

MICROVARIÇÃO E MICROESTEREOMETRIA DA
ARGILA ILUVIADA EM QUATRO
PERFIS DE SOLOS

Dilermundo Perecin

Engenheiro Agrônomo, Mestre

Prof. Dr. Douglas Alberto Ferraz de Campos
ORIENTADOR

Tese apresentada à Escola Superior de Agricultura
"Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo,
para obtenção do título de Doutor

PIRACICABA
Estado de São Paulo
1974

À minha esposa

D E D I C O

A G R A D E C I M E N T O S

Pelo auxílio prestado na execução desse trabalho o autor agradece as seguintes pessoas e entidade:

Prof. Dr. Douglas Alberto Ferraz de Campos

Prof. Dr. Humberto de Campos

Prof. João José Oliveira Filho

Prof. Virgílio Franco do Nascimento Filho

Prof. Dr. David Arioaldo Banzatto

Prof. Dr. Rafael Roberto Aloisi

Prof. Dr. Orlando de Toledo Piza

Prof. Dr. Evaristo Ribeiro Filho

Prof. Evoneo Berti Filho

Prof. Wanderley José de Melo

Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo

ÍNDICE

	Página
1 - INTRODUÇÃO	1
2 - REVISÃO DA LITERATURA	3
2.1 - Base Matemática da Determinação Volumétrica de Constituintes em Seções Delgadas	3
2.1.1 - Proporcionalidade de áreas e volumes	4
2.1.2 - Proporcionalidade de contagem de pon- tos e volume	6
2.1.3 - Avaliação do erro do método	7
2.1.4 - Efeito da espessura da seção delgada e do tamanho do constituinte a ser determinado .	8
2.2 - Determinação Quantitativa de Argila Iluviada em Seções Delgadas	12
2.3 - Migrações de Argila e Classificação de Solos	14
2.3.1 - Em função da textura	15
2.3.2 - Em função da argila iluviada	16
3 - MATERIAIS E MÉTODOS	18
3.1 - Materiais	18
3.1.1 - Solos	18
3.1.2 - Material de impregnação	19
3.1.3 - Microscópio e acessórios	19
3.1.4 - Computador de mesa	19
3.2 - Métodos	20
3.2.1 - Impregnação de amostras inalteradas de solos	20
3.2.2 - Obtenção de seções delgadas	21
3.2.3 - Exame das seções delgadas	22
3.2.4 - Ajustamento dos dados a distribuições teóricas	24

	Página
3.2.4.1 - Binomial comum	25
3.2.4.2 - Poisson	25
3.2.4.3 - Binomial generalizada	26
3.2.4.4 - Teste χ^2	26
3.2.5 - Amostragem adequada	27
3.2.5.1 - Número de pontos por seção delgada ...	27
3.2.5.2 - Número de seções delgadas por sub- horizonte	28
4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
4.1 - Observações Micromorfológicas	30
4.2 - Percentagem de Argila Iluviada	42
4.3 - Teste de Ajustamento a Distribuições Teóricas ...	48
4.4 - Número de Pontos a Ser Tomado por Seção Delgada .	51
4.5 - Número de Seções Delgadas a Ser Tomado por Sub- horizontes	62
5 - CONCLUSÕES	67
6 - RESUMO	69
7 - SUMMARY	70
8 - LITERATURA CITADA	71
9 - APÊNDICE	79

1 - INTRODUÇÃO

Microvariações representam as variações encontradas em características e propriedades de solos, considerando-se perfis individuais, VAZHENIN et al (1969). Sua ocorrência pode conduzir à necessidade de se estudar solos, por meios estatísticos, mediante um número adequado de amostras, VAZHENIN et al (1969) , OLIVEIRA (1972).

Microestereometria é uma técnica microscópica que possibilita obter volume, analisando seções planas do corpo, SCHAEFER (1970). Seus métodos têm sido aplicados em biologia, medicina, metalurgia, geologia, pedologia. Em pedologia são usados na determinação volumétrica de constituintes minerais, de porosidade, de argila iluviada, através de seções delgadas.

O SOIL SURVEY STAFF (1967) , em seu sistema de classificação de solos, exige, para caracterização de horizonte argílico, um acréscimo no teor de argila ou a ocorrência de pelo menos 1% de argila iluviada em seções transversais ao perfil do solo. A determinação do teor de argila iluviada tem sido realizada por método microestereométrico, através de seções delgadas, com o auxílio de contadores de pontos adaptados ao microscópio.

Nas regiões intertropicais úmidas, o material de origem dos solos é comumente representado por produtos de alteração de rochas, remanejados, geralmente evidenciados por linhas de seixos. Sob tais condições torna-se pouco provável admitir que diferenças no teor de argila, entre horizontes, possam ser inteiramente atribuídas ao processo de eluviação e iluviação.

Assim, em nosso meio, para classificação do horizonte argílico, a identificação e a quantificação da argila iluviada ganha maior importância. Entretanto, a determinação de argila iluviada, através de seções delgadas com auxílio de contadores de pontos adaptados ao microscópio, está sujeita a uma série de erros, dentre os quais se destacam: do método, de microvariações, da identificação e da delimitação da argila iluviada, da obtenção de seções delgadas.

