

SEÇÃO V - GÊNESE, MORFOLOGIA E CLASSIFICAÇÃO DO SOLO

COR DO SOLO: UMA ABORDAGEM DA FORMA CONVENCIONAL DE OBTENÇÃO EM OPOSIÇÃO À AUTOMATIZAÇÃO DO MÉTODO PARA FINS DE CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS⁽¹⁾

R. C. CAMPOS⁽²⁾ & J. A. M. DEMATTÊ⁽³⁾

RESUMO

A cor é amplamente reconhecida como uma medida primária identificadora de solos. Propriedades físicas, químicas e mineralógicas de solos podem ser derivadas de sua cor. O enquadramento de algumas classes de solos, já no segundo nível categórico do atual Sistema Brasileiro de Classificação de solos, requer que a cor da amostra do horizonte diagnóstico seja determinada por comparação com os padrões existentes na escala de Munsell. Este processo de classificação é extremamente subjetivo e consome tempo, limitando a exatidão, a transferência e a utilização do procedimento. O principal objetivo deste trabalho foi obter a cor do solo com o método convencional e com um colorímetro, a fim de avaliar as possíveis implicações na classificação de solos. Cinco pedólogos foram convidados a classificar o matiz de 80 amostras de solo pela comparação com a carta de Munsell. Em seguida, o matiz das amostras foi obtido com um colorímetro, também na notação de Munsell. Pelas análises estatísticas foram avaliados: coeficientes de correlação, índice de precisão (IP), forma de agrupamento e tendências médias entre as determinações de matiz. Coeficientes de correlação variando de 0,68 a 0,94 entre as determinações de cor demonstraram que os pedólogos produziram dados que validaram o estudo. No entanto, houve confirmação de que as medidas realizadas por pedólogos não coincidiram, sendo diferentes também das determinações feitas pelo colorímetro. Índices de Precisão (IP) indicaram haver concordância em apenas 8,75 % das determinações em amostras úmidas e 17,5 % nas amostras secas. Ocorreram divergências na determinação do matiz das amostras que resultariam em erros na classificação dos solos. A avaliação das tendências médias indicou que os pesquisadores superestimaram as determinações de cor realizadas pelo colorímetro, resultando em alterações na classificação de solos.

Termos de indexação: matiz, colorimetria, carta de Munsell e pedologia.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Mestrado do primeiro autor. Trabalho financiado pela FAPESP. Recebido para publicação em abril de 2003 e aprovado em julho de 2004.

⁽²⁾ Doutorando do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Divisão de Sensoriamento Remoto – INPE/DRS. Avenida dos Astronautas 1.758, Jd. Granja, CEP 12227-010 São José dos Campos (SP). Bolsista do CNPq. E-mail: rogerio@dsr.inpe.br

⁽³⁾ Professor do Departamento de Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP. Av. Pádua Dias 11, CEP 13418-000 Piracicaba (SP). E-mail: jamdemat@carpa.ciagri.usp.br

SUMMARY: *SOIL COLOR: APPROACH TO A CONVENTIONAL ASSESSMENT METHOD IN COMPARISON TO AN AUTOMATIZATION PROCESS FOR SOIL CLASSIFICATION*

Soil color is widely recognized as a primary property of soil identification. Soil physical, mineralogical, and chemical properties can be derived from assessing soil color. The current framework of soil classification, at the second hierarchical level of the Brazilian System of Classification, requires that the soil colour of the diagnostic B horizon be determined by comparison with the Munsell color charts, or equivalent. This process of classification is extremely subjective and time-consuming, limiting the accuracy, transferability, and usefulness of the procedure. This paper aims at a comparison of the conventional soil color determination with the colorimeter method to evaluate possible implications in soil classification. Five soil scientists were invited to determine the hue of 80 soil samples by comparison with the Munsell color chart. The hue of the samples was obtained with a colorimeter as well, also according to Munsell's notes. The statistical analyses determined correlation coefficients, precision index, clustering forms, and mean tendencies of hue determinations. Correlation coefficients varying from 0.68 to 0.94 showed that soil scientists produced precise data, fundamental for the validity of the study. However, the measurements realized by soil scientists were not coincident, and were quite different from the colorimeter measures. The values of Precision Index indicated an agreement of only 8.75 % in moist samples and 17.5 % in dry ones. The divergences in hue determination would lead to mistakes in soil classification. The evaluation of average tendencies indicated that the pedologists overestimated color values in relation to colorimeter, resulting in alterations in soil classification.

Index terms: hue, colorimetry, Munsell book of color, pedology.

INTRODUÇÃO

A cor é um dos mais úteis atributos para caracterizar solos e sua determinação constitui importante fonte de informação para a pedologia. Rotineiramente, a cor é determinada no campo pela sua comparação visual com padrões existentes em cartas de cor (Munsell Soil Color Company, 1975). No entanto, em decorrência de fatores físicos e psicofísicos, muitos erros estão envolvidos no método visual de determinação da cor. Assim, a distinção de solos com base na sua cor lança mão de um parâmetro determinado de forma subjetiva. Várias peculiaridades sobre a cor dos solos, no que diz respeito aos fatores que influenciam sua obtenção, são apresentadas em trabalhos realizados por Bigham & Ciolkosz (1993).

A cor do solo é função, principalmente, da presença de óxidos de Fe e matéria orgânica, além de outros fatores, tais como: a umidade e a distribuição do tamanho de partículas (Fernandez & Schulze, 1992). Porém, erros substanciais na determinação da cor do solo ocorrem em função da diferença de percepção entre observadores e da não padronização da iluminação (Torrent & Barrón, 1993), o que acaba por evidenciar a importância do desenvolvimento de instrumentos de campo e laboratório que permitam determinação mais objetiva e precisa.

Comparando a avaliação da cor de solos efetuada por pessoas treinadas com a utilização da carta de Munsell e com o uso de aparelhos espectrofotométricos, Sanchez-Marañón et al. (1995) concluíram que a grande distância entre duas páginas consecutivas da referida carta (2.5 na variação do matiz) obriga interpolações nem sempre adequadas. A estimativa da cor com o uso de equipamentos foi considerada a de maior precisão.

