

JOÃO BATISTA DONIZETI CORRÊA

VARIABILIDADE ESPACIAL DE CARACTERÍSTICAS E
PROPRIEDADES FÍSICAS DE LATOSSOLO ROXO DO
MUNICÍPIO DE LAVRAS - MG.

Dissertação apresentada à Escola Superior
de Agricultura de Lavras, como parte das
exigências do curso de mestrado em
Agronomia, área de concentração Solos
e Nutrição de Plantas, para obtenção do
grau de MESTRE.

ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA DE LAVRAS

LAVRAS - MINAS GERAIS

1 9 8 6

VARIABILIDADE ESPACIAL DE CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES FÍSICAS
DE LATOSSOLO ROXO DO MUNICÍPIO DE LAVRAS-MG.

APROVADA:



Prof. MOZART MARTINS FERREIRA
Orientador



Prof. NILTON CURI



Prof. LUIZ HENRIQUE DE AQUINO

A Deus, por ter me concedido a vida e a oportunidade de realizar este trabalho.

A memória de Jeziel Cardoso Freire, pelo incentivo, amizade e exemplo de vida e profissionalismo durante o nosso convívio.

À minha tia Luiza e ao primo João Batista, pelo apoio e incentivo na minha formação profissional.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Escola Superior de Agricultura de Lavras (ESAL), e em especial ao Departamento de Ciência do Solo, pela oportunidade oferecida para realização do curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa de estudos concedida para a realização do curso.

À memória do professor Jeziel Cardoso Freire, pela orientação do trabalho, amizade e ensinamentos.

Ao professor Nilton Curi, Luiz Henrique de Aquino e Mozart Martins Ferreira, pelo apoio, amizade, críticas, dúvidas e sugestões.

Ao professor Geraldo Aparecido de Aquino Guedes, pela amizade, honestidade e experiências transmitidas.

A todos os professores e funcionários do Departamento de Ciência do Solo, pela contribuição valiosa na minha formação técnico-científica.

Aos professores Paulo César Lima e Ruben Delly Veiga, pela orientação na análise estatística.

Um agradecimento especial aos funcionários Elaise e Jairo, pela amizade e colaboração.

À Biblioteca Central da ESAL, em especial ao Bibliotecário Adriano Serrano, pela revisão das referências bibliográficas:

À Maria Auxiliadora de Resende Braga pela datilografia e amizade durante a realização do curso.

Aos amigos, colegas de curso, pela amizade e convívio, especialmente Mathilde Aparecida Bertoldo, Adauto Fernandes Barros Fernandes, Luiz Antonio Val, Maria do Socorro Lemos, Marco Antonio de Carvalho, José Marques Júnior e Guilherme Luiz Naves Alves.

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO.....	01
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	04
2.1. Amostragem do material de solo.....	04
2.2. Análise estatística aplicada a solos.....	05
2.3. Variabilidade espacial de parâmetros físicos.....	06
2.4. Considerações finais.....	21
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	23
3.1. Localização e clima do Município.....	23
3.2. Características da unidade taxonômica.....	23
3.3. Método de amostragem.....	24
3.4. Preparo das amostras.....	24
3.5. Métodos de análise dos parâmetros físicos.....	26
3.5.1. Densidade do solo (Ds).....	26
3.5.2. Densidade de partículas (Dp).....	26
3.5.3. Análise textural.....	26
3.5.4. Argila dispersa em água.....	27
3.5.5. Água retida a 0,01 e 1,5 MPa.....	27
3.5.6. Estabilidade de agregados em água.....	27
3.5.7. Limite de Liquidez (LL) e Limite de Plasticidade (LP).....	27

	Página
3.5.8. Porosidade total.....	28
3.5.9. Macro e microporosidade.....	28
3.6. Métodos estatísticos.....	28
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
4.1. Variabilidade espacial das densidades do solo e de partículas.....	30
4.2. Variabilidade espacial da textura do solo.....	33
4.2.1. Percentagem de areia total.....	33
4.2.2. Percentagem de argila.....	35
4.2.3. Percentagem de silte.....	36
4.3. Variabilidade espacial da argila dispersa em água..	37
4.4. Variabilidade espacial da estabilidade de agregados	39
4.5. Variabilidade espacial na porosidade do solo.....	41
4.6. Variabilidade espacial na retenção de água.....	44
4.6.1. Retenção de água a 0,01 MPa.....	44
4.6.2. Retenção de água a 1,5 MPa.....	46
4.7. Variabilidade espacial da consistência do solo.....	47
4.7.1. Limite de Liquidez (LL).....	47
4.7.2. Limite de Plasticidade (LP).....	49
4.8. Influência da posição da faixa de amostragem em relação à paisagem na variabilidade dos parâmetros físicos.....	50
4.8.1. Densidade do solo e de partículas.....	50
4.8.2. Textura do solo e argila dispersa em água...	50
4.8.3. Estabilidade de agregados.....	53
4.8.4. Porosidade total e distribuição de poros por tamanho	55

	Página
4.8.5. Retenção de água a 0,01 e 1,5 MPa.....	55
4.8.6. Limite de Liquidez e Plasticidade.....	57
4.9. Discussão final.....	59
5. CONCLUSÕES.....	60
6. RESUMO.....	62
7. SUMMARY.....	64
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	66
APÊNDICE.....	81

LISTA DE QUADROS

Quadro		Página
1	Número de amostras necessárias para estimar a densidade do solo e densidade de partículas a três coeficientes de confiança para os horizontes Ap e Bw de Latossolo Roxo.....	31
2	Número de amostras necessárias para estimar as percentagens de argila, areia total, silte e argila dispersa em água, a três coeficientes de confiança, para os horizontes Ap e Bw, de Latossolo Roxo.....	34
3	Valores de pH em água, pH em KCl 1N e Δ pH encontrados nos horizontes Ap e Bw de LR. (Média de 57 repetições).....	38
4	Número de amostras necessárias para estimar a estabilidade de agregados em água, a três coeficientes de confiança para os horizontes Ap e Bw de Latossolo Roxo.....	40
5	Número de amostras necessárias para estimar a porosidade total, macroporos e microporos, a três coeficientes de confiança, para os horizontes Ap e Bw de Latossolo Roxo.....	42

Quadro

Página

6	Número de amostras necessárias para estimar a retenção média de água a 0,01 e 1,5 MPa, a três coeficientes de confiança, para os horizontes Ap e Bw, de Latossolo Roxo.....	45
7	Número de amostras necessárias para estimar a consistência do solo (LL e LP), a três coeficientes de confiança, para os horizontes Ap e Bw, de Latossolo Roxo.....	48
8	Valores médios para densidade do solo e densidade de partículas nas três posições amostradas de LR.....	51
9	Valores médios para textura do solo e argila dispersa em água nas três posições amostradas de LR.....	52
10	Valores médios para estabilidade de agregados em água nas posições amostradas de LR.....	54
11	Valores médios para porosidade do solo nas três posições amostradas para LR.....	56
12	Valores médios para retenção de água a 0,01 e 1,5 MPa nas três posições amostradas de LR.....	57
13	Valores médios para Limite de Liquidez e Plasticidade nas posições amostradas de LR.....	58

LISTA DE FIGURA

Figura

Página

1 Representação da área de Latossolo Roxo estudada 25

1. INTRODUÇÃO

A variabilidade do solo é um dos fatores que pode comprometer os resultados de pesquisa, a eficiência de um projeto de irrigação e a produção das culturas. Entretanto, somente nos últimos vinte anos os pesquisadores vêm dando maior importância a este aspecto dentro da ciência do solo.

Por que estudar a variabilidade do solo? Basicamente, a razão dos estudos é para delimitar unidades que contenham menor variação do que a população de solos como um todo. Do mesmo modo, o conhecimento da variabilidade dos parâmetros físicos, químicos e mineralógicos, torna-se de fundamental importância para um manejo eficiente do solo em todos os aspectos.

O sistema solo é bastante complexo e possui diversas propriedades com diferentes funções. Para WARRICK & NIELSEN (91), as propriedades e características físicas do solo desempenham importante papel, senão o principal dentre as propriedades do solo. Portanto, as suas variabilidades devem ser bem estimadas, visando minimizar os erros na amostragem e manejo do solo.

A variabilidade espacial pode ser agregada em duas categorias: variabilidade sistemática e variabilidade ao acaso. A variabilidade sistemática é uma mudança gradual ou acentuada nas propriedades do solo, como uma função da paisagem, aspectos geomorfológicos, fatores de formação e/ou do próprio manejo do solo pelo homem, Jenny (1941) e Belobrov (1976), citados por WILDING & DREES (94). Associadas com a variabilidade ao acaso estão as mudanças nas propriedades do solo que não podem ser relacionadas a uma causa conhecida, podendo ser uma decorrência da litologia diferencial, intensidade diferencial do intemperismo, erosão e adição diferenciais, fatores biológicos, hidrologia diferencial, erros analíticos e de amostragem, etc, WILDING & DREES (94).

A avaliação das características e propriedades físicas têm mostrado que a identificação destas não têm sido bem representativa devido a grande variabilidade espacial existente nos solos, tanto no sentido horizontal como no vertical, mesmo quando se trata de uma mesma unidade taxonômica. Assim sendo, há necessidade de uma melhor caracterização da variabilidade espacial, dentro de unidades taxonômicas, para melhor representar as propriedades e características físicas do solo e, ao mesmo tempo, definir um número de amostras que seja representativo dentro de uma amplitude de variação confiável.

Poucos são os trabalhos desenvolvidos na região tropical para caracterizar a variabilidade espacial de parâmetros físicos, bem como estimar um número de amostras que seja representativo nas diversas unidades taxonômicas, destacando-se, no Brasil, os traba

lhos de PINTO et alii (61), OLIVEIRA & MENK (57), LIBARDI et alii (46) e CATANI & GALLO (25).

Diante da pouca informação no que diz respeito à variabilidade espacial dos parâmetros físicos nos solos brasileiros, os objetivos desta pesquisa foram:

1. Identificar a variabilidade espacial de parâmetros físicos nos horizontes Ap e Bw de Latossolo Roxo.

2. Determinar o número de amostras que sejam representativas para os parâmetros físicos estudados de Latossolo Roxo.

3. Verificar a influência da posição das faixas de amostragem em relação a paisagem nos parâmetros estudados.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Grande parte dos estudos em ciência do solo relacionam-se com a caracterização da fertilidade, física, química, mineralogia, conservação e da microbiologia do solo. Em alguns países como Estados Unidos, Inglaterra e Canadá, os cientistas do solo têm-se preocupado em caracterizar a variabilidade espacial dos solos, para melhor representar as suas características. Entretanto, nos países tropicais pouca ênfase têm sido dada a esta importante variável. No Brasil, por exemplo, são poucos os estudos que dimensionam a variabilidade espacial dentro de uma unidade de solo e entre unidades taxonômicas, com relação aos principais parâmetros do solo.

2.1. Amostragem do material de solo

A amostragem do pedomaterial, muitas vezes constitui na maior fonte de erro, quando se pretende analisar suas características. Se o número de amostras é pequeno, não se pode afirmar com segurança que estes resultados sejam representativos. Já a retirada de um grande número de amostras demanda maior gasto de tempo, trabalho e custo.

O tamanho e a uniformidade da área a ser amostrada são pontos fundamentais na amostragem. RAIJ (65), PRATT (62), CATANI & GALLO (25), CATANI & JACINTO (26) e SANCHEZ (74) afirmam que as áreas a serem amostradas devem ser uniformes quanto à textura, cor, topografia e uso anterior e que não devem exceder de 10 a 20 ha.

A amostragem consiste em retirar de uma população alguns indivíduos que a representem como um todo. Em solos, são usados basicamente dois sistemas de amostragem: amostragem ao acaso ou clássica e amostragem sistemática. A amostragem ao acaso ou clássica é aquela em que n amostras são retiradas de uma população, de maneira que cada indivíduo tenha chances iguais de ser amostrado, e cada amostra tenha também a mesma possibilidade de ser selecionada, porém sem seguir um critério definido. Já a amostragem sistemática consiste em estabelecer-se planos de amostragem seguindo vários critérios (linhas, rede, triângulos, círculos, etc) com distâncias pré-fixadas entre uma amostra e outra. Em se tratando de solos, a amostragem sistemática é mais rigorosa, pois não há influência do amostrador e todos os pontos têm a mesma probabilidade de serem amostrados, devido a uma melhor cobertura da área amostrada, PETERSEN & CALVIN (60), WILDING & DREES (94) e SNEDECOR (78).

2.2. Análise estatística aplicada a solos

A Estatística se faz necessária na maioria dos trabalhos de variabilidade relacionados à ciência do solo. Basicamente, a teoria clássica da estatística é usada na maioria deles, ou seja,

os dados são analisados através da média, desvio padrão, variância e coeficientes de variação. [A teoria clássica tem sido utilizada com bastante freqüência no estudo da variabilidade espacial do solo, principalmente para se estudar parâmetros do solo que se distribuam segundo a lei normal e as observações sejam independentes.]

2. [Já para os parâmetros relacionados ao movimento de água no solo, na maioria das vezes, estes não têm distribuição normal, o que também contribui para elevar a variância e, conseqüentemente, aumentar o número de amostras representativas. Nestes casos, o uso da geostatística é indispensável, por considerar a dependência entre os valores observados dentro de uma determinada área.] Por esta razão, estabelecem-se os semivariogramas, covariogramas e autocorrelogramas, que minimizam a dependência entre uma amostra e outra, VIEIRA et alii (87), REICHARDT (69) e BIGGAR & NIELSEN (11).