Considerando ser a quantificação da argila iluviada fundamental para classificação de solos e ser necessário o conhecimento de erros envolvidos, propôs-se apresentar, ao nível de microvariações, aspectos de: (1) viabilidade da aplicação de método microestereométrico na determinação da argila iluviada, (2) erros envolvidos, (3) cálculo de amostragem adequada.

Para tal, foram estudadas, com o ocular de integração, 63 seções delgadas de horizontes de quatro perfis de solos, levantando-se um total de 460.000 pontos.

Foram obtidas estimativas dos erros do método e das microvariações e, com base nesses dados, calculados o número de seções delgadas e o número de pontos necessários para amostrar horizontes argílicos.

2 - REVISÃO DA LITERATURA

2.1 - BASE MATEMÁTICA DA DETERMINAÇÃO VOLUMÉTRICA DE CONSTITUINTES EM SEÇÕES DELGADAS

Embora sem apresentar deduções matemáticas, Delesse, em 1848, (KRUMBEIN e PETTIJOHN, 1938) anunciou que a proporção volumétrica de constituintes em uma massa homogênea corresponde à proporção de áreas de seções desse corpo.

Aspectos sobre a evolução e aplicação desse conceito podem ser vistos em KRUMBEIN e PETTIJOHN (1938), CHAYES (1956). Em 1898, ou seja, 50 anos após o conceito inicial, Rosiwal mostrou que a determinação de áreas poderia ser substituída pela soma de segmentos (análise linear). Posteriormente introduziu-se a determinação de área através da contagem de pontos (análise de pontos).

Baseados nesses conceitos desenvolveram-se métodos aplicáveis em estudos de microscopia nos diversos campos da ciência, KRUMBEIN e PETTIJOHN (1938), CHAYES (1956), JACKSON e ROSS (1956), MANDARINO (1956), PLAFKER (1956), EMERSON (1958), FITCH (1959), SMITHSON (1963), DANIELS et al. (1968), GANDER (1970).

Esse tipo de análise é comumente denominado de "Análise Modal", CHAYES (1956), JACKSON e ROSS (1956), ANDERSON e BINNIE (1961), SMITHSON (1963). Por outro lado, SCHAEFER (1970) e outros autores por ele citados, classificam-na como pertencente ao campo da estereologia.

Segundo SCHAEFER (1970) a estereologia preocupa-se em obter informações qualitativas e quantitativas, examinando seções planas de corpos. Microestereologia compreende sua aplicação com auxílio do microscópio. Por métodos microestereométricos pode-se obter dados quantitativos em seções delgadas ou blocos polidos de solos.

SCHAEFER (1970) deduz fórmulas entre as quais, a que proporciona maior compreensão das relações geométricas entre a área obtida de seções de constituintes e volume, área superficial, superfície específica, número de constituintes de um corpo.

No presente trabalho utiliza-se a proporcionalidade entre contagem de pontos em seções delgadas e volume do constituinte no corpo. Demonstração dessa proporcionalidade, incluindo erros envolvidos, foi adaptada dos trabalhos de CHAYES (1954, 1956), ANDERSON e BINNIE (1961) e SCHAEFER (1970) e é apresentada a seguir.

2.1.1 - Proporcionalidade de Áreas e Volumes

Verifica-se que: Em uma massa heterogênea em que os componentes são casualmente distribuídos a proporção de áreas em uma ou no total de seções de área suficientemente representativa é a mesma da proporção volumétrica.

Seja um sistema de coordenadas retangulares (x, y, z) , ao acaso, dentro da massa do solo e seja V_t o volume de solo num intervalo compreendido entre as ordenadas $a \leq z \leq b$. Se seccionarmos essa massa heterogênea por um plano P , perpendicular ao eixo z , um determinado constituinte i será seccionado w vezes, determinando uma área S_i que é a soma das w pequenas áreas. A área total determinada pelo plano P será S_t .

O plano P foi tomado, ao acaso, no intervalo $a \leq z \leq b$ e a probabilidade de ocorrência de uma ordenada, nesse intervalo, é 1. Pode-se escrever que

$$1 = \int_a^b f(z) dz \quad (1)$$

onde $f(z)$ é a função densidade probabilística sobre o intervalo. Como qualquer ordenada apresenta a mesma probabilidade tem-se:

$$f(z) = \frac{1}{b-a} \quad (2)$$

Desde que o valor S_i sofrerá uma variação do acaso, com uma densidade probabilística idêntica a do plano P , a esperança matemática (ou seu valor médio esperado) pode ser dado pela expressão:

$$E(S_i) = \int_a^b S_i f(z) dz \quad (3)$$

que resolvendo resulta

$$E(S_i) = \frac{V_i}{b-a} \quad (4)$$

onde V_i é o volume resultante da integração da área S_i no intervalo $a \leq z \leq b$, correspondendo ao volume total do constituinte i no intervalo. Por razão idêntica, a área total pode ser expressa como:

$$E(S_t) = \frac{V_t}{b-a} \quad (5)$$

Das equações (4) e (5) resulta

$$\frac{E(S_i)}{E(S_t)} = \frac{V_i}{V_t} \quad (6)$$

Essa equação mostra que a proporção de áreas médias é idêntica à proporção de volumes. A determinação de proporções volumétricas é assim reduzida a medidas de áreas. Essa pode, por exemplo, ser determinada com um planímetro sobre microfotografia.