Costa (1979) já afirmava que muitas das propriedades do solo podem ser estimadas com base na reflectância espectral e que se deveria investir na busca da utilização mais rotineira de um instrumento de laboratório que medisse esta propriedade para amostras de solo.

O sistema solo pode ser considerado uma mistura de partículas minerais e orgânicas que interagem com a luz incidente, não sendo completamente transparentes nem completamente opacas. Portanto, as partículas parcialmente absorvem e parcialmente dispersam a luz incidente (Barrón & Torrent, 1986). Torrent & Barrón (1993) basearam-se nesse princípio para proporem a determinação em laboratório da cor de amostras de solos pela Espectroscopia de Reflectância Difusa, utilizando os mesmos aparelhos espectrofotométricos comuns em laboratórios, com pequenas adaptações. A luz que incide sobre uma amostra de solo, refletida de maneira difusa, é adquirida e, em seguida, é analisada a curva

de refletância gerada dentro do intervalo de comprimento de onda variando de 400 a 700 nm.

Além dos trabalhos desenvolvidos por Torrent e colaboradores, outros autores também utilizaram técnicas espectrofotométricas com aplicação em estudos da cor em edafologia: Nagano & Nakashima (1989), com solos do Japão; Fernández & Schulze (1992), com misturas de óxidos de Fe sintéticos e caulinita, e Madeira Netto et al. (1997), com solos brasileiros.

Post et al. (1993) encontraram baixo valor de desvio-padrão, bem como baixo coeficiente de variação, ao obterem com um colorímetro repetidas medidas da cor de um conjunto de solos com uma ampla variação de matiz. Encontraram, também, modelos de regressão linear com altos valores de coeficientes de determinação ($r^2 = 0,99$) entre cores determinadas pelo colorímetro e vários padrões de cor encontrados na carta de Munsell, o que comprova a precisão e a exatidão do aparelho em fornecer medidas de cor com base na medição do resultado da interação física da radiação na região do visível com as amostras de solo.

A avaliação da cor do solo, quando executada pelo olho humano, é subjetiva, como resultado disso, divergências na classificação dos solos podem ocorrer. O segundo nível categórico de classificação de algumas classes de solo é dado pela notação de cor determinada pela comparação com a carta de Munsell (Embrapa, 1999). Por exemplo, a cor de Argissolos e Latossolos define a nomenclatura do segundo nível categórico dessas duas ordens de solos.

A cor do solo determinada pelo olho humano, considerando as características, como capacidade de interpretação da cor e habilidade, particulares a cada observador, deve apresentar divergências, quando diferentes pesquisadores determinam a cor de uma mesma amostra de solo. A comparação das determinações de cor feitas pelo olho humano com determinações feitas com um colorímetro pode indicar tendências individuais de cada observador em determinar a cor, já que as medidas feitas com o colorímetro eliminam a subjetividade presente nas medições realizadas com o olho humano.

Os objetivos deste trabalho foram: (a) avaliar a determinação da cor do solo feita por pesquisadores, (b) avaliar as implicações na classificação de solos ocorridas com base em divergências na determinação da cor e (c) comparar as determinações da cor do solo feitas por pesquisadores e por um colorímetro.

MATERIAL E MÉTODOS

Para obter heterogeneidade de solos, foram utilizadas 80 amostras, coletadas na profundidade compreendida entre 0,4 e 0,6 m e pertencentes a

duas áreas, uma em Rafard e outra em Barra Bonita, ambas no estado de São Paulo. Segundo Köppen, o clima das áreas é o Cwa, caracterizado por apresentar inverno seco e verão chuvoso. O ambiente de formação e a geologia com predomínio de folhelho, arenito e diabásio proporcionaram a ocorrência diversificada de solos que, segundo Nanni (2000), de acordo com (Embrapa, 1999), foram classificados como Latossolo Vermelho, Latossolo Vermelho-Amarelo, Argissolo Vermelho-Amarelo, Argissolo Vermelho, Regossolo, Neossolo e Nitossolo Vermelho. Predomina nas áreas a classe de relevo ondulado (Embrapa, 1988). O critério de escolha contribuiu para a ampla variação de matiz no conjunto de amostras. Em 45, 47,5 e 7 % das amostras, o croma ocorre nos intervalos de 1,5 a 3,0, 3,6 a 4,0 e 4,1 a 4,5, respectivamente.

Cinco pesquisadores foram convidados a avaliar a cor das amostras de solo, sendo a escolha baseada no histórico da visão geral de cada um, em comum, todos são pedólogos, porém desenvolvem trabalhos abordando a pedologia sob diferentes aspectos. Dentre eles destacam-se classificadores de solos, estudiosos específicos em gênese, estudiosos da relação existente entre classificação e manejo de solos e participantes da elaboração do novo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS (Embrapa, 1999). Todos têm experiência superior a 15 anos, tendo já trabalhado com solos das regiões de onde as amostras utilizadas neste trabalho são oriundas, demonstrando, portanto, intimidade com os matizes das amostras selecionadas para o estudo. Idade, local de formação, local de trabalho e anos de experiência dos pedólogos não foram considerados nas discussões, a fim de evitar conclusões equivocadas em razão da falta de repetições para cada perfil. Portanto, as discussões são estendidas apenas ao fato de que todos são pedólogos com relevante experiência, o que perfaz uma real situação em que a cor é determinada para fins de classificação segundo o método convencional (Carta de Munsell).

Subamostras foram catalogadas e alocadas em uma bancada no interior de uma sala com fonte de iluminação artificial. Com isso, pretendeu-se padronizar a iluminação para todos os pesquisadores na ocasião da determinação da cor. Em seguida, os pesquisadores receberam instruções para determinar o componente matiz da cor para as amostras secas e úmidas pela comparação com os padrões encontrados na carta de Munsell. As mesmas amostras tiveram a cor medida com um colorímetro Minolta, modelo C_R-300, que interpreta a cor a partir da energia refletida na região do visível. A energia refletida é oriunda da interação da amostra com espectro de luz, tendo sido estabelecido, para as determinações, o iluminante C, que simula a luz natural. O equipamento determina a cor no sistema de coordenada XYZ e, em seguida, o mesmo a converte para a notação de Munsell, comparada para fins de discussão com as medidas realizadas

pelos pesquisadores. Para simular a percepção visual da cor por um “olho humano” padronizado, o colorímetro dispõe de um sensor que quantifica a energia refletida da interação da luz com o objeto, sendo utilizados os triestímulos imaginários básicos propostos pela CIE (1931).

