEATTY, M. T et al. Planning the uses and management of land. Madison: Soil Science Society of America, p.159-185, 1986.
- STONER, E.; DERKSEN, I.; MACEDO, J. Discriminação espectral de Latossolos do Planalto Central brasileiro. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.26, p.1599-1606, 1991.
- TAÇON, P. S. C. Ochre, clay, stone and art. In: BOIVIN, N. Soils, stones and symbols: Cultural perceptions of the mineral world, p. 31-42, Routledge, 2004

THORNE, A. et al. Australia's oldest human remains: age of the Lake Mungo 3 skeleton. *Journal of human evolution*, v. 36, n. 6, p. 591-612, 1999.

TORRENT, J.; BARRON, V. Laboratory measurement of soil color: theory and practice. *Soil color*, n. soilcolor, p. 21-33, 1993.

TORRENT, J. et al. Quantitative relationships between soil color and hematite content. *Soil Science*, Baltimore, v.136, p.354-358, 1983.

TORRENT, J.; SCHWERTMANN, U. Influence of hematite on the color of red beds. *Journal of Sedimentary Research*, v. 57, n. 4, 1987.

VITORELLO, I.; GALVÃO, L. S. Spectral properties of geologic materials in the 400 to 2500 nm range: Review for applications to mineral exploration and lithologic mapping. In: POUGET, M. J.; GUYOUT, G. Spectral properties and remote sensing of soils and rocks. *Photo interpretation*. Paris: Eska, 1996. V.34, p.77-96. (Special issue).

ZAKHAROV, S. A. Achievements of Russian science in morphology of soils. *The Academy*, 1927.