Se a área é determinada em um único plano a melhor estimativa da área média $E(S_i)$ será o próprio S_i . Se a análise é feita em n planos a melhor estimativa de $E(S_i)$ é dada por

$$\frac{\sum S_i}{n}$$

2.1.2 - Proporcionalidade de Contagem de Pontos e Volumes

A área pode, como se demonstra a seguir, ser estimada pela contagem de pontos, fazendo com que a proporcionalidade de volume possa ser determinada pela contagem de pontos.

Seja S_i a área de um constituinte i contido na área S_t anteriormente referida. A probabilidade p de que um ponto da área maior pertença à menor é, por definição, a proporção das duas áreas

$$p = \frac{S_i}{S_t} \quad (7)$$

Se n pontos são casualmente locados na área maior, na menor espera-se n_i

$$E(n_i) = np \quad (8)$$

Donde,

$$\frac{E(n_i)}{n} = \frac{S_i}{S_t} \quad (9)$$

A equação (9) estabelece que a relação entre o número de pontos n_i esperado na área S_i e o número total de pontos n é igual à proporção de áreas.

A estimativa de n_i torna-se melhor quando n aumenta. No limite, quando n se aproxima do infinito, a proporção n_i/n será a proporção de áreas

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n_i}{n} = \frac{S_i}{S_t} \quad (10)$$

Para utilização em microscopia os pontos são locados no plano focal da ocular e são vistos sobre o objeto em observação. O arranjo dos pontos é secundário, desde que não ocorram concentrações. O número de pontos por campo de observação está entre o máximo uso da informação estereológica (muitos pontos) e a facilidade de contagem (poucos pontos); usualmente empregam-se 20 a 50 pontos. A ocular de integração Zeiss contém 25 pontos, a quadrícula de MERZ, 36 e a de WEIBEL, 42 pontos.

As equações (6) e (9) são fundamentais em estereologia e permitem a obtenção de volume a partir da contagem de pontos.

2.1.3 - Avaliação do Erro do Método

É característica dos métodos estatísticos que o resultado obtido é uma estimativa do valor verdadeiro, sendo importante o intervalo de confiança dos resultados.

A probabilidade p de que um ponto da área S_t pertença a S_i é dada pela equação (7) e a contrária é:

$$q = \frac{S_t - S_i}{S_t} = 1 - p \quad (11)$$

Admitindo-se que o constituinte i , a ser determinado, apresenta-se em todas microáreas examinadas em proporção idêntica à da equação (7) e examinando-se conjuntos de pontos, por exemplo 25 por posição, tal como acontece com a ocular de integração Zeiss (Figura 1), tem-se situação análoga à de uma caixa contendo proporcionalmente p bolas pretas

e q bolas brancas, da qual são retirados conjuntos de bolas, por exemplo 25 de cada vez. As probabilidades de se obter, 0, 1, 2, ..., 25, bolas pretas poderão ser calculadas pela distribuição binomial.

Reduzindo-se para proporções, a distribuição esperada é a binomial, aproximando-se da normal com o crescimento do número de pontos examinados por posição, SPIEGEL (1969).

O desvio padrão (σ) da distribuição de proporções é dado pela equação:

$$\sigma = \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}} \quad (12)$$

onde n é o número total de pontos e p , a proporção esperada de um constituinte particular (ou de bolas pretas, na analogia estabelecida).

O desvio padrão da distribuição, em percentagem do todo, é dado pela equação:

$$\sigma' = 100 \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}} \quad (13)$$

2.1.4 - Efeito da Espessura da Seção Delgada e do Tamanho do Constituinte a Ser Determinado

A determinação microestereométrica pressupõe determinação de proporções de áreas.

Vários fatores levam a distorções na determinação da área total S_i de um constituinte particular. Um deles refere-se ao tamanho do constituinte que, dependendo do poder de resolução do microscópio, pode se tornar pequeno, sendo difícil enquadrá-lo como área. Outro fator, descrito inicialmente para minerais opacos, recebe o nome de efeito "Holmes", CHAYES (1956). Nesses minerais a determinação micro

estereométrica, com auxílio de luz transmitida, superestima o seu volume. A magnitude desse efeito, em constituintes de baixa simetria, é difícil de ser avaliada. Um caso teórico é analisado a seguir.

Seja uma esfera opaca de raio r , com centro em $z = r$ do sistema de coordenadas retangulares referido no ítem 2.1.1, da qual se obtém uma seção, de espessura $k < r$, perpendicular ao eixo z .

A esfera situa-se no intervalo $0 \leq z \leq 2r$. Em microestereometria a área que se pretende determinar é o círculo de ordenada superior z . Seja g o seu raio e A_g sua área. Paralelamente à A_g , na espessura da seção, com ordenada menor que z , existem infinitos círculos. Seja g o raio e A_g a área do círculo de maior área desse intervalo de ordenada maior ou igual a $(z - k)$ e menor que z .

Verifica-se que serão obtidas seções com área maior que zero no intervalo $0 < z < (2r + k)$.