2.3. Variabilidade espacial de parâmetros físicos

A variabilidade espacial dos solos surge desde a formação dos mesmos e continua após o solo atingir o seu estado de equilíbrio dinâmico. Este fato ocorre porque o próprio material de origem não é uniforme em toda a sua extensão, existindo diferenças em relação a dureza, composição química, cristalização, exposição, posição na paisagem, além da atuação diferencial do bioclima. Juntos ou em separado, estes fatores vão fazer com que nem todo o material (rocha e/ou sedimento) seja intemperizado de uma maneira homogênea e contínua.

Nas regiões temperadas, onde a atuação do bioclima é menos ativa em determinada época do ano, o processo de intemperismo é, por consequência, menos intenso, o que, de maneira geral, induz a uma maior variabilidade espacial de seus solos. Vários pesquisadores, entre os quais CLINE et alii (30), REED & RIGNEY (67), THORNBURN & LARSEN (81), McCORMACK & WILDING (51), MADER (49), RIGNEY & REED (71), BALL & WILLIAM (5), BECKETT & WEBSTER (10), HAMMOND et alii (42), MAUSBACH et alii (50), JACOB & KLUTTE (44) e NORTCLIFF (55), estudaram a variabilidade espacial de alguns tipos de solos e estabeleceram o número ideal de amostras para estimar a média de alguns parâmetros físicos e químicos do solo, dentro de certos limites de confiança.

Devido às várias combinações a que estão sujeitos os elementos e às constantes reações químicas que ocorrem nos solos, as características químicas apresentam uma maior variação do que as físicas e, conseqüentemente, necessitam de um maior número de amostras para estimá-las dentro de uma mesma área, o que é confirmado pelos autores acima mencionados.

Já para a região tropical existe uma maior atuação do bioclima e, por isso, ocorre uma maior taxa de intemperismo, promovendo maior desenvolvimento dos solos. Entretanto, poucos são os trabalhos desenvolvidos para determinar a variabilidade espacial destes solos, tanto para caracterização física como química. Poucas são as referências sobre a variabilidade espacial dos solos na região tropical, destacando-se, no Brasil, os trabalhos de OLIVEIRA & MENK (57), CATANI & GALLO (25), PINTO et alii (61), CADIMA et

alii (17), BARRETO et alii (7), SANTANA et alii (75), PREZOTTO (63), SANTOS & VASCONCELOS (76), VASCONCELOS & SANTOS (84) e LIBARDI et alii (46) além de CHAN (27) na Austrália e BABALOLA (3) na Nigéria.

A maioria dos trabalhos dá ênfase aos parâmetros relacionados à água do solo, densidade do solo e textura, sendo pouco enfatizados os demais parâmetros físicos do solo. Estudos efetuados por CARVALHO et alii (22), em um campo dividido em lotes de 0,01ha, na unidade taxonômica Aeric Calciaquoll (Mollissolo), não mostraram diferenças significativas nos dados para a variabilidade espacial horizontal, mas encontraram diferenças significativas para a condutividade hidráulica nas diferentes profundidades estudadas. Já BRESLER et alii (16), trabalhando com a variabilidade do solo para determinar o efeito da textura e salinidade na condutividade hidráulica saturada de um Rhodoxeralf (Alfissolo) em uma área de 0,8 ha, coletaram material do solo em 30 pontos da área e 4 profundidades: 0-30, 30-60, 60-90 e 90-120 cm. Os autores concluíram que a salinidade do solo contribui com 10 a 15% da variabilidade na condutividade Ks. Considerando a textura como percentagem de areia, esta explicou de 24 a 45% da variação na Ks e a interação entre elas causou uma variação de 10 a 25%. Menos de 30 a 50% da variabilidade da Ks não foram explicadas nem pela salinidade nem pela textura ou interação entre elas. Segundo aqueles autores, estes resultados podem ser generalizados para outros estudos com diferentes valores de variância e covariância da salinidade e textura do solo, o que parece bastante arriscado, pois à medida em que há alteração na variabilidade destes parâmetros, ocorrem mudanças na variabili-

dade da condutividade hidráulica.

A classificação detalhada de solos permite uma utilização mais racional dos trabalhos de pesquisa na extrapolação de resultados. Trabalhando com dois solos franco siltosos (Mollic Hapludalf, fine silty, mixed, mesic e Typic Argiudoll, fine silty, mixed, mesic) (Alfissolo e Mollissolo), BAKER et alii (4) estudaram a variabilidade da condutividade hidráulica em 12 pontos de cada solo, sendo que nos horizontes B_{22t} e B_{31t} , os autores não observaram diferenças marcantes entre os dois solos, nem entre pontos dentro de uma mesma área de solo. Os autores atribuíram este fato aos rigorosos critérios observados na classificação destes solos, pela Soil Taxonomy, quanto às características e propriedades físicas. Ainda segundo os autores, quando o levantamento e a classificação são detalhados a nível de série, os resultados da condutividade hidráulica podem ser extrapolados para outras áreas correlatas.

A generalização na extrapolação de resultados em solos classificados e mapeados com menor critério, pode induzir a sérios erros na avaliação de parâmetros físicos relacionados à água no solo. Isto ocorre porque pequenas variações na textura e porosidade podem induzir grandes variações na infiltração, condutividade hidráulica e fluxo de água no solo. Estudos efetuados por STOCKTON & WARRICK (80) em solos franco argilosos, visando determinar a variabilidade na condutividade hidráulica, evidenciaram uma variação de 20 a 30% em torno da média. Os autores chamam a atenção para o uso de valores médios, salientando que estes valores só devem ser utilizados quando bem determinados devido às grandes variações a

que estão sujeitos.

Resultados semelhantes foram encontrados por SISSON & WIE RENGA (77), que trabalharam com a infiltração de água em um Typic Torrifluent (solo Aluvial). Observaram que é necessário um grande número de amostras para estimar a condutividade hidráulica média, devido à sua grande variação (20 a 25%) em torno da média. Os autores não recomendam generalizações quanto a extrapolação destes resultados. Trabalhando com um PV (Podzólico Vermelho-Amarelo) no Brasil, PINTO et alii (61) verificaram coeficientes de variação acima de 195% para a condutividade hidráulica.

Nem sempre o aspecto visual da homogeneidade do solo reflete a uniformidade quanto aos seus parâmetros físicos e químicos, quando estes são analisados quantitativa e qualitativamente. Segundo AHUJA et alii (1); as determinações dos valores médios das propriedades hidráulicas do solo, normalmente requerem um número excessivamente grande de amostras, para estimar um valor médio aceitável em determinada área. Tais autores sugerem que métodos simples sejam usados para avaliação e classificação das propriedades hidrológicas do solo.

O fluxo de água no solo depende diretamente da variabilidade espacial das propriedades físicas e salinidade dos solos, segundo BRESLER (15) e BRESLER et alii (16), sendo que em solos mais homogêneos esta variação é menor, porém ela não deixa de existir. NIELSEN et alii (54), trabalhando com uma área de 150 ha de solo aluvial na Califórnia (USA), observaram que as áreas de aparência uniforme, quando analisadas, manifestaram grande variação nos valores

de condutividade hidráulica. As variações na textura, densidade de partículas e umidade foram muito menores, porém não recomendam predições sem dados concretos. Muitas vezes as áreas aparentemente uniformes podem apresentar uma grande variação, seja qual for o parâmetro analisado. É necessário uma correlação entre os parâmetros da água no solo, a densidade aparente e o tamanho de partículas. Isto mostra que as medidas feitas durante os levantamentos de solos têm validade limitada para o conhecimento da variação na retenção de água no solo. Ainda, segundo os autores, não deve haver um estudo isolado da condutividade hidráulica em relação às demais propriedades físicas do solo, devido a grande dependência que existe entre elas.

Obviamente, se existe variabilidade nas propriedades físicas, as propriedades hidráulicas serão alteradas e, conseqüentemente, serão alteradas também as propriedades químicas do solo, o que irá afetar diretamente o desenvolvimento das culturas. Um estudo neste sentido foi efetuado por BRESLER et alii (17), segundo o qual os autores correlacionaram o efeito da variabilidade espacial da condutividade hidráulica com a produção da cultura do amendoim (Arachis hipogaea L.), numa área de 0,8 ha de um Rhodoxeralf (Alfissolo). Os autores verificaram a variabilidade da condutividade hidráulica durante o ciclo vegetativo e na produção da cultura. Puderam concluir que a variabilidade na condutividade hidráulica influenciou diretamente a produção, e que, para um melhor entendimento e recomendação de amostragem, a análise econômica deve ser levada em consideração.

Trabalhando com uma área de 150 ha na Califórnia (USA), BIGGAR & NIELSEN (11) demarcaram 20 pontos representativos em um solo aluvial e estudaram o coeficiente de difusão da água no solo em seis profundidades. Os autores concluíram que seriam necessárias cerca de 1000 amostras para estimar este parâmetro para aquela unidade de solo. Os autores admitem que pode haver erros substanciais na estimativa do fluxo de água e na quantidade de soluto que transloca no perfil. Concluíram, também, que ambos os parâmetros dependem diretamente da distribuição e velocidade da água nos poros e, concomitantemente, da variabilidade espacial, tanto horizontal como vertical dentro do perfil. VAN DE POL et alii (83) chegaram a esta mesma conclusão quando estudaram o efeito da variabilidade no movimento de solutos no solo, porém para outro tipo de solo.

A variabilidade acentuada do fluxo de água no solo foi verificada por WARRICK et alii (90). Para as condições em que trabalharam, os autores concluíram que seriam necessárias de 60 a 100 amostras para representar o fluxo de água no solo. Os mesmos sugerem duas possibilidades óbvias com relação à amostragem do solo: 1. A amostragem deve ser estratificada e significativa da área, 2. as determinações analíticas devem ser feita com um nível de exatidão mais rigoroso. Ainda segundo os autores a estratificação reduz a variação dos dados observados e o conhecimento de cada caso isolado é a melhor maneira de amostrar determinada área, pois a extrapolação de resultados nem sempre funciona.

As propriedades físicas não condicionam apenas a variabilidade do movimento da água no solo, mas também o movimento de gases. FOLORUNSO & ROLSTON (35) verificaram a estrutura e magnitude da va

riabilidade espacial do fluxo de N_2O e $N_2O + N_2$, em 12 transversais em um Typic Xerorthent (Entissolo). Os autores concluíram que o fluxo dos gases tem distribuição normal e exibe grande variabilidade espacial, apresentando coeficiente de variação acima de 300%, sendo esta variação altamente dependente das propriedades físicas do solo. Ainda, segundo os autores, seriam necessárias de 156 a 4.117 amostras para estimar o fluxo médio do $N_2O + N_2$ e 350 para o N_2O , considerando uma margem de erro de 10%.

A variabilidade espacial dos solos tem diferentes atribuições. Segundo CLAPP (29), a variabilidade espacial na umidade do solo pode ser atribuída a alguns fatores, entre os quais destacam-se, topografia, heterogeneidade do solo, variabilidade espacial na precipitação e vegetação. Segundo o autor, a variabilidade na umidade pode ser atribuída em grande parte à variabilidade do solo, que, por sua vez, depende dos demais fatores, sendo que a variabilidade chega a contribuir com 75% do desvio padrão total. BASCOMB & JARVIS (6) estudaram a variabilidade de uma unidade de mapeamento em três áreas no sul da Inglaterra e verificaram pequenas variações nos parâmetros físicos e químicos.

Existe grande controvérsia quanto ao número de amostras recomendadas para se estimar os principais parâmetros físicos a serem estudados. Isto porque os estudos são realizados em solos com características diferentes. Porém, quando se trata de um mesmo tipo de solo em locais diferentes, os resultados diferem entre si, quanto à variabilidade e número de amostras representativas. Trabalhando com 5 solos representativos de uma bacia hidrográfica, RO

GOWSKI (72) constatou que existe grande variabilidade entre as propriedades físicas dos solos, sendo necessárias de 50 a 100 amostras para se estimar a densidade e umidade do solo. Para a retenção de água a 1/3 e 15 bar o número de amostras pode ser bem menor.

Trabalhando com três Molissolos (1. Aeric Calciaquoll; 2. Udorthentic Haploboroll e 3. Udic Haploboroll), CASSEL & BAUER (23) amostraram 4 profundidades (30-61, 61-91, 91-122 e 122-152cm). Foram coletadas amostras em 192, 144 e 72 pontos para os solos 1, 2 e 3, respectivamente. Utilizando-se da estatística clássica, os autores determinaram o número ideal de amostras para representar a densidade do solo e a retenção de água a 15 bar. Considerando um coeficiente de confiança de 95%, os autores concluíram que seriam necessárias 1, 3 e 1 amostras para representar a densidade do solo e 3, 18 e 5 amostras, para a retenção de água a 15 bar, respectivamente, para os solos 1, 2 e 3. Estes números são bastante elevados, quando o coeficiente de confiança foi considerado de 97,5% para ambos os parâmetros. Os autores concluíram ainda, que o conhecimento da variabilidade espacial a vários coeficientes de confiança, possibilita ao pesquisador e/ou produtor conduzir o seu experimento ou cultura ciente das possibilidades de risco, principalmente quando se trata de culturas irrigadas.

Trabalhando com um Typic Torrifluvent (Solo Aluvial), em uma área de 85 ha no Arizona, GAJEM et alii (37) lançaram mão da geoestatística e determinaram quatro transversais de amostragem e para cada transversal 100 pontos foram demarcados; para cada um

destes 100 pontos foram retiradas amostras espaçadas de 2, 20 e 200 cm. Os seguintes parâmetros foram analisados: água retida a 0,1 e 15 bar, textura e umidade do solo. Pela análise dos resultados, os autores concluíram que são necessárias 6 amostras de material do solo para estimar a retenção média de água a 0,1 e 15 bar e 4 amostras para textura do solo. Os autores verificaram baixos valores para o coeficiente de variação, ficando entre 0,5 e 7,2%.