As medidas de cor feitas pelo colorímetro podem ser obtidas em intervalos intermediários que não são apresentados na carta de Munsell, conferindo maior precisão e exatidão a essas determinações. No entanto, para que pudessem ser realizadas as análises estatísticas, com vistas em comparar os matizes obtidos pelos pesquisadores e pelo colorímetro, as determinações obtidas com o colorímetro foram transformadas, adotando limites rígidos e médios, em valores apresentados na carta de Munsell. Assim, dependendo do intervalo de matiz determinado com o colorímetro, a transformação foi realizada (Quadro 1).

Os limites rígidos e médios foram estabelecidos com a intenção de verificar as implicações da avaliação da cor na Classificação Brasileira de Solos (Embrapa, 1999), uma vez que este sistema estabelece limites de variação de cor para diferenciar algumas classes de solos. Especificamente, os limites médios foram criados para analisar qual a tendência do pesquisador quando a cor da amostra se apresenta em intervalos não contemplados na carta de Munsell. Assim, foi possível determinar qual o comportamento do pesquisador quando ele determina os matizes contidos em intervalos da carta de Munsell. Quando os valores coincidem com limites médios, entende-se que o pesquisador atribui ao matiz da amostra o valor mais próximo contido na carta Munsell. Já a coincidência com valores rígidos indica uma possível tendência de o pesquisador superestimar os valores de matiz.

Por se tratar de dados qualitativos, a obtenção de cor feita pelos pesquisadores foi transformada em

dados ordinais para que a análise pudesse ser realizada. Assim, com base na cor do conjunto de amostras, os matizes foram transformados, tendo em vista a variação do vermelho para o amarelo, estabelecendo-se a seguinte ordem: 10R = 1, 2,5YR = 2, 5YR = 3, 7,5YR = 4, 10YR = 5 e 2,5Y = 6.

As análises estatísticas utilizaram o programa Statistical Analysis System (1989). Relações entre as determinações de matiz realizadas no trabalho foram estabelecidas pela análise de coeficientes de correlação de Spearman.

Com a finalidade de avaliar como as determinações do matiz se agrupavam, bem como sua correlação com o grupo estatístico que integra, foi realizada a análise de “Cluster”. Pela análise de dados não pareados, foram verificadas as tendências médias entre as determinações do matiz, possibilitando avaliar qual o comportamento de uma avaliação em relação à outra.

Visando estabelecer a precisão da avaliação da cor pelos pesquisadores e pelo colorímetro, foi criado o índice de precisão (IP), oriundo da soma do valor da diferença, em valor absoluto, entre todas as combinações das determinações de matiz para a mesma amostra, de modo que, para determinada amostra, obtém-se:

$$(P1-P2) + (P1-P3) + (P1-P4) + (P1-P5) + (P1-C_R) + (P1-C_M) = n1$$

$$(P2-P3) + (P2-P4) + (P2-P5) + (P2-C_R) + (P2-C_M) = n2$$

$$(P3-P4) + (P3-P5) + (P3-C_R) + (P3-C_M) = n3$$

$$(P4-P5) + (P4-C_R) + (P4-C_M) = n4$$

$$(P5-C_R) + (P2-C_M) = n5$$

$$(C_R-C_M) = n6$$

sendo

P(1, 2, 3, 4 e 5) as leituras feitas pelos pesquisadores
C_R e C_M as leituras feitas pelo colorímetro, adotando limites rígidos e médios respectivamente.

Quadro 1. Intervalos estabelecidos para transformar os valores da cor medidos com o colorímetro adotando limites rígidos e limites médios

Intervalo de Matiz	Valor transformado adotando limite médio	Valor transformado adotando limite rígido
> 8,75R e ≤ 10R	10R	10R
> 10R e ≤ 1,25YR	10R	2,5YR
> 1,25 e ≤ 2,5YR	2,5YR	2,5YR
> 2,5YR e ≤ 3,75YR	2,5YR	5YR
> 3,75 e ≤ 5YR	5YR	5YR
> 5YR e ≤ 6,25YR	5YR	7,5YR
> 6,25YR e ≤ 7,5YR	7,5YR	7,5YR
> 7,5YR e ≤ 8,75YR	7,5YR	10YR
> 8,75YR e ≤ 10YR	10YR	10YR
> 10YR e ≤ 1,25Y	10YR	2,5Y
> 1,25Y e ≤ 2,5Y	2,5Y	2,5Y

Assim, IP é igual a $(n1 + n2 + n3 + n4 + n5 + n6)$. Portanto, quanto maior a divergência entre as determinações de cor para uma mesma amostra, maior será o valor de IP, sendo o contrário também verdadeiro.

Será considerado, para fins de discussão, que as determinações de cor pelos cinco pesquisadores serão denominadas P1, P2, P3, P4 e P5, bem como as leituras de cor feitas pelo colorímetro serão denominadas C_M, quando referentes à transformação baseada em limites médios, e C_R, quando adotados os limites rígidos para conversão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A ordenação do matiz possibilitou a realização de uma série de análises, a fim de avaliar tendências, discordâncias e concordâncias que ocorreram entre as determinações do matiz das amostras de solo feitas por pesquisadores e pelo colorímetro. Desta forma, foi possível realizar algumas considerações a respeito do método convencional e o colorímetro na determinação da cor do solo, bem como as consequências na sua classificação.