De acordo com o raciocínio utilizado em 2.1.1, seccionando-se a esfera tem-se que:

$$1 = \int_0^{2r+k} F(z) dz \quad (14)$$

onde z é a ordenada da superfície superior da seção de espessura k . Como qualquer ordenada apresenta a mesma probabilidade tem-se:

$$F(z) = \frac{1}{2r+k} \quad (15)$$

Verifica-se que a área A_g está restrita ao intervalo $0 < z < 2r$ e seu valor será:

$$A_g = \pi (2rz - z^2) \quad (16)$$

O valor médio esperado para A_s é a esperança matemática dada por:

$$E(A_s) = \frac{\pi}{2r+k} \int_0^{2r} (2rz - z^2) dz = \frac{4\pi r^3}{3(2r+k)} \quad (17)$$

No caso de A_g , a área será maior que zero no intervalo $0 < z < (2r+k)$. O valor da área A_g sofre variações conforme o intervalo considerado, sendo igual a A_s no intervalo $0 < z < r$ e maior que esta, fora desse intervalo. Quando A_g for maior que A_s e a determinação for feita por meio de luz transmitida, aquela área pode ser determinada no lugar desta, introduzindo-se um erro que é conhecido como efeito "Holmes".

Verifica-se que:

$$A_g = \pi (2rz - z^2), \text{ no intervalo } 0 < z < r \quad (18.a)$$

$$A_g = \pi r^2, \text{ no intervalo } r < z \leq (r+k) \quad (18.b)$$

$$A_g = \pi \left[2r(z-k) - (z-k)^2 \right], \text{ no intervalo } (r+k) < z < (2r+k) \quad (18.c)$$

Das equações (18) e (15) resulta que o valor médio de A_g esperado será:

$$\begin{aligned} E(A_g) &= \frac{\pi}{2r+k} \int_0^r (2rz - z^2) dz + \frac{\pi r^2}{2r+k} \int_r^{r+k} dz + \\ &+ \frac{\pi}{2r+k} \int_{r+k}^{2r+k} \left[2r(z-k) - (z-k)^2 \right] dz = \\ &= \frac{2\pi r^3}{3(2r+k)} + \frac{\pi r^2 k}{(2r+k)} + \frac{2\pi r^3}{3(2r+k)} \quad (19) \end{aligned}$$

O fator de correção (C) a ser multiplicado pela área determinada (A_g) para se obter a área real (A_s) será:

$$C = \frac{E(A_s)}{E(A_g)} = \frac{4r}{4r + 3k} \quad (20)$$

Essa equação pode ser reescrita como:

$$(C - 1)(r/k + 3/4) = - 3/4 \quad (21)$$

Verifica-se que a superestimação de A_s diminui com o aumento da relação entre o raio da esfera (r) e a espessura da seção delgada (k).

Plotando-se C no eixo das ordenadas e r/k nas abscissas de um sistema de coordenadas retangulares tem-se uma hipérbole com assíntotas $r/k = - 3/4$ e $C = 1$. Para r/k positivo, tem-se C menor que 1, o que mostra que a área que se quer determinar, em seções opacas, é superestimada. Exemplificando as relações r/k de 100 ; 10 ; 1 e 0,1 ; a área A_s que se quer determinar representa, em percentagem, respectivamente, 99,26 ; 93,02 ; 57,14 e 11,76 da área determinada A_g .

Na prática, observações através de luz transmitida superestimam a área de substâncias opacas ou em extinção, em um meio transparente. Substâncias com relevo contrastante podem superestimar ou subestimar a área. Determinações da porosidade são subestimadas. Em determinações do teor de argila iluviada os erros discutidos neste ítem podem ocorrer, ou seja: (1) subestimando a área, pela existência de películas (argilãs) muito finas que não podem ser computadas, por estarem além do poder de resolução do microscópio ; (2) superestimando a área nos casos em que A_g é maior que A_s . Essa superestimação será maior quando o levantamento for realizado com auxílio do analisador, o que em alguns casos torna-se necessário, observando películas em extinção.

Segundo PERECIN (1973) , PERECIN et al (1974) , a argila iluviada apresenta-se em extinção permanente, quando seccionada paralela - mente à superfície de deposição, e extinção em faixas, linhas ou unidades que se repetam toda vez que o traço da superfície de deposição torna-se paralelo a uma das direções de vibração do microscópio, quando seccionada inclinada ou perpendicularmente à superfície de deposição.

2.2 - DETERMINAÇÃO QUANTITATIVA DE ARGILA ILUVIADA EM SEÇÕES DELGADAS

A identificação de argila iluviada em seções delgadas, sob microscópio polarizante, e sua interpretação quanto à gênese de solos é amplamente discutida na literatura, McCaleb (1954) , BREWER (1956 , 1960 , 1964 , 1972 , 1973) , MINASHINA (1958) , STEPHEN (1960) , SOIL SURVEY STAFF (1960 , 1967) , RUTHERFORD (1964 , 1967) , BOUMA et al (1968) , BOUMA e SCHUYLENBORGH (1969) , KREMER (1969) , SCHUYLENBORGH et al (1970) , FALCI (1972) , MAGNIANT et al (1973) , PERECIN (1973) , PERECIN et al (1974).