Normalmente a variabilidade dos parâmetros da água no solo é estudada usando-se a geoestatística como técnica de análise. Segundo NIELSEN et alii (54), VIEIRA et alii (86) e BIGGAR & NIELSEN (11), o uso da geoestatística permite uma maior precisão na determinação da média dos parâmetros da água no solo. Visando estudar a variabilidade espacial dos parâmetros da água no solo e comparar a sonda de neutrons com os tensiômetros, GREMINGER et alii (38) demarcaram várias transversais de 100 m, onde em linhas alternadas instalaram-se sondas de neutrons e tensiômetros a 1 m de distância um do outro. Usando a geoestatística, os autores concluíram que: para estimar com bastante precisão as características da água no solo, torna-se necessárias a instalação tanto das sondas de neutrons como dos tensiômetros a uma distância menor que 10 m.

Entretanto, Guma'a (1978), citado por VIEIRA et alii (86), afirma que a amostragem sistemática em rede representa melhor a variabilidade do solo, quando comparado com a amostragem em linhas, e que a teoria clássica é mais rigorosa e não necessita de um grande número de pontos amostrados.

Guma'a, citado por WARRICK & NIELSEN (93), considera as amostras independentes quanto a maioria dos parâmetros físicos. Segundo o autor, os parâmetros físicos têm distribuição normal, havendo grande variação quanto ao número de amostras para cada parâmetro. O autor recomenda que a amostragem seja representativa, cobrindo toda a área a ser estudada. Considerando uma variação de 15% em torno da média, o autor encontrou que 2, 61, 98, 110, 53 e 1300 amostras, seriam necessárias para representar bem a densidade do solo, água retida a 1/3, 15 bar, percentagem de argila, silte, areia e condutividade hidráulica, respectivamente. O autor sugere que não se generalizem as informações para não incorrer em sérios erros na avaliação da variabilidade dos solos.

A textura de um solo pode mudar de ponto para ponto, dependendo do material de origem, bioclima e posição do solo na paisagem. Para BECKETT & WEBSTER (10), a variabilidade do solo no sentido horizontal aumenta significativamente com o tamanho da área amostrada. Segundo os autores, pode-se afirmar que mais da metade da variância admissível no campo já está presente em cada m^2 de solo, podendo ela ser ainda maior, pois depende da regularidade do material de origem, atividade biológica e posição na paisagem. Segundo os autores, a percentagem de areia e de argila apresenta variabilidade semelhante, não sendo muito afetada pela direção horizontal de amostragem.

Estudando a variação em duas áreas praticamente uniformes, para determinar a variabilidade espacial para percentagem de areia e pH do horizonte B, CAMPBELL (19) coletou amostras de material do

solo a cada 10 m, em áreas de 400 x 600 m. O autor verificou grandes variações em relação à percentagem de areia entre uma área e outra, enquanto que para o pH não houve grandes variações. Usando a covariância e covariograma como técnica estatística, o autor comprovou que seriam necessárias 120 amostras para representar a percentagem de areia e apenas 2 amostras para o pH.

Um trabalho bastante abrangente sobre a variabilidade espacial de solos foi realizado por MAUSBACH et alii (50) nos Estados de Oregon, Idaho e Washington nos EUA. Eles trabalharam com várias ordens de solos (Aridissolos, Vertissolos, Mollissolos, Alfissolos, Ultissolos, Entissolos, Inceptissolos e Spodossolos). Além de determinar a variabilidade espacial para alguns parâmetros físicos (percentagem de areia, silte, argila e água retida a 15 atm), eles determinaram a variabilidade dos solos para alguns parâmetros químicos. Concluíram os autores que ocorreu variação para todos os parâmetros em todas as ordens estudadas. De uma maneira geral, os coeficientes de variação para os parâmetros físicos variaram de 9 a 51% para os horizontes estudados em cada ordem. O número de amostras para estimar os parâmetros físicos com uma margem de erro de 5% e a um coeficiente de confiança de 95% variou de 1 a 24 amostras. Concluíram os autores que a amostra deve ser representativa, e que o pedon deve ser amostrado no seu todo, pois as propriedades físicas e químicas apresentam grande variação vertical.

No Brasil poucos são os trabalhos desenvolvidos para avaliar a variabilidade dos parâmetros físicos do solo, destacando-se os trabalhos de PINTO et alii (61), OLIVEIRA & MENK (57) e LIBARDI

et alii (46). Trabalhando com uma área de 4 ha de um PV em Viçosa-MG, PINTO et alii (61) procederam à coleta de amostras seguindo um esquema de amostragem em três estágios, conforme sugerido por HAMMOND et alii (42). A área foi dividida em cinco subáreas, divididas em seções de 10 m de largura e estas subdivididas de 10 em 10m. Foram escolhidas três seções ao acaso e dentro de cada seção 2 pontos foram coletados, perfazendo um total de 30 pontos na área total. Em cada ponto as amostras de material do solo foram coletadas nas profundidades de: 0, 20, 40, 60 e 80 cm. Os parâmetros avaliados foram: percentagem de areia, silte e argila, densidade do solo e condutividade hidráulica. Os autores verificaram que o número de amostras necessárias para avaliar a percentagem média de areia considerando 10% de variação, aumenta da superfície até a profundidade de 80 cm. Os cálculos efetuados revelaram que seriam necessárias 30 amostras para estimar a percentagem de areia na camada superficial e 85 amostras para a profundidade de 80 cm. Já para a percentagem de argila seriam necessárias 13 amostras para a superfície e 38 para a profundidade de 80 cm. A densidade do solo pode ser avaliada com 4 amostras em todo o perfil.

A análise morfológica dos Oxissolos tem relevado, de maneira geral, que estes apresentam uma certa homogeneidade (Moniz & Jackson (1967), citados por CARVALHO et alii) (21). Mas, nem sempre esta uniformidade tem-se refletido nos resultados analíticos de suas características. Visando estudar a variabilidade espacial de Oxissolos, OLIVEIRA & MENK (57) trabalharam com duas áreas homogêneas representativas de um LR (Latosolo Roxo) e um LE (Latosolo Vermelho Escuro), localizados no Estado de São Paulo. As duas áreas

apresentavam-se sob a mesma vegetação de pastagem e durante dez anos não sofreram nenhum distúrbio que alterasse as propriedades físicas e químicas dos solos. Foi realizada uma amostragem sistemática obedecendo a uma rede de prospecção de 50 m. Foram demarcados cerca de quatro pontos por hectare, e as amostras de material do solo foram coletadas nos horizontes A e B com três repetições por ponto. Os parâmetros analisados foram: percentagem de areia, silte e argila, água retida a 1/3 e 15 atm, além de parâmetros químicos. Em função da análise dos dados, os autores puderam verificar que ocorreu menor dispersão dos dados no horizonte superficial, comparado com o horizonte de subsuperfície, e que de uma maneira generalizada, ocorreu menor variabilidade para os parâmetros físicos. Considerando 10% de variação em torno da média, uma amostra seria suficiente para estimar a água retida a 1/3 e 15 atm, 1 a 4 amostras para a percentagem de argila, 10 a 19 amostras para o silte e 2 a 6 amostras para determinar a percentagem de areia, do LR e 3 a 25 para o LE. As variações ocorreram tanto dentro de uma área considerando os horizontes como entre áreas. Segundo os autores, os seus resultados não devem ser generalizados, mas sim servir de guia para outros estudos.

De uma maneira geral, os parâmetros físicos mais estudados são aqueles mencionados anteriormente. Entretanto, outros parâmetros de grande importância para a ciência do solo têm sido avaliados, ainda que pouco enfatizados, tais como a variabilidade da distribuição de poros, densidade de partículas, condutividade elétrica, consistência e agregação do solo. Para estudar a variabilidade da estabilidade de agregados em água, JACOB et alii (44) trabalharam com uma área experimental submetida a diferentes tratamentos.

Os autores procederam à amostragem em dois anos consecutivos, demarcando 4 pontos e, para cada ponto, seis amostras foram retiradas, perfazendo um total de 24 amostras. Aqueles autores concluíram que 10 a 20 amostras de material de solo são suficientes para estimar a média da estabilidade de agregados em uma determinada área. Segundo os autores, menores números induzem a uma elevada variância, o que é, a rigor, indesejável.

A consistência do solo é um parâmetro físico de grande importância para o manejo mecânico do solo, pois o manejo não orientado induz a desestruturação e/ou compactação do solo. Entretanto, pouca importância tem sido dada à variabilidade espacial da consistência do solo. Trabalhos com este parâmetro ficam restritos àquele de THORBURN & LARSEN (81) os quais, em 1959, estudaram a variação do Limite de Liquidez, Limite de Plasticidade e da Percentagem de Argila, em vários pontos para alguns solos em Illinois (EUA). Os autores obtiveram coeficiente de variação de 17 a 32% e 17 a 31% para os horizontes A e B, respectivamente, para todos os parâmetros.

O uso da geoestatística vem crescendo gradativamente no estudo da variabilidade espacial das propriedades físicas do solo. Alguns autores, entre os quais, DELHOMME et alii (32), VIEIRA et alii (86), NIELSEN et alii (55), BIGGAR & NIELSEN (11) e WEBSTER et alii (93), tentaram mostrar a maior eficiência desta metodologia em relação à estatística clássica.

Trabalhando com a geoestatística para determinar a variabilidade de alguns parâmetros de irrigação, RUSSO et alii (73) verificaram que houve um aumento de 3% na produção de culturas, quan

do a variabilidade do solo foi bem caracterizada. Já WEBSTER et alii (93) trabalharam com métodos comparativos entre a geoestatística e a teoria clássica para determinar o número de amostras representativas em uma área de 10 ha. Segundo os autores, os métodos geoestatísticos apresentaram um menor erro padrão, e consequentemente, o número de amostras por eles determinados são menores, o que muitas vezes reduz os custos de amostragem.

Por outro lado, PETERSEN & CALVIN (60), MAUSBACH et alii (50), WILDING & DREES (94) e Guma'a (1978), citado por VIEIRA et alii (86), defendem a teoria clássica, bem como a amostragem sistemática, por estas permitirem um melhor conhecimento da variabilidade dos parâmetros do solo. Segundo estes autores, a teoria clássica permite uma melhor frequência de distribuição das amostras, o que minimiza os erros no cálculo do número de amostras representativas, para os parâmetros que se distribuem segundo a lei normal.

2.4. Considerações finais

Pelos trabalhos consultados, fica evidente a existência da variabilidade espacial nos parâmetros físicos, químicos, mineralógicos, morfológicos e biológicos do solo. Há uma tendência em ocorrer maior variabilidade no sentido horizontal, para os solos mais desenvolvidos, e variabilidade generalizada para os solos menos desenvolvidos. A variabilidade torna-se ainda maior quando as áreas estudadas não apresentam aspectos morfológicos homogêneos.

Pela revisão efetuada, pode-se concluir que os parâmetros físicos, que apresentam distribuição normal, são mais uniformes, mas quando se trata de parâmetros relacionados ao movimento de água e ar no solo, estes apresentam grandes variações e o número de amostras representativas é bastante divergente. Existe uma grande controvérsia entre os trabalhos com relação ao número de amostras necessárias para caracterizar os parâmetros físicos dos solos. Isto porque os mesmos divergem com relação às unidades taxonômicas, bem como variações nas metodologias, critérios de amostragem, percentagem de variação em torno da média e nível de significância.

Torna-se claro, pelos trabalhos relacionados, a maior variabilidade para os solos aluviais e outros solos menos desenvolvidos, o que é de se esperar em termos de gênese do solo.

O conhecimento da variabilidade espacial torna-se de suma importância na determinação das características e propriedades dos solos em determinada área, visando ao estabelecimento de um manejo adequado. Além deste aspecto, o conhecimento da variabilidade espacial tem participação relevante na Experimentação Agrícola a nível de campo, pois a falta de conhecimento desta, nas glebas experimentais, pode comprometer os resultados das pesquisas.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização e clima do Município

O Município de Lavras está localizado na Região Sul do Estado de Minas Gerais, a 21°14' de latitude sul e a 45°00' de longitude W.G., BRASIL (14). A região apresenta clima Cwb, segundo a classificação de KÖPPEN, CASTRO NETO (24).

3.2. Características da unidade taxonômica

Trata-se de um Latossolo Roxo distrófico A moderado textura muito argilosa fase cerradão em transição para floresta, relevo suave ondulado, pela Classificação Brasileira, ou Typic Acrorthox pela Soil Taxonomy, ANDRADE (2). Localiza-se no campus da Escola Superior de Agricultura de Lavras, próximo ao Departamento de Ciência do Solo (Figura 1). Esta unidade de solo vem sendo cultivada convencionalmente (uma aração e duas gradagens) há mais de 15 anos, com culturas anuais diversas. A gleba é aparentemente uniforme em toda a sua extensão, apresentando uma área total de 21 hectares.

3.3. Método de amostragem

A área estudada foi dividida em três faixas de acordo com a posição na paisagem ; a) Faixa 1 - 920-908 m de altitude, terço médio superior da encosta; b) Faixa 2 - 908-896 m, terço médio inferior da encosta; c) Faixa 3 - 896-883 m, terço inferior da encosta. Esta divisão pode ser visualizada na Figura 1.

Procedeu-se a uma amostragem sistemática dentro de cada faixa, demarcando-se quadrados de 100 m de lado, cobrindo toda a extensão da faixa. Nos vértices e intersecções das diagonais dos quadrados, foram abertas trincheiras com 1 m de lado e 1,2 m de profundidade. As amostras de material do solo foram retiradas nos horizontes Ap (0-20 cm) e Bw (100-120 cm).