Os valores do coeficiente de correlação de Spearman (Quadro 2) evidenciaram que, em geral, as correlações entre as medidas de cor foram altas, tanto para as leituras feitas nas amostras secas como úmidas. A variação no coeficiente de correlação foi de 0,68 a 0,93, indicando haver coerência entre as medições de cor realizadas. Provavelmente, a coerência pode ser atribuída ao treinamento e à habilidade dos pesquisadores, bem como à precisão do equipamento, confirmando as constatações de

Post et al. (1993). As correlações entre as avaliações indicaram que o potencial do aparelho em realizar as medições e a habilidade dos pesquisadores impossibilitaram a ocorrência de divergências substanciais, o que significa dizer que não houve discordância entre pontos distantes na variação do matiz de uma mesma amostra na carta de Munsell.

Quase que de forma geral, as correlações indicaram que as medidas de cor feitas por P1 e P2 foram as de menor concordância com as determinações da cor das amostras feitas pelo colorímetro e pelos demais pesquisadores. Assim, fica evidente que P1 e P2 compõem um caso isolado entre as demais avaliações. Este fato pode ser observado para a determinação da cor seca. No entanto, para a cor úmida, embora se mantenha a correlação entre os pesquisadores, também é notado o aumento da correlação de P2 com os demais pesquisadores e o colorímetro.

Outro ponto a ser destacado é a elevada correlação entre P3, P5 e as medidas de cor feitas pelo colorímetro (Quadro 2). Em geral, os pesquisadores apresentaram-se capazes de realizar medições mais ajustadas às medições realizadas pelo colorímetro.

A análise de "Cluster" permitiu agrupar os resultados, obtidos por pesquisadores e pelo colorímetro, em grupos cuja característica foi a proximidade entre as leituras da cor das amostras de solo. Quatro grupos foram formados com os dados referentes à determinação do matiz das amostras secas e úmidas (Quadro 3). A análise de Cluster para o matiz da amostra agrupou P3, P4, P5 e C_R, determinando a formação do grupo 1, os grupos isolados 2, 3, e 4 foram formados, respectivamente, por P1, P2 e C_M. A forma como os grupos se compuseram confirma a análise de correlação

Quadro 2. Resultado dos coeficientes de correlação de Spearman entre as determinações do Matiz das amostras secas e úmidas

Coeficiente de correlação entre determinação da cor de amostras secas							
	P1	P2	P3	P4	P5	C_R	C_M
P1	1,00	0,78	0,76	0,77	0,75	0,75	0,73
P2	0,78	1,00	0,77	0,80	0,72	0,77	0,73
P3	0,76	0,77	1,00	0,89	0,93	0,91	0,90
P4	0,77	0,80	0,89	1,00	0,93	0,90	0,87
P5	0,75	0,72	0,93	0,93	1,00	0,93	0,92
C_R	0,75	0,77	0,91	0,90	0,93	1,00	0,89
C_M	0,73	0,73	0,90	0,87	0,92	0,89	1,00
Coeficiente de correlação entre determinação da cor de amostras úmidas							
P1	1,00	0,72	0,72	0,71	0,69	0,69	0,69
P2	0,72	1,00	0,82	0,85	0,82	0,82	0,81
P3	0,72	0,82	1,00	0,90	0,94	0,91	0,93
P4	0,71	0,85	0,90	1,00	0,91	0,90	0,92
P5	0,69	0,82	0,94	0,91	1,00	0,91	0,94
C_R	0,69	0,82	0,91	0,90	0,91	1,00	0,89
C_M	0,69	0,81	0,93	0,92	0,94	0,89	1,00

(Quadro 2), uma vez que foi indicada a clara diferença de P1 e P2 em relação às demais avaliações, o que confirma as constatações de Torrent & Barrón (1993) no que se refere aos erros envolvidos no método convencional de determinação da cor do solo. Tal fato é confirmado tanto para as amostras secas como úmidas. A separação dos grupos gerados para a leitura da cor úmida continua a evidenciar divergências de P1 e P2 em relação às demais medidas, tendo eles formado grupos isolados mediante a análise destes dados. Os valores de correlação entre os grupos formados, bem como a composição dos grupos, também confirmam a maior aproximação de P3 e P5 e as determinações realizadas pelo colorímetro.

Observando os valores de correlação entre os "Clusters" (Quadro 3), pode-se considerar que as divergências não ocorrem substancialmente, confirmando que os pesquisadores são experientes e treinados para determinar o matiz pela notação de Munsell. No entanto, embora treinados e dotados de habilidade, pode-se averiguar a ocorrência de diferentes posições tomadas em relação à determinação da cor de uma mesma amostra de solo. Na ocasião deste trabalho, é muito provável que as determinações de cor estejam mais bem correlacionadas do que aconteceria na prática. Além da habilidade dos pesquisadores, a obtenção das cores das amostras aconteceu em condições controladas de laboratório que é onde um observador consegue expressar a sua máxima capacidade em distinguir cores (Kelly & Judd, 1976), eliminando as diferenças atribuídas a fatores de influência que não são controlados em condições de campo. Portanto, as divergências na determinação da cor entre os pesquisadores podem ser atribuídas às características individuais.

Segundo Chamberlin & Chamberlin (1980), o cone do nervo central do olho humano, responsável pela percepção da cor em três áreas de sensibilidades diferentes, sendo essas áreas sensíveis ao azul, ao verde e ao vermelho, envolve a percepção de cor por algumas pessoas. Esta teoria tricromática explica que algumas pessoas são menos eficientes em discriminar cor e que 8 % da população mundial tem tal dificuldade, o que pode explicar a variabilidade das medidas de cor feitas por pesquisadores neste trabalho.

Fatores, tais como: qualidade da luz incidente e qualidade da carta de cores utilizada, não podem estar associados às divergências ocorridas entre os pesquisadores, uma vez que para essas determinações esses fatores foram os mesmos. Post et al. (1993) tiveram grande dificuldade em isolar todas as variáveis que estariam causando uma possível influência na determinação da cor pelos pesquisadores. Considerando o número de pesquisadores envolvidos no estudo, não puderam ser consideradas as condições de iluminação em que as cores foram determinadas, tampouco a real habilidade de cada pesquisador em determinar a cor do solo, já que as amostras foram enviadas aos pesquisadores. Embora tenha sido enviado um questionário direcionado à obtenção de informações a respeito das condições nas quais o experimento foi realizado, os autores julgaram que não houve consistência nas informações obtidas. Neste trabalho, a iniciativa de controlar as condições para a determinação da cor das amostras foi, portanto, de fundamental importância.