Diferenças da argila iluviada com o s-matriz têm sido discutidas quanto aos aspectos químicos, físicos, mineralógicos e micromorfológicos em BREWER e HALDANE (1957) , BUOL e HOLE (1959 , 1961) , GROSSMAN et al (1964) , PARFENOVA et al (1964) , RUTHERFORD (1964) , GROSSMAN e LYNN (1967) , KHALIFA e BUOL (1968) , HILL (1970) , MILLER et al (1971). LYNN e GROSSMAN (1970) , ESWARAN (1971) , DOBROVOL'SKIY e SHOBA (1972) discutem aspectos micromorfológicos da argila iluviada e do s-matriz utilizando aumentos de 1.000 a 10.000 vezes, fornecidos pelo "electron scanning microscope".

A quantificação da argila iluviada por meio de seções delgadas tem sido apresentada na literatura, podendo-se citar, BUOL e HOLE

(1961) , MILFRED et al (1967) , BOUMA et al (1968) , BREWER (1968) , NETTLETON et al (1968) , SMECK et al (1968) , BREWER e WALKER (1969) , BEN-NEMA et al (1970) , SCHUYLENBORGH et al (1970) , GROSSMAN e FEHRENBACHER (1971) , MIEDEMA e SLAGER (1972) , PERECIN (1973) . No entanto, a maioria desses autores apresentam apenas a percentagem de argila iluviada e algumas interpretações pedogenéticas sem levar em conta as microvariações e os erros envolvidos.

Tomando-se por base o quadro apresentado por BREWER (1964 , pág. 48) ou o nomograma de PLAS e TOBI (1965) obtêm-se estimativas dos erros devidos exclusivamente quanto ao método envolvido nos contadores de pontos (item 2.1.3) . Assim, a exatidão a que se referem BREWER (1968), quando conta 20.000 pontos por seção delgada, BOUMA et al (1968) e MIEDEMA e SLAGER (1972) , quando contam cerca de 1.500 pontos por seção delgada, deve-se aos erros previstos nos contadores de pontos.

Na literatura há poucos estudos sobre a variação do teor de argila iluviada dentro de cada seção delgada ou entre seções delgadas de um mesmo horizonte. Sobre esses aspectos foram encontradas referências apenas nos trabalhos de GROSSMAN (1964) e MILFRED et al (1967) . Entretanto essas microvariações deveriam ser sempre consideradas ao se estabelecer uma amostragem adequada.

GROSSMAN (1964) salienta que as medições de volume de argila iluviada, em seções delgadas, de acordo com os procedimentos utilizados em literatura, não são inteiramente satisfatórios pois as variações entre seções delgadas são grandes e há dúvidas de que o material examinado seja representativo do todo. Para evitar o exame de muitas seções , descreve método para montar seção delgada composta que representa grande número de amostras ao acaso. Entretanto, esse tipo de amostragem tem a desvantagem de ser trabalhoso e de não fornecer a exatidão dos resultados.

MILFRED et al (1967), em um perfil de solo Typic Hapludalf, emprega o método de amostragem em três estágios, descritos em SNEDECOR (1956), admitindo erros de 10% em torno da média. Para o caso de argila iluviada a amostra recomendada foi: 1.000 pontos por seção delgada (arbitrário), duas seções delgadas por bloco amostrado e vinte blocos por perfil de solo. Convém, no entanto, salientar que esse tipo de amostragem só seria adequado se as variâncias dentro dos estágios fossem semelhantes, pois a amostra é função de uma variância final que pode ser obtida por inúmeras combinações das variâncias de cada um dos estágios.

Sem levar em conta as microvariações, MIEDEMA e SLAGER (1972) propõem três conceitos para interpretação pedogenética da iluviação da argila: (1) a proporção de argila iluviada por seção delgada ou subhorizonte, dividida em cinco classes, varia de negligível (menor que 0,3% em volume) a muito forte (maior que 7%); (2) a proporção de retrabalhamento da argila, subdividida em três classes, varia de fraca (menos de 30% de retrabalhamento) a forte (mais de 70%); (3) índice de iluviação por perfil, subdividido em quatro classes, varia de muito baixo (menor que 50% cm) a muito alto (maior que 700% cm). Este índice é calculado através da soma dos produtos da percentagem de argila iluviada pela espessura (em cm) de cada horizonte.

2.3 - MIGRAÇÕES DE ARGILA E CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS

A migração de argila promove a formação de horizonte argílico que, segundo o SOIL SURVEY STAFF (1967), pode ser identificado em função da textura ou através do teor de argila iluviada observado em seções delgadas. Como será discutido neste ítem, há restrições para aplicação dos dois critérios.

2.3.1 - Em Função da Textura

O critério de identificação do horizonte argílico é:

- a) Se o horizonte eluvial contém mais do que 40% de argila, o horizonte argílico deve apresentar pelo menos 8% a mais de argila (por exemplo, 60% contra 68%).
- b) Se o horizonte eluvial contém entre 15 a 40% de argila, o horizonte argílico deve apresentar percentagem de argila 1,2 vezes maior (por exemplo, 20% contra 24%).
- c) Se o horizonte eluvial contém menos do que 15% de argila, o argílico deve apresentar pelo menos 3% a mais de argila.
- d) Nos três casos, a diferença na percentagem de argila deve ocorrer dentro de 30 cm.