O número de pontos demarcados por faixa foi de 19 pontos , perfazendo-se 19 repetições por faixa, e 57 repetições para a área total por se tratar de uma única unidade taxonômica.

3.4. Preparo das amostras

As amostras destinadas à determinação da densidade do solo e distribuição de poros, por tamanho, foram coletadas com estrutura indeformada, com auxílio de anéis volumétricos, de volume conhecido. Para os demais parâmetros, as amostras de material do solo foram coletadas com estrutura deformada, secas ao ar e em seguida passadas em tamiz de 2 mm de diâmetro de malha, constituindo assim a T.F.S.A.

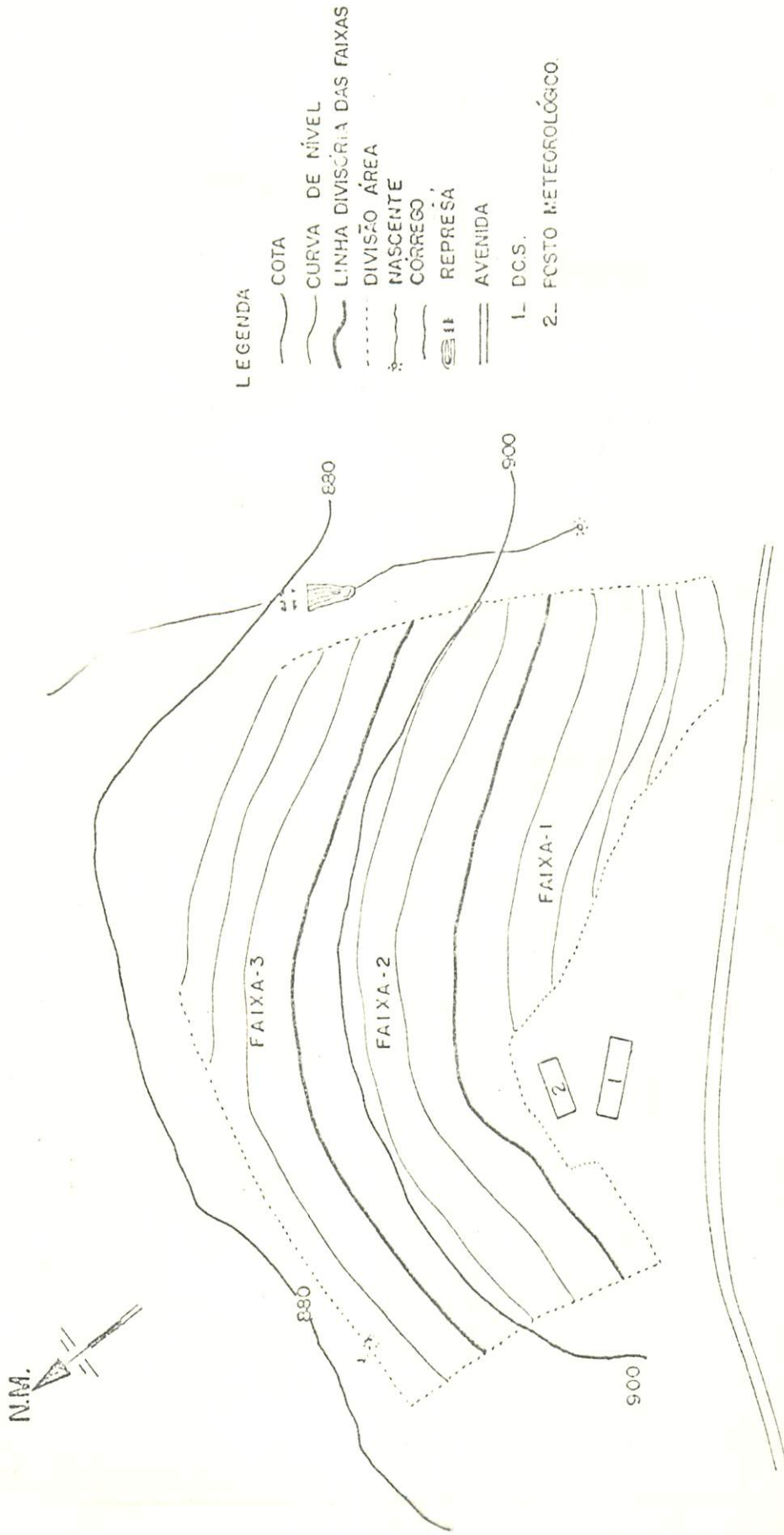


Figura-1 - Representação da área de Latiçssolo Roxo estudada.

3.5. Métodos de análise dos parâmetros físicos

3.5.1. Densidade do solo (Ds)

Seguiu-se nesta determinação o método descrito por BLAKE (12), utilizando-se cilindros de Uhland e anéis volumétricos de 50 cm³.

3.5.2. Densidade de partículas (Dp)

Foi determinada utilizando-se o método do picnômetro, descrito por BLAKE (13). Pesaram-se 5 g de T.F.S.E., completando o volume com água destilada desaerada.

3.5.3. Análise textural

Para esta determinação utilizou-se o método da pipeta, descrita por DAY (31). A dispersão da amostra equivalente a 10 g de T.F.S.E. foi realizada em suspensão com água destilada e 10 ml de solução de NaOH 1N, com agitação rápida (12.000 rpm) durante 15 minutos, em agitador Hamilton Beach. A fração areia foi separada em tamiz de 0,053 mm.

3.5.4. Argila dispersa em água

Utilizou-se também o método da pipeta decrito por DAY (31), porém sem o uso do dispersante.

3.5.5. Água retida a 0,01 e 1,5 MPa

A retenção de água foi determinada em amostras com estrutura deformada (T.F.S.A), previamente saturada com água destilada. Seguiu-se a metodologia descrita por RICHARDS & FIREMAN (70), utilizando-se o extrator de placa porosa.

3.5.6. Estabilidade de agregados em água

A estabilidade de agregados foi determinada pelo processo de tamizamento úmido, descrito por KEMPER & CHEPIL (45). Obtiveram-se agregados com as seguintes classes de diâmetro: 7-2 mm, 2-1, 1-0,5, 0,5-0,25, 0,25-0,105 e $< 0,105$ mm, as quais foram reunidas em duas categorias: macroagregados, diâmetro $> 1,0$ mm e microagregados, diâmetro $< 1,0$ mm.

3.5.7. Limite de Liquidez (LL) e Limite de Plasticidade (IP)

Para estas determinações, seguiram-se as metodologias descritas por SOWERS (79) e CAPUTO (20).

3.5.8. Porosidade total

Obtidos os valores da densidade do solo e densidade de partículas, calculou-se o volume total de poros indiretamente, através da equação proposta por VOMOCIL (88).

3.5.9. Macro e microporosidade

Na determinação de microporos, usou-se a unidade de sucção, de acordo com GROHMANN (40) e OLIVEIRA (56). Amostras com estrutura indeformada, previamente saturadas com água destilada, foram submetidas à tensão de 60 cm de altura de coluna d'água, para separar a porosidade capilar (microporosidade) e a não capilar (macroporosidade). A percentagem de água retida nas amostras após o equilíbrio expressa em volume, corresponde à microporosidade do solo, enquanto que a macroporosidade corresponde à diferença entre a porosidade total e a porosidade capilar.

3.6. Métodos estatísticos

Como medidas estatísticas foram determinadas: média geral (\bar{X}), desvio padrão (S), coeficiente de variação (CV).

O número de amostras representativo para cada parâmetro foi determinado pela equação de PETERSEN & CALVIN (60): $n = t_{\alpha}^2 \times S^2 / D^2$, onde n = número de amostras; t = valor de tabela da distribuição "t" em função do nível de significância (α) e do grau de li

berdade com que se estimou S ; $D =$ produto de \bar{X} pela percentagem de variação em torno da média e S é o desvio padrão. Neste trabalho, consideraram-se 10 e 20% de variação em torno da média e coeficiente de confiança de 90, 95 e 99%. Esta equação tem sido usada com bastante frequência nos trabalhos de variabilidade espacial (WAR-RICK et alii (90, 91), OLIVEIRA & MENK (57), WILDING et alii (95), MAUSBACH et alii (50) e PINTO et alii (61)).

No propósito de verificar uma possível influência da posição das faixas de amostragem em relação a paisagem, as três faixas (1, 2 e 3) foram consideradas tratamentos (F_1, F_2, F_3), respectivamente, com 19 repetições. Os valores obtidos para cada parâmetro foram analisados segundo o modelo matemático: $Y_{ij} = \mu + t_i + e_{ij}$, onde $\mu =$ é o efeito da média populacional; $t_i =$ é o efeito do tratamento i ; $e_{ij} =$ é o erro associado à parcela i, j ; com $i = 1, 2$ e 3 e $j = 1, 2, 3, \dots, 19$.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como o presente trabalho apresenta mais de um objetivo, seguiu-se uma ordem de discussão, dando ênfase inicialmente à variabilidade dos parâmetros analisados e número de amostras, seguindo-se a influência da posição em relação a paisagem nos parâmetros analisados.

As médias, intervalo de variação e os respectivos desvio padrão dos parâmetros estudados, encontram-se nos Quadros 14 e 15 do Apêndice.

4.1. Variabilidade espacial das densidades do solo e de partículas

Os resultados da variabilidade dos valores da densidade do solo (Quadro 1), evidenciam uma pequena variação deste parâmetro em ambos os horizontes amostrados, expressa pelos valores de C.V. encontrados (10,6% para o horizonte Ap e 8,9% para o horizonte Bw). Considerando-se os coeficientes de confiança de 90, 95 e 99%, e uma variação percentual em torno da média de 10%, observa-se que seriam necessárias respectivamente 4, 5 e 8 amostras para represen -

QUADRO 1. Número de amostras necessárias para estimar a densidade do solo e densidade de partículas a três coeficientes de confiança para os horizontes Ap e Bw de Latossolo Roxo.

PARÂMETRO	Horizonte	% variação em torno da média	Coeficiente de confiança (%)			C.V. %
			90	95	99	
Densidade do solo	Ap	10	4	5	8	10,6
		20	1	2	2	
	Bw	10	3	4	6	8,9
		20	1	1	1	
Densidade de partículas	Ap	10	1	2	3	5,5
		20	1	1	1	
	Bw	10	1	1	2	4,1
		20	1	1	1	

tar a densidade do solo no horizonte Ap. Para o horizonte Bw, nos mesmos coeficientes de confiança e variação, o número de amostras representativas seria respectivamente 3, 4 e 6. Estes resultados são semelhantes àqueles obtidos por BABALOLA (3), PINTO et alii (61) e ROGOWSKI (72) e diferem dos resultados obtidos por CASSEL & BAUER (23), os quais comprovaram que 1 a 2 amostras seriam suficientes para representar a densidade do solo; porém todos os autores mencionados trabalharam com diferentes tipos de solo. A maior variação encontrada no horizonte Ap, pode ser atribuída aos distúrbios provocados ao solo, pelo fato de estar sendo cultivado há mais de 15 anos.

Observa-se também pelo Quadro 1 que, quando a percentagem de variação em torno da média é de 20%, o número de amostras é reduzido para todos os coeficientes de confiança. Assim sendo, limitar-nos-emos a comentar os resultados para todos os parâmetros, considerando 10% de variação em torno da média, devido a maioria dos parâmetros terem apresentado variação dos valores próximo a 10%, porém em outros estudos esta variação pode sofrer alterações em função da própria dispersão dos valores observados, bem como da precisão requerida pelo pesquisador.

Para a densidade de partículas (Quadro 1), observa-se uma pequena variação para ambos os horizontes, expressa pelos valores de C.V. encontrados (5,5 e 4,1% respectivamente para os horizontes Ap e Bw). Considerando-se os coeficientes de confiança de 90, 95 e 99%, e uma variação percentual de 10% em torno da média, observa-se que seriam necessárias, respectivamente, 1, 2 e 3 amostras para re

presentar a densidade de partículas para o horizonte Ap e 1,1 e 2 amostras para o horizonte Bw. Estes resultados evidenciam as afirmativas de REICHARDT (68), DUCHAUFOR (33), GROHMANN (41), BAVER et alii (9) e outros, segundo os quais a densidade de partículas é uma característica praticamente invariável do solo.

4.2. Variabilidade espacial da textura do solo

4.2.1. Percentagem de areia total

Os resultados da variabilidade na percentagem de areia total, (Quadro 2), evidenciam uma variação acentuada em ambos os horizontes amostrados, expressa pelos valores de C.V. encontrados (38,9% para o horizonte Ap e 38,6% para o horizonte Bw). Considerando os coeficiente de confiança de 90, 95 e 99%, e 10% de variação em torno da média, observa-se que o número de amostras para se estimar este parâmetro seria, respectivamente: 43, 61 e 108 para o horizonte Ap e 42, 60 e 106 amostras para o horizonte Bw. Estes resultados diferem daqueles obtidos por OLIVEIRA & MENK (57), que trabalharam com Oxissolos e determinaram um menor número de amostras, e dos de CAMPBELL (19), que determinou um maior número de amostras. Porém, são semelhantes aos resultados obtidos por LUXMOORE et alii (48), IKE et alii (43), PINTO et alii (61) e Guma'a (1978), citado por WARRICK et alii (91), que trabalharam com outras classes de solos e encontraram variabilidade acentuada (CV acima de 30%), o que induz à necessidade de um maior número de amostras para se obter resultados representativos da área. A variabilidade acentuada para

QUADRO 2. Número de amostras necessárias para estimar as percentagens de argila, areia total, silte e argila dispersa em água, a três coeficientes de confiança, para os horizontes Ap e Bw, de Latossolo Roxo.