Alguns trabalhos relacionados com a determinação da cor do solo enfocam a rara concordância entre as determinações realizadas pela comparação com os padrões encontrados na carta de Munsell (Post et

Quadro 3. Grupos formados pela análise de "Cluster" para as determinações do matiz das amostras secas e úmidas e os coeficientes de correlação das determinações com os respectivos grupos

Cor da amostra seca		Cor da amostra úmida	
Componentes do "Cluster"	R ² com o respectivo "Cluster"	Componentes do "Cluster"	R ² com o respectivo "Cluster"
		"Cluster" 1	
P3	0,92	P3	0,94
P4	0,91	P5	0,93
P5	0,95	C_R	0,91
C_R	0,92	C_M	0,92
		"Cluster" 2	
P2	1,00	P1	1,00
		"Cluster" 3	
P1	1,00	P2	1,00
		"Cluster" 4	
C_M	1,00	P4	1,00

al., 1993; Sánchez-Marañón et al., 1995). Porém, não avaliam, de forma quantitativa, as imprecisões deste método, limitando a atribuição de significados e implicações associados à distribuição e intensidade das divergências, bem como possíveis implicações das divergências em estudos relacionados com a determinação da cor do solo.

Para avaliar o quanto as medições de cor variaram dentro de uma mesma amostra, foi estabelecido o IP (Índice de Precisão). Com o IP, foi possível avaliar a intensidade e a distribuição das divergências que ocorreram na determinação das cores das amostras de solos. Considerando que o valor de IP representa o valor da soma do módulo da diferença entre todas as determinações dentro da mesma amostra, pode-se, portanto, considerar que, quanto maior o valor de IP atribuído à amostra, maior foi a divergência entre as leituras para esta amostra. Por outro lado, quanto menor o IP, maior a concordância entre as determinações.

Nota-se que, para a cor úmida, o valor médio de IP foi de 10,9 (Quadro 4), significando que, em média, houve duas determinações, na mesma amostra, diferentes em um ponto das demais determinações. Vale ressaltar que, conforme a ordenação dos dados para realização da análise estatística, a diferença de um ponto nos dados ordenados significa uma variação de 2,5 pontos de matiz na carta de Munsell. Portanto, chama-se a atenção para que, em um trabalho de classificação de solos, seguindo a rigor o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 1999), ocorreria divergência na classificação do solo.

Em sete das amostras, cujo matiz foi determinado com a amostra úmida, o valor de IP foi igual a zero; neste caso, não houve divergência na determinação da cor do solo. Ocorreram também, dentro desta distribuição, valores que indicaram grande discordância entre determinações de cor. Valor de IP igual a 28, 20 e 22 ocorreram uma, duas e três

vezes, respectivamente, embora isolados, esses valores indicaram imprecisão na determinação da cor destas amostras com elevado grau de discordância entre as determinações.

Para as cores das amostras secas, foram observadas as mesmas tendências observadas na análise de IP realizada para as amostras úmidas (Quadro 4). O valor médio de IP foi de 9,55 o que significa dizer que a grandeza e a intensidade das divergências mostraram-se bastante próximas entre as determinações da cor das amostras secas e úmidas. A baixa ocorrência de valores altos de IP, sugerindo baixa ocorrência de erros substanciais, também foi observada na avaliação da cor seca. A diferença notada foi a maior ocorrência de amostras com valor de IP igual a zero, sendo 14 amostras para a cor seca contra sete amostras para a cor úmida.

Considerando que um objeto com dada reflectância espectral e sob uma condição de iluminação deve produzir a mesma sensação de cor para um observador normal (Billmeyer & Saltzman, 1981), para quantificar a diferença de sensação de cor em função de características particulares de cada pesquisador, realizou-se a análise de tendências médias das leituras de cor. Foram apresentadas todas as combinações que mostram as tendências médias de uma determinação em relação às demais (Figura 1), bem como as comparações das determinações dos pesquisadores em relação àquelas do colorímetro para limites rígidos e médios (Figura 1a). O valor entre as siglas foi exatamente o valor que quantifica quantos pontos, em média, na escala ordenada, uma determinação super (sinal positivo) ou subestimou (sinal negativo) a outra. Por exemplo, na prática, significa dizer que, quando P2 e P5 foram comparados, na determinação do matiz das 80 amostras úmidas, P2 apresentou uma tendência em superestimar o valor determinado por P5 em 0,59259 pontos.

Quadro 4. Valores de IP distribuídos segundo o número de ocorrências, de acordo com as determinações de cor

Determinação em amostras secas		Determinação em amostras úmidas	
Número de ocorrências	Valor de IP ⁽¹⁾	Número de ocorrências	Valor de IP ⁽¹⁾
14	0	7	0
18	6	18	6
14	10	15	10
18	12	18	12
3	16	12	16
7	18	4	18
3	20	2	20
3	22	3	22
0	28	1	28
$\Sigma = 80^{(2)}$	Média ⁽³⁾ = 9,55	$\Sigma = 80$	Média = 10,96

⁽¹⁾ IP: Índice de precisão. ⁽²⁾ Total de amostras analisadas. ⁽³⁾ Média ponderada em função do número de ocorrências.

O SiBCS contempla a cor Munsell como atributo diagnóstico distintivo de algumas classes de solos, como Latossolos e Argissolos já no segundo nível categórico. Em média, a determinação de matiz P1, para amostras secas, foi 0,5 menor que para P2 (Figura 1b) na escala de valores ordenados. A diferença em 0,5 na escala ordenada significa haver uma diferença de 1,25 ponto em Munsell, o que poderia provocar divergências na determinação da cor de amostras e, conseqüentemente, na classificação dos solos.

Em quase todas as comparações, P1 apresentou tendência em subestimar o valor da cor das amostras em relação a outras determinações. Tal característica é uma tendência desse pesquisador, já que o mesmo pode ser observado para a determinação do matiz da amostra úmida.