WAMBEKE (1972) apresenta expressões matemáticas para o estudo do processo de e-iluviação em solos. Propõe um índice de eluviação K para avaliar a intensidade de migração de argila. Considera que índice de eluviação similar expressa comparável intensidade de movimento de argila. Mostra que: (1) para um mesmo valor de K obtêm-se maiores diferenças texturais em horizontes eluviais com argila em torno de 50% ; (2) os limites do SOIL SURVEY STAFF requerem intensidade de eluviação mais baixa em solos arenosos ($K = 0,140$) que em argilosos ($K = 0,204$) ; (3) em solos muito argilosos, para se alcançar diferença textural de 8% , há necessidade de índice K muito alto, o que explica a ocorrência de alguns solos argilosos, semelhantes a Ultissolos e Alfissolos, e que, por não apresentarem a diferença de 8% , não são incluídos nessas ordens. Além dessas restrições o critério de identificação do horizonte argílico só será adequado se: (1) o solo for desenvolvido "in situ" , possuir iguais quantidades de argila original no

horizonte eluvial e no iluvial ; (2) o solo apresentar horizonte eluvial intacto ; (3) a textura do material de origem do solo for uniforme, apresentando, antes de iniciar o processo de e-iluviação, igual percentagem de argila em toda a sua espessura.

Desde que em regiões tropicais a ocorrência simultânea das condições 1 e 2 ou 2 e 3 pode ser considerada restrita, a aplicação do critério 2.3.1 é problemática.

2.3.2 - Em Função da Argila Iluviada

Para classificação de horizonte argílico, segundo o SOIL SURVEY STAFF (1967) , é necessário um mínimo de 1% de argila iluviada, determinado em seções transversais ao perfil do solo. Não há considerações sobre os erros envolvidos.

Tomando por base o nomograma de PLAS e TOBI (1965) , que apresenta erros de determinações volumétricas por contadores de pontos, MIEDEMA e SLAGER (1972) julgam necessário uma redefinição do mínimo de argila iluviada exigido para classificação do horizonte argílico.

Por outro lado, em solos com alto poder de contração e dilatação, a identificação da argila iluviada, por meio de seções delgadas, torna-se problemática pois as cutãs (argilãs) podem ser destruídas durante as contrações e dilatações do solo, NETTLETON et al. (1969). Nesses solos pode haver diferenciação textural entre horizontes, pelo processo de e-iluviação, e impossibilidade de identificação da argila iluviada em seções delgadas.

Na prática, é comum a ocorrência de perfis que: (1) exibem diferenciação textural entre seus horizontes e não apresentam argila iluviada ; (2) a maior percentagem de argila não se encontra no horizonte iluvial ; (3) a contribuição da argila iluviada é insuficiente para responder pela relação textural, BREWER (1955 , 1968) , GROSSMAN e FEHRENBACHER (1971) , REYNDERS (1972) , PERECIN (1973).

Nas nossas condições, onde a maioria dos solos tem como material de origem produtos retrabalhados, torna-se pouco provável admitir que as diferenças no teor de argila, entre horizontes, possam ser inteiramente atribuídas ao processo de eluviação e iluviação. Assim, considerando que os nossos solos no geral apresentam baixo poder de contração e dilatação, deve-se, para a classificação do horizonte argílico, dar maior importância ao critério 2.3.2 . Em função desses aspectos e, considerando que a influência dos erros envolvidos não tem sido inteiramente apreciada, foi proposta a realização desse trabalho.

3 - MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 - MATERIAIS

3.1.1 - Solos

Foram estudados quatro perfis de solos do Estado de São Paulo. A classificação, ao nível de grande grupo, e os trabalhos onde se pode obter informações detalhadas sobre esses solos são apresentadas a seguir.

PERFIL 1 (P₁) :

Descrito por ALOISI (1973), sendo protocolado como P₃. Localizado no município de Jaboticabal ; classificado por ALOISI (1973), segundo o critério da COMISSÃO DE SOLOS (1960), como Solos Podzolizados de Lins e Marília - variação Lins e, de acordo com o SOIL SURVEY STAFF (1967) , como Orthoxic Ultic Tropudalf.

PERFIL 2 (P₂) :

Descrito por ALOISI (1973), sendo protocolado como P₂. Localizado no município de Jaboticabal ; classificado por ALOISI (1973), segundo o critério da COMISSÃO DE SOLOS (1960), como Solos Podzolizados de Lins e Marília - variação Marília e, de acordo com o SOIL SURVEY STAFF (1967) , como Typic Tropudalf. Situado em uma catena com o P₁ (Lins), ocupando posição topográfica superior.

PERFIL 3 (P₃) :

Descrito e classificado inicialmente por RANZANI et al (1966), como perfil modal da série Luiz de Queiroz. Localizado no município de Piracicaba ; classificado por MARCOS (1971), segundo o critério da COMISSÃO DE SOLOS (1960), como Terra Roxa Estruturada e, segundo o SOIL SURVEY STAFF (1967) , como Oxic Rhodustalfs.