Parâmetro	Horizonte	% variação em torno da média	Coeficiente de confiança (%)			C.V. %
			90	95	99	
Areia total	Ap	10	43	61	108	38,90
		20	11	16	27	
	Bw	10	42	60	106	38,90
		20	11	15	27	
Argila	Ap	10	10	14	24	18,40
		20	3	4	6	
	Bw	10	6	9	16	15,60
		20	2	3	4	
Silte	Ap	10	127	181	321	67,40
		20	32	46	81	
	Bw	10	55	79	140	44,00
		20	13	20	35	
Argila dispersa em água	Ap	10	55	78	138	44,00
		20	14	20	35	
	Bw	10	394	565	1001	118,60
		20	99	141	251	

a percentagem de areia total verificada para o LR, possivelmente possa ser atribuída a adições a partir de exposições de quartizitos, a maiores altitudes, ANDRADE (2).

4.2.2. Percentagem de argila

A fração argila, (Quadro 2), apresentou a menor variabilidade de todas as frações texturais em ambos os horizontes amostrados, expressa pelos valores de C.V. encontrados (18,4% para o horizonte Ap e 15,6% para o horizonte Bw). Considerando os coeficiente de confiança (90, 95 e 99%), e uma variação de 10% em torno da média, observa-se que o número de amostras representativas é, respectivamente: 10, 14 e 24 para o Ap e 6, 9 e 16 para o Bw.

Estes resultados diferem daqueles obtidos por OLIVEIRA & MENK (57), para LE e LR, onde os autores observaram menor CV e número de amostras, e também de LUXMOORE et alii (48), MAUSBACH et alii (50), BABALOLA (3), PINTO et alii (61) e Guma'a citado por WARRICK et alii (91), que encontraram maior variação deste parâmetro em diferentes unidades de solos.

A maior variação observada no horizonte Ap, pode ser atribuída ao provável efeito da matéria orgânica na dispersão, bem como ao efeito do cultivo, que vem sendo realizado na área amostrada.

4.2.3. Percentagem de silte

Os valores calculados para a percentagem de silte, (Quadro 2), mostram uma variação elevada em ambos os horizontes amostrados expressa pelos valores de C.V. encontrados (67,4% para o horizonte Ap e 44% para o horizonte Bw). Considerando o mesmo coeficiente de confiança (90, 95 e 99%), e 10% de variação em torno da média, observa-se que são necessárias, respectivamente: 127, 181 e 321 amostras para representar a percentagem de silte no horizonte Ap. Já para o horizonte Bw, nos mesmos níveis de significância, seriam necessárias 55, 79 e 140 amostras, respectivamente.

Estes resultados são semelhantes àqueles obtidos por Guma'a (1978), citado por WARRICK et alii (91) e diferem dos resultados de PINTO et alii (61), OLIVEIRA & MENK (57), GAGEM et alii (37), MADER (49), BRESLER et alii (15), MAUSBACH et alii (50), IKE et alii (43) e LUXMOORE et alii (48), os quais encontraram menor variabilidade para a fração silte.

A maior variabilidade verificada para o horizonte Ap, possivelmente possa ser atribuída ao efeito da matéria orgânica na dispersão, o que provavelmente, contribui para o aumento da variabilidade na fração silte.

4.3. Variabilidade espacial da argila dispersa em água

Os valores calculados para a variabilidade da percentagem de argila dispersa em água, Quadro 2, mostram uma elevada variação para este parâmetro em ambos os horizontes amostrados, expressa pelos valores de C.V. encontrados (44% para o horizonte Ap e 118,6% para o Bw). Considerando os mesmos coeficientes de confiança (90, 95 e 99%) e 10% de variação em torno da média, observa-se que seriam necessárias respectivamente: 55, 78 e 138 amostras para o horizonte Ap. Já para o horizonte Bw, considerando os mesmos níveis de significância e a mesma variação são necessárias, respectivamente, 394, 565 e 1001 amostras.

A variabilidade observada no horizonte Ap pode ser atribuída ao cultivo que, de uma maneira geral, acelera a mineralização da matéria orgânica e, conseqüentemente, facilita a desagregação do solo. Outro fator que contribui para a desagregação é a prática da calagem que, através da adição de $\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$, provoca uma alteração no balanço de cargas do solo. Segundo RAIJ & PEECH (66), o balanço de cargas é de fundamental importância na agregação do solo, de modo que quanto mais próximo do ponto isoelétrico, menor a repulsão entre as partículas e, conseqüentemente, maior a união entre elas.

A matéria orgânica contribui no aumento de cargas líquidas negativas ao solo, fazendo com que o ponto isoelétrico seja atingido a menores valores de pH, RAIJ & PEECH (66). Embora a percentagem de carbono orgânico não seja alta no horizonte Ap, (Quadro 14

do Apêndice), esta possivelmente influenciou no sentido de que predominasse um Δ pH negativo (-0,5), Quadro 3. Portanto, pode-se admitir que a percentagem de carbono orgânico foi suficiente para deslocar o ponto isoelétrico do solo, mesmo a baixos valores de pH onde a presença de cargas líquidas negativas estaria facilitando a dispersão. Estes resultados são semelhantes àqueles obtidos por RANDO (64), o qual trabalhou com a mesma unidade de solo, porém com apenas 3 perfis.

QUADRO 3. Valores de pH em água, pH em KCl 1N e Δ pH encontrados nos horizontes Ap e Bw de LR. (Média de 57 repetições).

Horizonte	pH KCl 1N	pH H ₂ O	Δ pH
Ap	4,8	5,3	- 0,5
Bw	5,4	5,2	+ 0,2

Metodologia segundo VETTORI (1969).

A alta variabilidade observada para o horizonte Bw pode ser atribuída à alguma translocação de argila do horizonte Ap para o Bw, em determinados pontos, onde o fluxo de solutos é facilitado pela textura. O aumento da argila dispersa em água no horizonte Bw em função do cultivo, foi confirmado por MOURA FILHO & BUOL (52), que trabalharam com a mesma unidade de solo no Triângulo Mineiro. Esta evidência também pode estar associada à maior presença de óxidos de ferro livres no horizonte Bw, RANDO (64), que pode ser variável de ponto para ponto, alterando o ponto isoelétrico do solo e

contribuindo para que predominem cargas líquidas positivas, ΔpH (+ 0,2), (Quadro 3). Como a dispersão pela água ocorre tanto na presença de cargas líquidas positivas, como cargas líquidas negativas, a variabilidade no balanço de cargas pode ser um dos fatores que estaria contribuindo na variabilidade da argila dispersa em água no horizonte Bw.

4.4. Variabilidade espacial da estabilidade de agregados

Os resultados da variabilidade dos macroagregados (Quadro 4), evidenciam uma variabilidade acentuada para ambos os horizontes amostrados, expressa pelos valores de C.V. encontrados (21,3 % para o horizonte Ap e 29,4% para o horizonte Bw). Considerando os coeficientes de confiança de 90, 95 e 99%, e uma variação de 10% em torno da média, observa-se que o número de amostras representativas seria respectivamente; 13, 19 e 33 para o horizonte Ap e 25, 35 e 62 para o Bw.

Estes resultados são semelhantes àqueles obtidos por JACOB & KLUTTE (44), que sugerem 10 a 20 amostras para avaliar a estabilidade de agregados no horizonte Ap; porém estes autores trabalharam com diferentes classes de solo.

De acordo com BAVER et alii (9), a maior ou menor estabilidade dos agregados em água vai depender de uma série de fatores, salientando-se os seguintes: percentagem de óxidos de ferro e alumínio, presença de matéria orgânica e cátions flocculantes (Ca^{++} e Mg^{++}). Já CHANEY & SWIFT (28), afirmam que a matéria orgânica é a

QUADRO 4. Número de amostras necessárias para estimar a estabilidade de agregados em água, a três coeficientes de confiança para os horizontes Ap e Bw de Latossolo Roxo.

Parâmetro	Horizonte	% variação em torno da média	Coeficientes de confiança-%			C.V. %
			90	95	99	
Macro-agregados > 1,0 mm de \emptyset	Ap	10	13	19	33	21,30
		20	4	5	9	
	Bw	10	25	35	62	29,40
		20	7	9	16	
Micro-agregados < 1,0 mm de \emptyset	Ap	10	27	39	69	29,30
		20	7	10	18	
	Bw	10	6	9	15	14,50
		20	2	3	4	

principal responsável pela estruturação do solo. Como a percentagem de carbono orgânico foi mais variável no Bw (Quadro 15), provavelmente esta seja a principal responsável pela variação dos macroagregados neste horizonte. A variação observada no Ap pode ser atribuída ao efeito do cultivo intenso.

Para os microagregados, (Quadro 4), observa-se que houve uma variação acentuada para o horizonte Ap e uma menor variação para o Bw, expressa pelos seus respectivos CVs (29,3% para o Ap e 14,5% para o Bw). Considerando o coeficiente de confiança (90, 95 e 99%) e uma variação de 10% em torno da média, o número de amostras representativas seria, respectivamente: 27, 39 e 69 para o Ap e 6, 9 e 15 para o horizonte Bw.

Os resultados evidenciam o efeito do cultivo na variabilidade dos microagregados do solo, fazendo com que este parâmetro seja mais variável no horizonte Ap. Já para o horizonte Bw, esta menor variação pode ser atribuída às próprias características deste horizonte diagnóstico, ou seja, microestrutura bem definida e estável.

4.5. Variabilidade espacial na porosidade do solo

Os resultados da variabilidade na porosidade do solo, (Quadro 5) evidenciam uma pequena variabilidade deste parâmetro expressa pelos valores de C.V. encontrados (10,5% para o horizonte Ap e 5,5% para o Bw). Considerando os mesmos Coeficiente de confiança (90, 95 e 99%), e 10% de variação em torno da média, verifica-se

QUADRO 5. Número de amostras necessárias para estimar a porosidade total, macroporos e microporos, a três coeficientes de confiança, para os horizontes Ap e Bw de Latos solo Roxo.

Parâmetro	Horizonte	% variação em torno da média			C.V.
		90	95	99	
Porosidade total	Ap	10	5	8	10,50
	Bw	10	2	3	5,50
Macroporos	Ap	10	49	86	34,70
	Bw	10	17	29	20,00
	Ap	10	5	8	10,30
	Bw	10	6	11	11,90

que o número de amostras representativas é, respectivamente: 4, 5 e 8 para o Ap e 1, 2 e 3 para o Bw.

Como a porosidade total foi calculada em função das densidades do solo e de partículas, observa-se que, praticamente, não houve diferenças entre o número de amostras representativas da densidade do solo, (Quadro 1) e da porosidade total.

Para a macroporosidade do solo, (Quadro 5), observa-se uma variação acentuada para o horizonte Ap e intermediária para o Bw, expressas pelos C.V. encontrados (34,7% para o Ap e 20% para o Bw). A maior variabilidade verificada para o horizonte Ap pode ser atribuída ao efeito do cultivo que propicia a pulverização do solo, dando a formação de microagregados, GROHMANN (40) e, conseqüentemente, obstruindo os macroporos. O efeito do cultivo na redução de macroporos foi evidenciado nos trabalhos de RANDO (64), LOW (47), OLIVEIRA (59), GROHMANN (39) e MOURA FILHO & BUOL (52). Segundo MOURA FILHO & BUOL (52), o cultivo afeta a macroporosidade, mesmo nas camadas subsuperficiais do solo, o que ajuda a explicar a variabilidade observada no horizonte Bw.

Já para microporos, os resultados da variabilidade (Quadro 5), evidenciam uma pequena variação para ambos os horizontes, expressa pelos valores de C.V. encontrados (10,3% para o horizonte Ap e 11,9% para o Bw). Considerando (90, 95 e 99%) como coeficientes de confiança e 10% de variação em torno da média, observa-se que o número de amostras representativas é, respectivamente, 3, 5 e 8 para o horizonte Ap e 4, 6 e 11 para o Bw.

A variação ligeiramente maior observada no horizonte Bw pode ser atribuída ao efeito da translocação de argila dispersa em água em alguns pontos pelo efeito do cultivo, bem como a variabilidade no carbono orgânico verificada para este horizonte (Quadro 15).

4.6. Variabilidade espacial na retenção de água

4.6.1. Retenção de água a 0,01 MPa

Os resultados da variabilidade na retenção de água a 0,01 MPa, (Quadro 6), evidenciam uma pequena variação para ambos os horizontes, expressa pelos valores de C.V. encontrados (11,3% para o horizonte Ap e 12,3% para o Bw). Considerando os níveis de significância de 90, 95 e 99%, e 10% de variação em torno da média, observa-se que o número de amostras representativas é: 4, 6 e 10 para o horizonte Ap e 5, 7 e 11 para o horizonte Bw, respectivamente.

Estes resultados diferem daqueles obtidos por GAJEM et alii (37) e OLIVEIRA & MENK (57), que encontraram menor variabilidade para a água retida a 0,01 MPa.

A variabilidade observada para ambos os horizontes (Ap e Bw), pode ser atribuída à textura, distribuição de poros e carbono orgânico, uma vez que esta foi determinada em amostras com estrutura deformada, onde existe muito pouca influência da estrutura do solo.

QUADRO 6. Número de amostras necessárias para estimar a retenção média de água a 0,01 e 1,5 MPa, a três coeficientes de confiança, para os horizontes Ap e Bw, de La - tossolo Roxo.