Tomando a rigor os limites de variação de matiz para a classificação de solos no sistema brasileiro, possíveis erros podem ocorrer de acordo com as divergências médias constatadas. Um mesmo solo, por exemplo, um Latossolo, é classificado como Vermelho, quando o matiz for igual ou mais vermelho que 2,5YR, e Vermelho-Amarelo, quando o matiz for mais vermelho que 5YR e mais amarelo que 2,5YR. De acordo com os limites estabelecidos para classificação dos solos e com as divergências na determinação da cor constatadas neste trabalho, pesquisadores poderiam classificar diferentemente um mesmo solo.

Pela análise das comparações entre as tendências médias, pode-se dizer que as diferenças não são ao

acaso, mas, sim, devidas à existência de tendências entre as determinações de cor, particulares a cada pesquisador. Tais tendências podem estar relacionadas com o comportamento dos pesquisadores, quando estes determinam a cor de amostras que revelam matizes contidos em valores intermediários aos apresentados na carta de Munsell (Soil Survey Staff, 1988). Nesse caso, o avaliador tem de escolher se vai atribuir à amostra o valor inferior ou superior de matiz. Portanto, as imprecisões dos pesquisadores (Figura 1a) podem estar associadas à tomada de decisão a respeito da cor de uma amostra sem a existência de um padrão definido para tal comparação em função dos intervalos de matiz não contidos na carta de Munsell.

Com base na constatação de que o equipamento realiza medidas mais exatas e precisas (Post et al., 1993), foram realizadas comparações entre medidas feitas por pesquisadores e pelo colorímetro. Para avaliar a precisão de cada pesquisador de forma detalhada na determinação da cor, foram estabelecidos limites rígidos e médios para conversão das medições obtidas com o colorímetro em padrões contidos na carta de Munsell. Assim, foi possível averiguar qual a real tendência dos pesquisadores em determinar a cor do solo nos intervalos não padronizados da carta de Munsell e sua importância na classificação dos solos.

Quanto às determinações feitas pelos pesquisadores, em relação aos limites estabelecidos, pode-se observar que houve diferença. Em geral, nas análises das tendências médias (Figura 1a), os pesquisadores tendem a superestimar os valores médios de matiz.

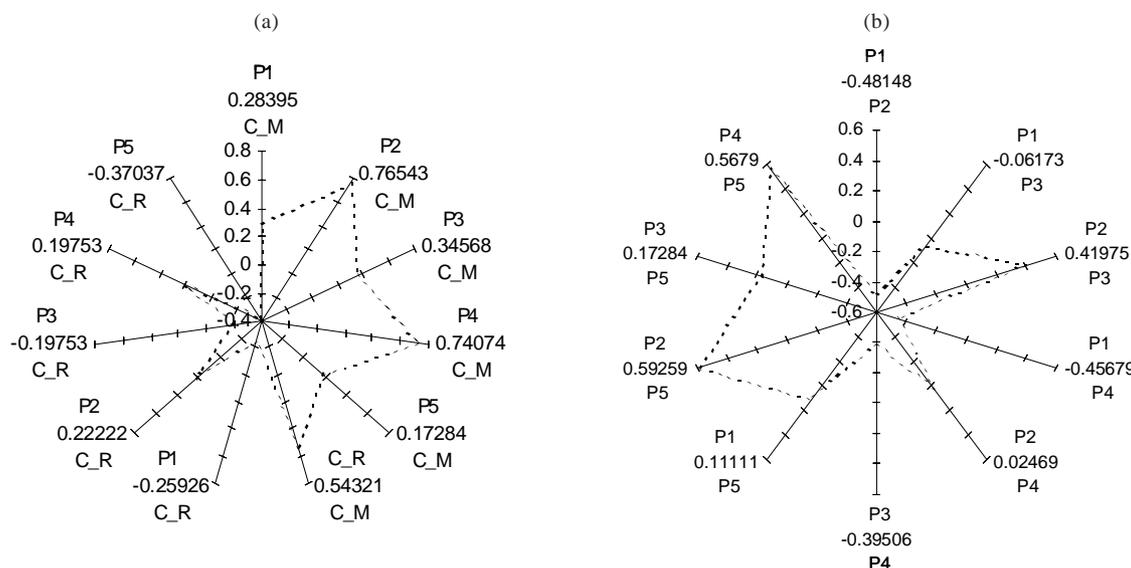


Figura 1. Tendências médias existentes entre as determinações do valor de matiz para amostras secas. Cada eixo refere-se a uma comparação e o seu valor é apresentado entre as siglas. Valores negativos subestimam e valores positivos superestimam as determinações de matiz na escala ordenada. (a) comparação entre as medições feitas por pesquisadores e pelo colorímetro. (b) comparação entre as medidas feitas apenas por pesquisadores.

Segundo Cooper (1990), conforme o número limitado de padrões da carta de Munsell, existe uma tendência de os pesquisadores superestimarem o matiz. No caso, os pesquisadores supõem uma maior contribuição do amarelo no matiz da amostra.

Os limites estabelecidos a partir de valores rígidos permitem avaliar uma eventual tendência de os pesquisadores superestimarem os matizes contidos em intervalos da carta de Munsell. Atribuídos os valores rígidos na conversão dos limites, pode-se dizer que, quanto menores as diferenças médias entre as determinações da cor feita pelo pesquisador e pelo colorímetro, maior a tendência de o pesquisador superestimar o valor do matiz. Por outro lado, considerando as leituras convertidas em limites médios, quanto menor a diferença entre os pesquisadores e esta leitura, pode-se considerar que o pesquisador apresentou menor tendência em superestimar os valores de matiz. Neste caso, as menores diferenças indicam que o pesquisador determina o matiz, atribuindo-lhe o valor do padrão mais próximo encontrado na carta de Munsell.

Observa-se clara tendência de os pesquisadores superestimarem as determinações de cor (Figura 1a). Para toda comparação entre as determinações feitas por pesquisadores com determinações feitas pelo colorímetro, adotando o limite médio, houve tendência de os pesquisadores superestimarem este valor. Entre as comparações, um típico exemplo desta constatação é a comparação de P2 com as leituras de cor determinadas pelo colorímetro. Tanto para a determinação do matiz úmido como seco, essa medida apresenta tendências em superestimar os limites rígidos e médios, confirmando a constatação de Cooper (1990). De acordo com os limites de variação de matiz estabelecidos em Embrapa (1999) para classificação de solos, essa superestimativa resultaria em erros na classificação.