PERFIL 4 (P₄) :

Descrito por RANZANI et al (1966), como perfil modal da série Ibitiruna. Localizado no município de Piracicaba ; classificado por RANZANI et al (1966) , segundo o critério da COMISSÃO DE SOLOS (1960), como Podzólico Vermelho Amarelo - variação Laras e, segundo o SOIL SURVEY STAFF (1960), como Psammentic Typochrult.

3.1.2 - Material de Impregnação

Foram utilizados: resina acrílica de polimerização lenta, peróxido de benzoíla, dessecador com funil de separação, bomba de vácuo, estufa com controle de temperatura.

3.1.3 - Microscópio e Acessórios

As observações micromorfológicas foram realizadas sob microscópio polarizante, marca CARL ZEISS , modelo STANDARD RP 48.

Para a determinação do volume de argila iluviada empregou-se a ocular de integração I , marca CARL ZEISS , Kpl 8,0 x . Essa ocular possui em seu plano focal uma rede de 25 pontos (Figura 1) que, no microscópio, se observa projetada sobre a seção delgada em análise.

3.1.4 - Computador de Mesa

Os dados foram processados mediante programações executadas por computador eletrônico de mesa, marca Olivetti, modelo Programa 101.

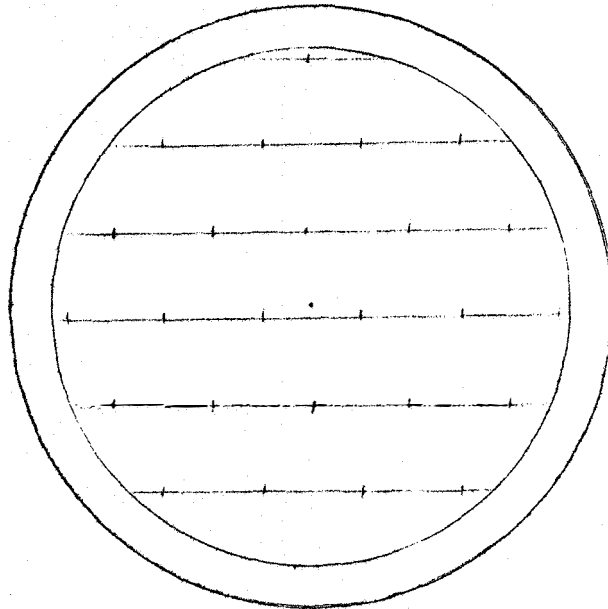


Figura 1 - Retículo da ocular de integração Zeiss.

3.2 - MÉTODOS

3.2.1 - Impregnação de Amostras Inalteradas de Solos

Em trincheiras convenientemente abertas foram coletadas amostras inalteradas de solos. Essas amostras foram trazidas para laboratório, tomando-se os cuidados convencionais em trabalhos de micromorfologia de solos, KUBIENA (1938) , BREWER (1964).

As amostras dos horizontes dos perfis foram coletadas na forma de amostras orientadas, KUBIENA (1938) , BREWER (1964). Desse material foram obtidas amostras para impregnação.

Às amostras obtidas para impregnação deu-se a denominação de blocos. Esses blocos apresentavam forma cilíndrica com diâmetro de 5 cm e altura de 10 cm , aproximadamente. Em alguns horizontes, nos quais se esperava ausência ou menor proporção de argila iluviada, retirou-se apenas um bloco da sua parte central. Dos demais foram retirados dois blocos da parte central do horizonte; o superior recebeu a denominação do horizonte acrescido de Sup (superior) e o inferior, acrescido de Inf (inferior).

Esses blocos foram impregnados com acrílico de polimerização lenta, segundo CAMPOS et al (1973).

3.2.2 - Obtenção de Seções Delgadas

Dos blocos impregnados foram obtidas seções delgadas de espessura em torno de 30 micros e diâmetro com cerca de 3 cm , segundo CAMPOS et al (1973). Para o perfil 4, utilizaram-se seções já obtidas em trabalho anterior, PERECIN (1973).

No Quadro 3.2.1 apresentam-se os horizontes dos perfis, os blocos e seções delgadas obtidos. O teor de argila total dos perfis 1 e 2 foi obtido por ALOISI (1973) , do perfil 3 por MARCOS (1971) e do perfil 4 por MARCONI (1969).

Inicialmente foi obtida apenas uma seção delgada por bloco e, após exame qualitativo, foram eleitos, em função do teor de argila iluviada presente, blocos para serem estudados com mais de uma repetição.

3.2.3 - Exame das Seções Delgadas

Inicialmente realizou-se exame qualitativo, empregando diversos aumentos. Na descrição das características adotou-se a nomenclatura de BREWER (1964) adaptada por PERECIN (1973).

Após exame qualitativo foram eleitas 46 seções delgadas para quantificar a argila iluviada. A determinação quantitativa, para cada seção delgada, foi realizada com a ocular de integração em 400 posições diferentes, aqui denominadas campos. Para o aumento utilizado, cada campo corresponde a uma área de aproximadamente $1,6 \text{ mm}^2$.

A identificação da argila iluviada foi realizada, ao microscópio, em função do grau de separação com o s-matriz, orientação, estratificação, localização, segundo STEPHEN (1960), BREWER (1960), BREWER (1960 e 1964), PERECIN (1973). Nas observações realizadas com o analisador o polarizador foi levemente deslocado da posição de 90° , possibilitando a identificação do grau de orientação, sem escurecimento intenso do campo.