Parâmetro	Horizonte	% variação em torno da média	Coeficiente de confiança (%)			C.V. %
			90	95	99	
Água retida a 0,01 MPa (C.C.)	Ap	10	4	6	10	11,30
		20	1	2	3	
	Bw	10	5	7	11	12,30
		20	2	2	3	
Água retida a 1,5 MPa (P.M.)	Ap	10	3	4	6	9,10
		20	1	1	2	
	Bw	10	3	5	8	10,20
		20	1	2	2	

C.C. = Capacidade de campo

P.M. = Ponto de murcha permanente

4.6.2. Retenção de água a 1,5 MPa

Para a retenção de água a 1,5 MPa, (Quadro 6), verifica-se uma pequena variação para ambos os horizontes, expressa pelos valores de C.V. encontrados (9,1% para o horizonte Ap e 10,2 para o Bw). Considerando os coeficientes de confiança de 90, 95 e 99%, e 10% de variação em torno da média, são necessárias, respectivamente, 3, 4 e 6 amostras para representar este parâmetro para o horizonte Ap e 3, 5 e 8 amostras para o Bw.

Estes resultados diferem daqueles obtidos por MAUSBACH et alii (50) e Guma'a (1978), citado por WARRICK et alii (91), que encontraram maior variabilidade para retenção de água a 15 bar, trabalhando com diferentes unidades de solos e de OLIVEIRA & MENK (57), os quais trabalharam com dois solos da mesma classe (LE e LR) e verificaram menor variabilidade deste parâmetro.

De uma maneira generalizada, a variabilidade na retenção de água a 0,01 e 1,5 MPa foram bastante semelhantes, o que confirma as possíveis explicações pela variabilidade da textura, distribuição de poros por tamanho e matéria orgânica. Segundo apontado por FREIRE (36), a retenção de água pelo solo é mais influenciada pela textura, estrutura, matéria orgânica, óxidos de ferro livres, superfície específica e alterações no preparo das amostras. Dentre estes, podemos verificar que a estrutura foi alterada pelo peneiramento das amostras, exercendo pouca influência na retenção, enquanto que a textura e carbono orgânico apresentaram variações consideráveis (Quadro 14 e 15 do Apêndice). Os óxidos de ferro livres es

tão acima de 20% em ambos os horizontes, RANDO (64), o que permite sugerir que a variabilidade na retenção de água para ambos os horizontes seja devida à variação na textura, distribuição de poros por tamanho e carbono orgânico.

4.7. Variabilidade espacial da consistência do solo

4.7.1. Limite de Liquidez (LL)

Os resultados observados para o número de amostras representativas e os coeficientes de variação para o limite de liquidez, (Quadro 7), mostraram uma pequena variabilidade para ambos os horizontes Ap e Bw, expressa pelos valores de C.V.encontrados (6,0% para o horizonte Ap e 8,7% para o Bw). Considerando os mesmos coeficientes de confiança (90, 95 e 99%), e 10% de variação em torno da média, o número de amostras representativas para este parâmetro é, respectivamente: 1, 2 e 3 para o horizonte Ap e 3, 4 e 6 para o Bw.

A maior variabilidade observada para o horizonte Bw, pode ser explicada pela variabilidade observada na percentagem de argila e carbono orgânico neste horizonte, pois segundo BAVER et alii (9) e ODELL et alii (56), a quantidade de argila e matéria orgânica são os principais parâmetros que influenciam a consistência do solo.

QUADRO 7. Número de amostras necessárias para estimar a consistência do solo (LL e LP), a três coeficientes de confiança, para os horizontes Ap e Bw, de Latossolo Roxo.

Parâmetro	Horizonte	% variação em torno da média	Coeficiente de confiança (%)			C.V. %
			90	95	99	
Limite de Liquidez	Ap	10	1	2	3	6,0
		20	1	1	1	
	Bw	10	3	4	6	8,7
		20	1	1	2	
Limite de Plasticidade	Ap	10	6	8	13	13,5
		20	1	2	4	
	Bw	10	3	4	7	9,5
		20	1	1	2	

4.7.2. Limite de Plasticidade (LP)

Os resultados da variabilidade do limite de plasticidade, (Quadro 7), evidenciam uma maior variabilidade para o horizonte Ap e uma menor variabilidade para o Bw, expressa pelos valores de C.V. encontrados (13,5% para o horizonte Ap e 9,5% para o Bw). Considerando os coeficientes de confiança de 90, 95 e 99%, e 10% de variação em torno da média, observa-se que são necessárias, respectivamente: 6, 8 e 13 amostras para representar o limite de plasticidade no horizonte Ap. Para o horizonte Bw, nos mesmos coeficientes de confiança e variação, o número de amostras representativas é respectivamente 3, 4 e 7. Estes resultados diferem daqueles obtidos por THORBURN & LARSEN (81), que verificaram coeficientes de variação acima de 17% para vários tipos de solos dos Estados Unidos.

A variabilidade do carbono orgânico e da percentagem de argila explicam a variabilidade do limite de plasticidade para o horizonte Bw. Para o horizonte Ap, tem-se o efeito do cultivo, que provoca compactação do solo e, conseqüentemente, reduz o teor de água, NICHOLS & REAVES (53) e FELT (34). Como a compactação também está sujeita à variabilidade dentro da área amostrada, a maior variabilidade do horizonte Ap, pode ser atribuída ao efeito do cultivo que vem sendo efetuado há mais de 15 anos neste solo.

4.8. Influência da posição da faixa de amostragem em relação à paisagem na variabilidade dos parâmetros físicos

Vários trabalhos evidenciam a influência do relevo na variabilidade de alguns parâmetros físicos do solo, dentre eles, WILDING et alii (95), WALKER et alii (89) e BECKETT & WEBSTER (10). Para verificar uma possível influência da posição do solo em relação à paisagem na variabilidade dos parâmetros físicos analisados, a área em estudo foi dividida em faixas de acordo com a posição na paisagem (Figura 1), sendo que as faixas I, II e III constituíram os tratamentos F_1 , F_2 e F_3 .

4.8.1. Densidade do solo e de partículas

Os valores médios das densidades do solo e de partículas, (Quadro 8), mostram que não houve variação para densidade de partículas em ambos os horizontes (Ap e Bw). Para a densidade do solo, houve uma pequena variação para o horizonte Ap, sendo que o tratamento F_2 apresentou valores mais elevados para a densidade do solo. Esta diferença na densidade do solo pode ser atribuída à maior percentagem de argila nesta faixa (Quadro 9), o que, provavelmente, facilitou a compactação ao longo do tempo de cultivo.

4.8.2. Textura do solo e argila dispersa em água

Os valores médios para os componentes da textura do solo e argila dispersa em água, (Quadro 9), mostram que não houve dife

QUADRO 8. Valores médios para densidade do solo e densidade de partículas nas três posições amostradas de LR.

Parâmetro	Posição	Horizonte Ap	Horizonte Bw
		----- g/cm ³ -----	
Densidade do solo	F ₁	1,13 b	0,97
	F ₂	1,23 a	0,98
	F ₃	1,10 b	0,92
	C.V.	9,60	8,70
Densidade de partículas	F ₁	2,86	2,91
	F ₂	2,85	2,90
	F ₃	2,79	2,84
	C.V.	5,50	4,00

As médias seguidas da mesma letra no sentido das colunas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (5%).

QUADRO 9. Valores médios para textura do solo e argila dispersa em água nas três posições amostradas de LR.

Parâmetro	Posição	Horizonte	
		Ap	Bw
		-----%-----	
Argila	F ₁	60,61 b	67,37 a
	F ₂	72,63 a	65,89 ab
	F ₃	61,26 b	59,68 b
	C.V.	16,50	13,90
Areia total	F ₁	17,26	13,39 b
	F ₂	17,56	15,77 b
	F ₃	22,26	21,88 a
	C.V.	37,70	32,90
Silte	F ₁	24,28 a	19,27
	F ₂	9,81 b	18,34
	F ₃	16,75 ab	18,43
	C.V.	58,60	45,00
Argila dispersa em água	F ₁	24,74	10,32
	F ₂	22,11	17,89
	F ₃	19,74	14,74
	C.V.	43,80	118,70

As médias seguidas pela mesma letra no sentido das colunas não diferem estatisticamente, pelo teste de Tukey a 5%.

renças significativas para argila dispersa em água para os horizontes Ap e Bw, o mesmo ocorrendo para o silte no horizonte Bw e areia total no horizonte Ap. Para a percentagem de argila no horizonte Ap, nota-se que o tratamento F_2 apresentou uma maior percentagem de argila, o que nos permite inferir a ocorrência de uma variabilidade ao acaso, devido a faixa ocupar uma posição central na área amostrada e esta diferença não se caracterizar no Bw, eliminando-se a hipótese de uma possível diferença no material de origem.

Para o horizonte Bw, nota-se um decréscimo da percentagem de argila da faixa I (F_1) para a faixa III (F_3), o que pode ser explicado pela pedoforma, pois à medida que se vai descendo a encosta (Figura 1), há uma tendência de que as frações mais finas sejam transportadas pela enxurrada, o que condiciona um aumento relativo de frações grosseiras na mesma profundidade amostrada. Este fato torna-se mais evidente ao analisarmos os valores médios da percentagem de areia total, as quais apresentam crescimento inverso à percentagem de argila. Esta observação foi feita também por TREMOCOLDI (82), que verificou maior presença de frações grosseiras no horizonte Bt, à medida que se desce a encosta, em Podzólico Vermelho Amarelo no Estado de São Paulo.

4.8.3. Estabilidade de agregados

Pela observação dos valores médios (Quadro 10), fica evidente que não houve influência da posição da faixa de amostragem na estabilidade de agregados, em ambos os horizontes analisados.

QUADRO 10. Valores médios para estabilidade de agregados em água nas posições amostradas de LR.

Parâmetro	Posição	Horizonte Ap	Horizonte Bw
		----- %-----	
Macro agregado - $\varnothing > 1$ mm	F ₁	53,13	28,01
	F ₂	61,22	27,99
	F ₃	56,74	31,43
	C.V.	25,30	29,30
Micro agregado - $\varnothing < 1$ mm	F ₁	43,75	71,58
	F ₂	38,78	70,67
	F ₃	44,82	67,03
	C.V.	29,20	15,50

As médias seguidas da mesma letra no sentido das colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

4.8.4. Porosidade total e distribuição de poros por tamanho

Os valores médios para porosidade do solo (Quadro 11), evidenciam que não houve variação entre os tratamentos para macro e microporos para ambos os horizontes (Ap e Bw). Para a porosidade total no horizonte Bw, houve um aumento gradativo de F_3 para F_1 . Este aumento pode ser atribuído às variações na textura do solo, principalmente com relação à fração areia total. Vamos constatar que há um aumento desta fração de F_1 para F_3 , acompanhando o decréscimo declive abaixo.

4.8.5. Retenção de água a 0,01 e 1,5 MPa

Os valores médios da retenção de água, (Quadro 12), evidenciam que não houve diferenças significativas na retenção de água para o horizonte Ap. Entretanto, para o horizonte Bw houve uma menor retenção de água para o tratamento (F_3), tanto para água retida a 0,01 como a 1,5 MPa. Estes resultados podem ser atribuídos à maior percentagem de areia e menor percentagem de carbono orgânico, verificados pelos valores médios (Quadros 2 e 3), respectivamente.

QUADRO 11. Valores médios para porosidade do solo nas três posições amostradas para LR.

Parâmetro	Posição	Horizonte Ap	Horizonte Bw
		-----%-----	
Porosidade total	F ₁	58,41 b	67,84 a
	F ₂	61,88 a	67,42 ab
	F ₃	57,92 b	64,91 b
	C.V.	6,98	5,20
Macroporos	F ₁	18,43	33,78
	F ₂	23,90	34,89
	F ₃	20,82	30,02
	C.V.	33,66	19,64
Microporos	F ₁	39,98	34,06
	F ₂	37,94	32,74
	F ₃	37,09	34,95
	C.V.	10,00	11,80

As médias seguidas da mesma letra no sentido das colunas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%.

QUADRO 12. Valores médios para retenção de água a 0,01 e 1,5 MPa nas três posições amostradas de LR.

Parâmetro	Posição	Horizonte Ap	Horizonte Bw
Água retida a 0,01 MPa	F ₁	32,05	32,15 a
	F ₂	32,60	32,92 a
	F ₃	31,36	29,48 b
Água retida a 1,5 MPa	F ₁	22,61	24,43 a
	F ₂	23,50	24,65 a
	F ₃	22,44	21,35 b

As médias seguidas da mesma letra no sentido das colunas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%.

4.8.6. Limite de Liquidez e Plasticidade

Observa-se pelos valores médios (Quadro 13), que não houve diferença entre os tratamentos para os limites de liquidez e plasticidade no horizonte Ap. Já para o horizonte Bw, houve tendência de ambos os limites apresentarem valores mais elevados para o tratamento (F₃).

Estes resultados diferem das afirmações de BAVER (8), BAVER et alii (9) e ODELL et alii (56), que dizem haver aumento do limite de liquidez e plasticidade com o aumento da matéria orgânica e teor de argila. Os resultados obtidos confirmam as correlações negativas entre a percentagem de carbono orgânico e os limites de liquidez e plasticidade obtidas por OLIVEIRA (59), os quais sugere-

QUADRO 13. Valores médios para Limite de Liquidez e Plasticidade nas posições amostradas de LR.

Parâmetro	Posição	Horizonte Ap	Horizonte Bw
		-----%-----	
Limite de Liquidez (LL)	F ₁	43,82	46,87 ab
	F ₂	43,03	45,47 b
	F ₃	42,83	48,95 a
	C.V.	6,00	8,20
Limite de Plasticidade (LP)	F ₁	38,80	41,79 ab
	F ₂	38,25	39,75 b
	F ₃	36,62	43,52 a
	C.V.	13,50	8,90

As médias seguidas pela mesma letra no sentido das colunas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%.

rem uma análise completa do carbono para verificar o seu estágio de decomposição no solo. Possivelmente, os óxidos de ferro e alumínio estejam exercendo maior influência na consistência desta classe de solo.