Diferentes tendências médias entre as determinações do matiz evidenciam grandes possibilidades de ocorrerem erros na classificação. Sendo a cor um importante atributo utilizado para distinguir solos, faz-se necessário que métodos mais precisos na avaliação sejam buscados, uma vez considerada a subjetividade atribuída à interpretação do olho humano. Portanto, devem ser buscados métodos que utilizem equipamentos precisos e exatos em determinar a cor. Podem ser tomados, como exemplo, os métodos empregados em análises de rotina nos laboratórios que utilizam equipamentos para determinar atributos do solo pelas análises químicas e granulométricas. Da mesma forma que os demais atributos, a cor tem sua importância no estudo dos solos, daí a necessidade de ser determinado com exatidão. O fato de a determinação da cor ser realizada em laboratório vai de encontro às análises de solo tradicionais, que também são concordantes com as de Kelly & Judd (1976).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Alcançados os objetivos deste trabalho, é rejeitada a hipótese de que a classificação de solos não é influenciada pela averiguada falta de “intercalibração” entre pedólogos, quando estes determinam a cor do solo. O método proposto aborda a utilização de um conjunto de amostras de coloração variada para averiguar a habilidade de pedólogos experientes na caracterização do matiz, porém não trata de forma isolada as características particulares de cada amostra para o sucesso, ou ausência dele, na determinação da cor.

Seja influenciada por causas psicofísicas ou adaptativas dos pesquisadores, a precisão na determinação da cor do solo pode ainda ser analisada diante da característica da amostra. Por exemplo, mesmo que a opção futura seja substituir o método atual de determinação da cor do solo por um método preciso, automatizado e baseado em medições físicas intercalibradas, ainda é relevante saber em qual região espectral da variação do matiz ocorre maior ou menor eficiência por parte dos pesquisadores ou, ainda, qual o impacto do croma na determinação do matiz, já que a pureza da cor (expressão da cor) diminui com a ocorrência de valores baixos de croma, situação em que passam a predominar “tons pastéis” (Lillesand & Kiefer, 1994) e é esperado o aumento do grau de dificuldade do perito em determinar o matiz da amostra de solo. Tais informações mostram que cuidados devem ser tomados quando o método convencional é utilizado.

Mesmo não sendo o principal enfoque deste trabalho, uma análise da variação do valor de IP em função dos valores de matiz e croma das amostras indicou que o grupo de pedólogos que colaborou com este trabalho obteve sucesso em fazê-lo para o caso em que o matiz (medido com o colorímetro) apresentou-se entre 2,0 e 2,5YR, bem como insucesso para o caso em que o matiz variou de 5,3 a 9,2 YR (Figura 2). Diferentemente do esperado, o valor do croma não influenciou sistematicamente a determinação do matiz das amostras. Nenhum padrão de relacionamento entre croma e IP foi notado, embora seja necessário enfatizar que o conjunto de amostras apresentou pequena dispersão de valores de croma, não constituindo a situação ideal para essa análise.

O fato de as amostras com matizes mais próximos à cor vermelha proporcionarem maior precisão aos peritos pode ser atribuído a dois fatores. O primeiro está relacionado com o estudo do físico Maxell, abordado em Guyton (1998), que relata o fato de o olho humano possuir maior resolução espectral na região do vermelho, cujo significado prático é uma maior capacidade em distinguir pequenas variações espectrais nessa região, o que permite ao observador separar objetos com respostas espectrais próximas. Tal característica é aproveitada em estudos de

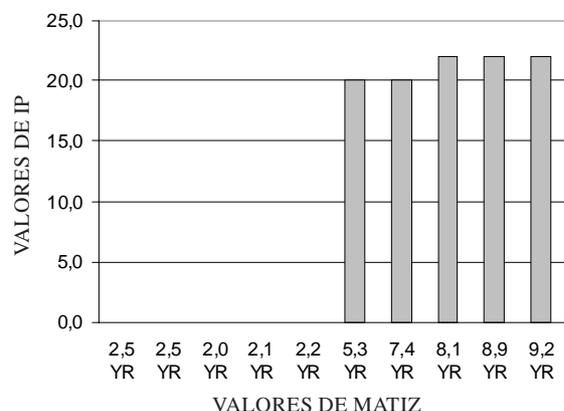


Figura 2. Cinco casos extremos de valores de IP relacionados com valores de matiz observados no conjunto de amostras de solos. Valores de IP ocorridos no intervalo de matiz entre 2,0 e 2,5YR (IP igual a 0) e matiz entre 5,3 e 9,2YR (IP entre 20 e 22).

interpretação visual de imagens digitais, quando um filtro vermelho é associado à resposta espectral do alvo de interesse, possibilitando que variações de tonalidade sejam mais bem percebidas pelo intérprete na separação de alvos de interesse, dada a maior sensibilidade que o olho humano apresenta na região espectral do vermelho. Uma segunda hipótese está fundamentada na maior familiaridade que os pedólogos possuem em realizar a determinação da cor em amostras com essa variação de coloração, já que solos com elevados teores de óxidos de Fe na forma de hematita são predominantes em regiões tropicais, sobretudo, nas regiões em que atuam os pedólogos colaboradores deste trabalho.

Em uma análise da viabilidade de utilizar um colorímetro para determinar a cor do solo com objetivo de eliminar a subjetividade presente no método convencional, é importante citar que o procedimento de uso não está restrito apenas às condições de laboratório. Sua operacionalidade em campo, dadas as características de porte, peso e forma, é plenamente adequada às necessidades dos levantamentos de campo. No aspecto econômico, o investimento para aquisição e manutenção do equipamento também é adequado à realidade dos laboratórios de análise de solos. Com um tempo de medição de três segundos, inclusa a impressão do valor medido, um único equipamento pode atender a grande demanda por análises colorimétricas de solos.