4.9. Discussão final

Confirmando o que foi verificado através da literatura, fica difícil estabelecer qual o tipo de variabilidade que está ocorrendo na área, devido a interação entre a variabilidade sistemática e ao acaso na área em estudo. Porém, o efeito do cultivo é evidente, aumentando a variabilidade da maioria dos parâmetros analisados, principalmente no horizonte Ap, mas não deixando de alterar, também, alguns parâmetros no horizonte Bw.

A comparação dos resultados obtidos, com os resultados da literatura, fica bastante dificultada devido à variação dos tipos de solos, variação nas práticas de manejo e, principalmente, pelo fato de a maioria dos trabalhos terem sido desenvolvidos em regiões temperadas, onde a atividade do bioclima é menor. Entretanto, fica evidente a necessidade do conhecimento da variabilidade espacial do solo, não só para os parâmetros físicos, mas também químicos, mineralógicos e biológicos, visando minimizar os erros cometidos na amostragem e na transferência de tecnologia. Para isso, sugere-se a realização de um maior número de trabalhos neste campo da ciência do solo, envolvendo um maior número possível de tipos de solos, sob diferentes condições de uso e manejo.

5. CONCLUSÕES

Nas condições em que foi realizado este trabalho, os resultados obtidos nos permitem apresentar as seguintes conclusões:

1. As densidades do solo e de partículas, microporos, porosidade total, percentagem de argila, retenção de água e consistência do solo foram os parâmetros que apresentaram menor variabilidade. Os demais parâmetros apresentaram CV acima de 20%.

2. A percentagem de silte e argila dispersa em água foram os parâmetros que apresentaram maior variabilidade para os horizontes Ap e Bw, respectivamente.

3. Houve uma tendência dos parâmetros estudados apresentarem maior variação no horizonte Ap, provavelmente em função do cultivo.

4. Dez amostras simples são suficientes para estimar os parâmetros analisados no horizonte Ap, exceto para percentagem de areia, silte, argila dispersa em água, estabilidade de agregados em água e macroporosidade.

5. Para o horizonte Bw, ocorre pouca variação do número de amostras em relação ao Ap, exceto para as percentagens de argila dispersa em água e de silte.

6. Além do número de amostras representativas, deve-se levar em consideração a posição da faixa de amostragem em relação à paisagem, pois esta exerceu influência na percentagem de argila, areia total, retenção de água, porosidade total e consistência do solo, principalmente no horizonte Bw.

6. RESUMO

Estimou-se a variabilidade espacial de características e propriedades físicas do solo, em uma área de 21 ha, de Latossolo Roxo (Typic Acrorthox), considerado morfologicamente uniforme. Seguiu-se uma amostragem sistemática, onde quadrados de 100 m de lado foram demarcados e nos vértices e intersecção das diagonais foram retiradas amostras de material dos horizontes Ap (0-20 cm), e Bw (100-120 cm), em toda a extensão da faixa de amostragem.

Visando verificar uma possível influência da posição da faixa de amostragem em relação à paisagem na variabilidade dos parâmetros estudados, a área foi dividida em três faixas de acordo com a posição na encosta, constituindo-se as faixas em tratamentos com 19 repetições. As características e propriedades físicas estudadas foram: textura, densidade do solo e de partículas, consistência do solo, retenção de água a 0,01 e 1,5 MPa, argila dispersa em água, porosidade e estabilidade de agregados em água.

A variabilidade espacial foi estimada empregando-se a estatística clássica, onde o número de amostras representativas foi determinado pela seguinte equação: $n = t_{\alpha}^2 \times s^2 / D^2$; onde $t =$ valor de tabela em função do grau de liberdade e coeficientes de confiança

(90, 95 e 99%) considerados neste trabalho; s = desvio padrão; D = produto da média pela percentagem de variação, considerando-se neste trabalho 10 e 20% em relação à média com maior precisão para 10%.

Os resultados obtidos mostram que houve uma tendência dos parâmetros analisados apresentarem uma maior variação no horizonte Ap. As percentagens de argila dispersa em água e silte, foram os parâmetros que apresentaram maior variação. Vinte amostras simples são suficientes para representar os parâmetros % de argila, retenção de água, consistência do solo, porosidade total, microporos, e densidade do solo e de partículas; já os demais parâmetros requerem um maior número de amostras. De uma maneira geral, a posição da faixa de amostragem em relação à paisagem, influenciou a variabilidade dos parâmetros percentagem de areia total, argila, retenção de água, porosidade total e consistência do solo, principalmente no horizonte Bw, comprovando a necessidade de se levar em consideração a posição do solo em relação à paisagem no ato da amostragem.

7. SUMMARY

SPATIAL VARIABILITY OF PHYSICAL CHARACTERISTICS AND PROPERTIES OF DUSKY RED LATOSOL (TYPIC ACRORTHOX) FROM LAVRAS MUNICIPAL, MINAS GERAIS STATE, BRAZIL

The spatial variability of characteristics and properties of a Typic Acrorthox was estimated in an area of 21 ha, considered morphologically uniform. A systematic sampling was performed in a 100 m squared area in which soil samples were taken in the diagonal intersection for the Ap (0-20cm) and Bo (100-120cm) horizons.

In order to verify a possible influence of the position of sampling in relation to the landscape in the variability of the parameters studied, the area was subdivided into three subareas according to the position in the slope, being each subarea one treatment with 19 replications. The physical characteristics and properties studied were: texture, bulk density and particle density, soil consistence, water retention at 1/10 and 15 bars, water dispersible clay, porosity and water aggregates stability.

The spatial variability was estimated by a statistical model, in which the number of representative samples was determined

by the equation $n = t^2 \times s^2 / D^2$, where t is the table value as a function of the degrees of freedom and confidence coefficients (90, 95 and 99%); s is the standard deviation; D is the product of the mean times the percentage of variation (10 and 20%), with greater precision for 10%.

The results obtained indicated that the parameters evaluated presented greater variation in the Ap horizon. The percent of water dispersible clay and silt were the parameters that presented the greater variation. Twenty single soil samples were sufficient to represent the following parameters: % of clay, water retention, soil consistence, total porosity, micropores, and bulk and particle density, while the others parameters required a higher number of soil samples. In a general manner, the position of sampling in relation to the landscape influenced the variability of the following parameters: % of total sand and clay water, retention, total porosity and soil consistence; such effects occurred primarily in the Bo horizon which indicate the necessity of considering the landscape position in a sampling procedure.



8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AHUJA, L.R.; NANEY, J.W.; GREEN, R.E. & NIELSEN, D.R. Macroporosity to characterize spatial variability of hydraulic conductivity and effects of land management. Soil Science Society of American Journal, Madison, 48(4):699-702, July/Aug. 1984.
2. ANDRADE, H. Caracterização genética, morfológica e classificação de dois solos do município de Lavras-MG em correlação com a geomorfologia da área, Lavras, ESAL, 1979. 84p. (Tese de MS).
3. BABALOLA, O. Spatial variability of soil water properties in tropical soils of Nigeria. Soil Science, Baltimore, 126(5):269-79, Nov. 1978.
4. BAKER, F.G. & BOUMA, I. Variability of hydraulic conductivity in two subsurface horizons of two silt loam soils. Soil Science Society of American Proceedings, Madison, 40(2):219-22, Mar./Apr. 1976.

5. BALL, D.F. & WILLIAMS, W.M. Variability of soil chemical properties in two uncultivated brown earths. Journal of Soil Science, Edinburgh, 19:379-91, 1962.
6. BASCOMB, C.L. & JARVIS, M.G. Variability in three areas of the denchoworth soil map unit. I. Purity of the map unit and property variability within it. Journal of Soil Science, Edinburgh, 27(3):420-37, Sept./Oct. 1976.
7. BARRETO, A.C.; NOVAIS, R.F. de & BRAGA, J.M. Determinação estatística do número de amostras simples de solo por área para avaliação de sua fertilidade. Revista Ceres, Viçosa, 21(114):142-7, mar./abr. 1974.
8. BAVER, L.D. Soil physics. 3.ed. New York, J. Willey, 1940. 370p.
9. _____; GARNER, W.A. & GARDNER, W.R. Soil physics. 4.ed. New York, J. Wiley, 1972. 498p.
10. BECKETT, P.H.T. & WEBSTER, R. Soil variability: review. Soils and Fertilizers, Farnham Royal, 34(1):1-15, Feb. 1971.
11. BIGGAR, J.W. & NIELSEN, D.R. Spatial variability of the leaching characteristics of a field soil. Water Resources Research, Washington, 12(1):78-84, Feb. 1976.

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

12. BLAKE, G.R. Bulk density. In: BLACK, C.A. Methods of soil analysis; physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling. Madison, American Society of Agronomy, 1965. Pt. 1, p.374-90.
13. _____. Particle density. In: BLACK, C.A. Methods of soil analysis; physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling. Madison, American Society of Agronomy, 1965. Pt. 1, p.374-90.
14. BRASIL. Ministério da Agricultura. Normas climatológicas; (Minas Gerais, Espírito Santo, Rio de Janeiro, Guanabara). Rio de Janeiro, 1969. V.3, 99p.
15. BRESLER, E. Unsaturated flow in spatially variable fields application of water flow models to various fields. Water Resources Research, Washington, 19(2):421-8, Apr. 1983.
16. _____; DAGAN, G.; WAGENET, R.J. & LAUFER, A. Statistical analysis of soil texture and texture effects on spatial variability of soil hydraulic conductivity. Soil Science Society of America Journal, Madison, 48(1):16-25, Jan./Feb. 1984.
17. _____; DASBERG, S.; RUSSO, D. & DAGAN, G. Spatial variability of crop yield as a stochastic soil process. Soil Science Society of American Proceedings, Madison, 45(3):600-5, May/June 1981.

18. CADIMA, A.Z.; LIBARDI, P.L. & REICHARDT, K. Variabilidade espacial da condutividade hidráulica em um Latossolo Vermelho Amarelo textura média, no campo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 4(2):63-6, maio/ago. 1980.
19. CAMPBELL, J.B. Spatial variation of sand content and pH within single contiguous delineations of two soil mapping units. Soil Science Society of American Proceedings, Madison, 42(2):460-4, 1978.
20. CAPUTO, H.P. Plasticidade e consistência dos solos. In:____. Mecânica dos solos e suas aplicações. 3.ed. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 1977. p.60-9.
21. CARVALHO, A.; OLIVEIRA, J.B. & MENK, J.R.F. Variabilidade de características mineralógicas em duas áreas homogêneas de Oxissolos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 14, Santa Maria, 1973. Anais... Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1973. p.602-17.
22. CARVALHO, H.O.; CASSEL, D.K.; HAMMOND, J. & BAVER, A. Spatial variability of in situ unsaturated conductivity of Mardock Sandy Loam. Soil Science, Baltimore, 121(1):1-8, Jan. 1976.
23. CASSEL, D.K. & BAUER, A. Spatial variability in soils below depth of tillage: bulk density and fifteen atmosphere percentage. Soil Science Society of American Proceedings, Madison, 39(2):247-50, Mar./Apr. 1975.

24. CASTRO NETO, P. Notas de aula prática do curso de Agrometeorologia. ESAL, Lavras, 1982. 45p.
25. CATANI, R.A.; GALLO, J.R. & GARGANTINI, H. Amostragem de solo para estudos de fertilidade. Bragantia, Campinas, 14(3): 19-26, nov. 1954.
26. _____ & JACINTO, A.O. Avaliação da fertilidade do solo; métodos de análise. Piracicaba, Livrocere, 1974. 6lp.
27. CHAN, K.Y. Representative sampling for bulk density in a vertisol. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 45(3):668-9, May/June 1981.
28. CHANEY, K. & SWIFT, R.S. The influence of organic matter on aggregate stability in some British soils. Journal of Soil Science, Edinburgh, 35(2):223-30, June 1984.
29. CLAPP, R.B. Estimating spatial variability in soil moisture with a simplified dynamic model. Water Resources Research. Washington, 19(3):739-45, June 1983.
30. CLINE, M.G. Principles of soil sampling. Soil Science, Baltimore, 58:275-88, June/Dec. 1944.
31. DAY, P.R. Particle fractionation and particle size analysis. In: BLACK, C.A., ed. Methods of soil analysis; physical and mineralogical properties including statistics of measurement and sampling. Madison, American Society of Agronomy, 1965. Pt. 1, p.545-67.

32. DELHOMME, J.P. Spatial variability and uncertainty in ground water flow parameters: a geostatistical approach. Water Resources Research, Washington, 15:269-80, 1979.
33. DUCHAUFOR, P. Fisica de suelo. In: _____. Manual de edafologia. Barcelona, Toray-Masson, 1975. p.26-81.
34. FELT, E.J. Compactibility. In: BLACK, C.A., ed. Methods of soil analysis; physical and mineralogical properties, including statistics of measurements and sampling. Madison, American Society of Agronomy, 1965. Pt. 1, p.400-12.
35. FOLORUNSO, O.A. & ROLSTON, D.E. Spatial variability of field measured denitrification gas fluxes. Soil Science Society of American Journal, Madison, 48(6):1214-19, Nov./Dec. 1984.
36. FREIRE, J.C. Retenção de umidade em um perfil oxissol do município de Lavras-MG. Piracicaba, ESALQ, 1975. 76p. (Tese MS).
37. GAJEM, Y.M.; WARRICK, A.W. & MYERS, D.E. Spatial dependence of physical properties of a typic torrifluent. Soil Science Society of American Journal, Madison, 45(4):709-15, July/Aug. 1981.
38. GREMINGER, P.J.; SUD, Y.K. & NIELSEN, D.R. Spatial variability of field measured soil water characteristics. Soil Science Society of American Journal, Madison, 49(5):1075-82, Sept./Oct. 1985.

39. GROHMANN, F. Análise de agregado do solo. Bragantia, Campinas, 19(13):201-14, mar. 1960.
40. _____. Distribuição do tamanho de poros em três tipos de solos do Estado de São Paulo. Bragantia, Campinas, 19(21): 319-28, abr. 1960.
41. _____. Porosidade. In: MONIZ, A.C. Elementos de pedologia. São Paulo, Polígono, 1972. p.77-84.
42. HAMMOND, L.C.; PRITCHETT, W.L. & CHEW, V. Soil sampling in relation to soil heterogeneity. Soil Science Society of American Proceedings, Madison, 22(6):548-52, 1958.
43. IKE, A.F.; JEROME, L. & CLUTTER, L. The variability of forest soils of the Georgia blue ridge mountains. Soil Science Society of American Proceedings, Madison, 32(2):284-8, Mar./Apr. 1968.
44. JACOB, W.L. & KLUTTE, A. Sampling soils for physical and chemical properties. Soil Science Society of American Proceedings, Madison, 20(2):170-2, Apr. 1976.
45. KEMPER, W.D. & CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A., ed. Methods of soil analysis; physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling. Madison, American Society of Agronomy, 1965. Pt. 1, p.499-510.

46. LIBARDI, P.L.; PREVEDELLO, E.A. & MORAES, S.O. Variabilidade espacial da umidade, textura e densidade de partículas ao longo de um traçado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 20, Belém-PA. Resumos... Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1985. p.36.
47. LOW, A.J. The effect of cultivation on the structure and other physical characteristics of grasslands and arable soils (1945-1970). Journal of Soil Science, Oxford, 23(4):363-80, Dec. 1972.
48. LUXMOORE, R.J.; SPALDING, B.P. & MURNO, J.M. Areal variation and chemical modification of weathered shale infiltration characteristics. Soil Science Society of America Journal, Madison, 45(4):687-91, July/Aug. 1981.
49. MADER, D.L. Soil variability; a serious problem in soil site studies in the northeast. Soil Science Society of American Proceedings, Madison, 27(6):707-9, Nov./Dec. 1963.
50. MAUSBACH, M.J.; BRASHER, B.R.; YECK, R.D. & NETTLETON, W.D. Variability of measured properties in morphological matched pedons. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 44(2):358-63, Mar./Apr. 1980.
51. McCORMACK, D.E. & WILDING, L.P. Variation of soil properties within mapping units of soils with contrasting substrates in North Western Ohio. Soil Science Society of American Proceedings, Madison, 33(4):587-93, July/Aug. 1969.

52. MOURA FILHO, W. & BUOL, S.W. Studies of a Latosol Roxo (Eustrustox) in Brazil: description, setting and characterization. Experientiae, 13(7):201-17, abr. 1972.
53. NICHOLS, M.L. & REAVES, G.A. Soil structure and consistency in tillage implement design. Agricultural Engineering, Saint Joseph, 36(8):517-28, Aug. 1955.
54. NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W. & ERH, H.T. Spatial variability of soil water properties. Hilgardia, California, 42(7):214-59, Jan. 1973.
55. NORTCLIFF, S. Soil viability and reconnaissance soil mapping: a statistical study in Norfolk. Journal of Soil Science, Edinburgh, 29(3):403-17, Sept. 1978.
56. ODELL, R.T.; THORNBURN, T.H. & MCKENSIE, L.J. Relationship of atterberg limits to some others properties of Illinois soils. Soil Science Society of American Proceedings, Madison, 24: 297-300, 1960.
57. OLIVEIRA, J.B. & MENK, J.R.F. Variabilidade de características químicas e físicas em duas áreas homogêneas de oxissolo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 14, Santa Maria. Anais... Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1973. p.359-76.

58. OLIVEIRA, L.B. Determinação da macro e microporosidade pela "mesa de tensão" em amostras de solo com estrutura indeformada. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Rio de Janeiro, 3(1):197-200, jan./fev. 1968.
59. OLIVEIRA, M. Comportamento de características e propriedades físicas de um Podzólico Vermelho Amarelo sob condições de pasto natural e cultivo na região de Lavras-MG. Lavras, 1979. 136p. (Tese MS).
60. PETERSEN, R.G. & CALVIN, L.D. Sampling. In: BLACK, C.A. ed. Methods of soil analysis; physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling. Madison, American Society of Agronomy, 1965. Pt. 1, p.54-71.
61. PINTO, F.A.; FERREIRA, P.A.; BERNARDO, S. & OLIVEIRA, L.M. de. Variabilidade da condutividade hidráulica da densidade aparente e da distribuição do tamanho das partículas de um Podzólico Vermelho Amarelo. Revista Ceres, Viçosa, 27(150): 196-214, mar./abr. 1980.
62. PRATT, P.F. Química do solo. Santa Maria, USAID, 1966. 88p.
63. PREZOTTO, M.E.M. Amostragem de solo para fins de avaliação da fertilidade na área de reforma de canaviais. Piracicaba, ESALQ, 1982. 114p. (Tese de Doutorado).

64. RANDO, E.M. Alterações nas características e propriedades físicas de um Latossolo Roxo distrófico, ocasionadas pelo cultivo convencional. Lavras, ESAL, 1981. 160p. (Tese MS).
65. RAIJ, B. van. Avaliação da fertilidade do solo. Piracicaba, Instituto da Potassa & Fosfato/Instituto Internacional da Potassa, 1981. p.125-42.
66. _____ & PEECH, M. Electrochemical properties of some Oxisols and Alfisols of the tropics. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 36(4):587-93, July/Aug. 1972.
67. REED, J.F. & RIGNEY, I.A. Soil sampling from fields of uniform and nonuniform appearance and soil types. Journal of the American Society of Agronomy, Wisconsin, 39(1):26-40, Jan. 1947.
68. REICHARDT, K. A água na produção agrícola. Piracicaba, McGraw-Hill, 1978. 120p.
69. _____. Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera. 4.ed. Campinas, Fundação Cargill, 1985. 445p.
70. RICHARDS, L.A. & FIREMAN, M. Pressure plate apparatus for measuring moisture sorption and transmission by soils. Soil Science, Baltimore, 56:395-404, 1943.
71. RIGNEY, J.A. & REED, J.P. Some factors affecting the accuracy of soil sampling. Soil Science Society of American Proceedings, Madison, 10:257-9, 1945.

72. ROGOWSKI, A.S. Watershed physics: soil variability criteria. Water Resources Research, Washington, 8(4):1015-23, Aug. 1972.
73. RUSSO, D. A geostatistical approach to the trickle irrigation design in heterogeneous soil. Water Resources Research, 19(3):632-42, June 1983.
74. SANCHEZ, P.A. Suelos del tropico; caracteristica y manejo. San José, IICA, 1981. p.301-53.
75. SANTANA, C.J.; PEREIRA, C.P. & CABDALAROSANO, F.P. Amostragem de solos em cacauais do sul da Bahia. Revista Theobroma, Ilheus, 5(1):3-11, Jan./mar. 1975.
76. SANTOS, H.L. & VASCONCELOS, C.A. Determinação do número de amostras de solo para análise química em diferentes condições de manejo. (Não publicado).
77. SISSON, J.B. & WIERENGA, P.J. Spatial variability of steady-state infiltration rates as a stochastic process. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 45(4):699-704, 1981.
78. SNEDECOR, G.W. Statistical methods. Ames, Iowa State College Press, 1940. 422p.

79. SOWERS, G.F. Consistency. In: BLACK, C.A. ed. Methods of soil analysis; physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling. Madison, American Society of Agronomy, 1965. Pt. 1, p.391-9.
80. STOCKTON, J.G. & WARRICK, A.W. Spatial variability of unsaturated hydraulic conductivity. Soil Science Society of American Proceedings, Madison, 35(5):847-8, Oct./Nov. 1971.
81. THORNBURN, T.H. & LARSEN, W.R. A statistical study of soil sampling. Journal of Soil Mechanics Foundation Division, Proceedings American Society Civil Engineering, 85(SM5):1-13, Oct. 1959.
82. TREMOCOLDI, W.A. Study of a Toposequence of soils derived from Bauru sandstone, in the state of São Paulo, Brazil. Purdue, Purdue University, 1982. 92p. (Tese de MS).
83. VAN DE POL, R.M.; WIERECNGA, P.J. & NIELSEN, D.R. Solute movement in a field soil. Soil Science Society of American Journal, Madison, 41(1):10-4, Jan./Feb. 1977.
84. VASCONCELOS, C.A.; SANTOS, H.L.; BAHIA FILHO, A.F.C.; OLIVEIRA, C. & PACHECO, E.B. Amostragem de solo em áreas com adu-
bação fosfatada aplicada a lanço e no sulco de plantio. Re-
vista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 6(3):221-5,
set./dez. 1982.

85. VETTORI, L. Métodos de análises de solos. Rio de Janeiro , Ministério da Agricultura, 1969. 24p. (Boletim técnico , 7).
86. VIEIRA, S.R.; NIELSEN, D.R. & BIGGAR, J.W. Spatial variability of field-measured infiltration rate. Soil Science of American Journal, Madison, 45(6):1040-8, Nov./Dec. 1981.
87. VIEIRA, S.R.; HATFIELD, J.L.; NIELSEN, D.R. & BIGGAR, J. W. Geo-statistical theory and application to variability of some agronomical properties. Hilgardia, California, 51(3): 1-75, June 1983.
88. VOMOCIL, J.A. Porosity. In: BLACK, C.A., ed. Methods of soil analysis; physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling. Madison , American Society of Agronomy, 1965. Pt. 1, p.499-510.
89. WALKER, P.H.; HALL, G.F. & PROTZ, R. Soil trends and variability across selected landscapes in Iowa. Soil Science Society of American Proceedings, Madison, 32(1):97-101, Jan./Feb. 1968.
90. WARRICK, A.W.; MULLEN, G.J. & NIELSEN, D.R. Predictions of the soil water flux based upon field-measured soil water properties. Soil Science Society of American Journal, Madison, 41(1):14-9, Jan./Feb. 1977.

91. WARRICK, A.W. & NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D., ed. Applications of soil physics. New York, Academic Press, 1980. p.319-44.
92. WEBSTER, R. & BECKETT, P.H.T. A study of the agronomic value of soil maps interpreted from air photographs. In: International Congress of Soil Science, 8., Bucharest, 1964. Transactions. 5:795-803.
93. _____ & BURGESS, T.M. Sampling and bulking strategies for estimating soil properties in small regions. Journal of Soil Science, Edinburgh, 35(1):127-40, Mar. 1984.
94. WILDING, L.P. & DREES, L.R. Spatial variability and pedology. In: WILDING, L.P.; SMECHAND, N.E. & HALL, G.F. Pedogenesis and soil taxonomy, New York, 1983. p.83-113.
95. _____; CHAFER, G.M. & JONES, R.B. Morley and blant soils: a statistical summary of certain physical and chemical properties of some selected profiles from Ohio. Soil Science Society of American Proceedings, Madison, 28(5):674-9, Sept/Oct. 1965.

APÊNDICE

QUADRO 14. Valores de média, desvio padrão e intervalo de variação para os parâmetros físicos analisados no horizonte Ap de LRd.

PARÂMETRO	Média	Desvio padrão	Intervalo de variação
Densidade do solo (g/cm ³)	1,15	0,12	0,89 - 1,47
Densidade de partículas (g/cm ³)	2,83	0,16	2,47 - 3,29
Areia total (%)	19	7,40	8 -37
Argila (%)	65	11,90	36 -81
Silte (%)	17	11,38	1 -35
Argila dispersa em água (%)	22	9,77	5 -45
Macro agregados $\varnothing > 1\text{mm}$ (%)	57,98	12,35	25,46 -97,55
Micro agregados $\varnothing < 1\text{mm}$ (%)	42,58	13,18	2,45 -63,20
Carbono orgânico (%) [*]	1,70	0,25	1,09 - 2,32
Porosidade total (%)	59	6,19	51 -67
Macroporos (%)	21	7,32	3 -37
Microporos (%)	38	3,96	31 -50
Água retida a 0,01 MPa (%)	32,0	3,60	22,5 -37,6
Água retida a 1,5 MPa (%)	22,8	2,08	14,6 -25,8
Limite de liquidez (%)	43	2,60	39 -50
Limite de plasticidade (%)	38	5,10	27 -55

* Parâmetro químico. (Metodologia segundo VETTORI (1969)).

QUADRO 15. Valores de média, desvio padrão e intervalo de variação para os parâmetros físicos analisados no horizonte Bw de LRd.

PARÂMETRO	Média	Desvio padrão	Intervalo de variação
Densidade do solo (g/cm^3)	0,95	0,09	0,72- 1,30
Densidade de partículas (g/cm^3)	2,85	0,12	2,57- 3,06
Areia total (%)	17	6,57	7-33
Argila (%)	64	9,39	46-81
Silte (%)	19	8,26	6-36
Argila dispersa em água (%)	14	16,99	0-60
Macro agregados $\varnothing > 1\text{mm}$	29,07	8,54	10,96-55,04
Micro agregados $\varnothing < 1\text{mm}$	70,28	10,17	28,93-89,04
Carbono orgânico (%) [*]	0,77	0,24	0,27- 1,23
Porosidade total (%)	67	3,68	53-71
Macroporos (%)	33	6,63	6-42
Microporos (%)	34	4,04	25-47
Água retida a 0,01 MPa (%)	31,5	3,89	23-38
Água retida a 1,5 MPa (%)	23,5	2,40	18-27
Limite de liquidez (%)	47	4,08	42-56
Limite de plasticidade (%)	4	3,94	36-54

* Parâmetro químico. (Metodologia segundo VETTORI (1969)).