Diferentemente dos métodos de análise tradicionais de atributos do solo, a determinação da cor via colorímetro depende apenas da capacidade de interpretação física. Um equipamento calibrado apresentará sempre a mesma resposta para um mesmo estímulo físico. No caso desta abordagem, significa que o resultado da interação entre uma

fonte de luz, própria do equipamento, e uma amostra de solo resultará sempre no mesmo valor para sucessivas medições. Procedimentos analíticos realizados por laboratório de análise para a determinação de atributos como matéria orgânica, CTC, pH, Fe₂O₃ e outros, dependem do tratamento prévio de amostras com reagentes ou de procedimentos para determinar peso, volume ou densidade das amostras. Essas etapas podem ser eventuais fontes de erro no resultado final das análises. Portanto, não se garante que análises sucessivas em uma mesma amostra terão como resultado sempre o mesmo valor para determinado atributo (Quaggio et al., 1994; Cantarella & Abreu 2001). Assim, o efeito desejado de eliminar a imprecisão dos resultados de determinação da cor pode ser atingido com vantagem em relação aos demais métodos de análise de solos em laboratório.

CONCLUSÕES

1. Foi possível avaliar estatisticamente que os pesquisadores deste trabalho dispõem de treinamento em avaliar o matiz das amostras.
2. A separação das determinações de cor em grupos pela análise "Cluster" demonstrou que existem afinidades e disparidades entre as determinações feitas por pesquisadores e pelo colorímetro.
3. Houve concordância entre todas as determinações de cor, para uma mesma amostra, somente em 8,75 % para o matiz das amostras úmidas e 17,5 % para o matiz das amostras secas.
4. A maior divergência consistiu em duas avaliações diferentes em 2,5 pontos na escala Munsell para uma mesma amostra entre todas as determinações de matiz.
5. Em média, os pesquisadores superestimaram o matiz das determinações em Munsell.
6. Foram detectadas divergências que podem resultar em erros na classificação de solos, razão por que medidas com o colorímetro devem substituir as leituras de cor feitas com a carta de Munsell com vistas de se obter determinações exatas da cor do solo.

AGRADECIMENTO

À FAPESP, pelo financiamento do projeto de pesquisa.

LITERATURA CITADA

- BARRÓN, V. & TORRENT, J. Use of the Kubelka-Munk theory to study the influence of iron oxides on soil colour. *J. Soil Sci.*, 37:499-510, 1986.

- BIGHAM, M.F. & CIOLKOSZ, E.J. Soil color. Madison, Soil Science Society of America, 1993. 159p. (Special Publication, 31)
- BILLMEYER, F.W. & SALTZMAN, M. Principles of color and technology. 2.ed. New York: John Wiley, 1981. 89p.
- CANTARELLA, H. & ABREU, C.A. Avaliação do desempenho dos laboratórios no ano de 2000. In: REUNIÃO ANUAL DO PROGRAMA DE CONTROLE DE QUALIDADE DE LABORATÓRIOS COM O SISTEMA IAC DE ANÁLISE DE SOLO, 16., Campinas, 2001, Anais. Campinas, IAC, 2001. p1-65.
- CHAMBERLIN, G.J. & CHAMBERLIN, D.G. Colour: its measurements, computation and application. Philadelphia, Heyden and Sons, 1980. p.7-45.
- COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE. Proceedings of the eight session. Cambridge, Bureau Central de la CIE, 1931. 326p.
- COOPER, T.H. Development of students' abilities to match soil color to Munsell color chips. J. Agron. Educ., 19:141-144, 1990.
- COSTA, L.M. Surface soil color and reflectance as related to physico-chemical and mineralogical soil properties. Columbia, University of Missouri, 1979. 154p. (Tese de Doutorado)
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Critério para distinção de classes de solos e de fases de unidades de mapeamento; normas em uso pelo SNLCS. Rio de Janeiro, 1988. 67p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: Embrapa Produção de informação, Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 1999. 412p.
- 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.
- GUYTON, A.C. Fisiologia humana. Rio de Janeiro, Guanabara, 1998. 564p.
- KELLY, K.L. & JUDD, D.B. Color: universal language and dictionary of names. Washington, Natural Bureau of Standart. 1976. 189p. (Special Publication, 440)
- LILLESAND, T.M. & KIEFER, R.W. Remote sensing and image interpretation. 3.ed. New York, Wiley, 1994. 750p.
- MADEIRA NETTO, J.A.; BÉDIDI, A. & CERVELLE, B. 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 Brasília, Brazil. Intern. J. Remote Sens., 18:2835-2852, 1997.
- MUNSELL SOIL COLOR COMPANY. Munsell soil color charts, Baltimore, 1975. 1v. 117p.
- NAGANO, T. & NAKASHIMA, S. Study of colors and degrees of weathering of granitic rocks by visible diffuse reflectance spectroscopy. Geochem. J., 23:75-83, 1989.
- NANNI, M.R. Dados radiométricos obtidos em laboratório e no nível orbital na caracterização e mapeamento de solos. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2000, 365p. (Tese de Doutorado)
- POST, D.F.; BRYANT, R.B.; BATCHILY, A.K. & HUETE, A.R. Correlations between field and laboratory measurements of soil color. Madison, Soil Science Society of Agronomy, 1993. p.35-49. (SSSA Special Publication, 31)
- QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H. & RAIJ, B. van. Evolution of analytical quality of soil testing laboratories integrated in a sample exchange program. Comm. Soil Sci. Plant Anal., 25:1007-1014, 1994.
- SÁNCHEZ-MARAÑÓN, M.; DELGADO, G.; DELGADO, R.; PÉREZ, M.M. & MELGOSA, M. Spectroradiometric and visual color measurements of disturbed and undisturbed soil samples. Soil Sci., 160:291-303, 1995.
- STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE - SAS/STAT. User's guide; version 6. 4.ed. Cary. 1989. 2v.
- SOIL SURVEY STAFF. Soil survey manual. Washington, USDA, 1988. 442p. (USDA Handbook, 18)
- TORRENT, J. & BARRÓN, V. Laboratory measurement of soil color: theory and practice. Soil color. Madison: Soil Science Society of Agronomy, 1993. p.21-33. (SSSA, Special Publication, 31)