O índice de iluviação do perfil foi calculado, segundo o critério de MIEDEMA e SLAGER (1972), tomando-se volumes médios de argila iluviada por subhorizonte.

O critério de MIEDEMA e SLAGER (1972), que será discutido neste trabalho é o seguinte:

Quadro 3.2.1 - Blocos e seções delgadas

Solo	Hori- zonte	Espessura (cm)	Argila (%)	Blocos obtidos	Número de seções delgadas obtidas
P ₁	A ₁	0 - 15	13,5	-	-
	A ₃	15 - 36	13,7	A ₃	1
	B ₁	36 - 47	14,4	B ₁	2
	B ₂₁	47 - 77	31,4	B ₁ Sup	4
	B ₂₂	77 - 115	35,3	B ₂₁ Inf	4
				B ₂₁ Sup	4
	B ₂₃	115 - 149	28,6	B ₂₂ Inf	1
				B ₂₂ Sup	1
	B ₃	149 - 175	26,7	B ₂₃ Inf	1
B ₂₃ Sup				1	
C	175 - 195 (+)	27,0	B ₃ Inf	1	
			B ₃ -	-	

P ₂	Ap	0 - 20	8,3	Ap	1
	A ₃	20 - 35	14,7	A ₃ Sup	1
				A ₃ Inf	1
	B ₂₁	35 - 50	30,1	B ₂₁ Sup	4
				B ₂₁ Inf	4
	B ₂₂	50 - 80	32,3	B ₂₁ Sup	4
				B ₂₂ Inf	4
	B ₂₃	80 - 110	25,7	B ₂₂ Sup	1
B ₂₃ Inf				1	
B ₃	110 - 150	24,2	B ₂₃ Sup	1	
			B ₃ Inf	1	
C	150 - 172 (+)	9,9	B ₃ Sup	1	
			C ₃	1	

P ₃	Ap	0 - 18	38,7	Ap	1
	B ₂₁	18 - 55	62,5	B ₂₁ Sup	4
				B ₂₁ Inf	4
	B ₂₂	55 - 120	62,4	B ₂₁	2
	B ₃₁	120 - 160	56,9	B ₂₂	1
	B ₃₂	160 - 210	61,5	B ₃ -	-

P ₄	Ap	0 - 15	10,4	-	1
	A ₂	15 - 30	6,4	-	1
	B ₂₁	30 - 60	24,9	-	2
	B ₂₂	60 - 105	24,3	-	1
	B ₃	105 - 150	21,8	-	1
C ₃	150 (+)	17,5	-	1	

Observações:

- Os perfis P₁, P₂ e P₃ apresentam-se sobre linha de seixos.
- (-) = não obtidos.

(1) Argila iluviada por subhorizonte ou por seção delgada

Negligível	< 0,3%
fraca	0,3 - 1,0%
moderada	1,0 - 4,0%
forte	4,0 - 7,0%
muito forte	> 7,0%

(2) Índice de iluviação por perfil: Calculado através do produto da percentagem da argila iluviada pela espessura (em cm) do horizonte, expresso em % cm

Muito baixo	< 50
baixo	50 - 300
moderadamente alto	300 - 700
muito alto	> 700

3.2.4 - Ajustamento dos Dados a Distribuições Teóricas

Para cada seção delgada foi obtida uma distribuição de frequência, para valores $x = 0, 1, 2, \dots, 25$, com média (\bar{x}) e variância (s^2) dadas por

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=0}^{25} F_i x_i}{400} \quad e \quad s^2 = \frac{\sum_{i=0}^{25} F_i x_i^2 + \frac{(\sum_{i=0}^{25} F_i x_i)^2}{400}}{399}$$

onde,

" $F_i x_i$ " representa o produto de x_i pela sua respectiva frequência.

O desvio padrão (s) foi calculado considerando os dados em percentagem.

Estabeleceram-se três hipóteses sobre as distribuições:

(1) binomial comum ; (2) Poisson ; (3) binomial generalizada.

3.2.4.1 - Binomial comum

As probabilidades da distribuição binomial comum são obtidas desenvolvendo o binômio $(q + p)^N$, onde $q + p = 1$, $N = 25$ (número de pontos da ocular) e p é a proporção de pontos sobre argila iluviada, obtida em cada seção delgada estudada.

As probabilidades, para $x = 0, 1, 2, 3, \dots, 25$, foram calculadas pelas equações, GOODMAN (1965):

$$P(x) = \binom{N}{x} \cdot p^x \cdot q^{N-x}$$

$$P(x+1) = \frac{N-x}{x+1} \cdot \frac{p}{q} \cdot P(x)$$

As frequências esperadas foram obtidas multiplicando a probabilidade por 400. Para a posterior aplicação do teste χ^2 foi tomado o maior número de classes com frequência maior que cinco e com a restrição de que a última classe, obtida por complementação, apresentasse frequência maior que um.

3.2.4.2 - Poisson

As probabilidades da distribuição de Poisson são obtidas por:

$$P(x) = e^{-m} \cdot \frac{m^x}{x!}$$

onde e é a base dos logaritmos neperianos e m a média. No presente trabalho as probabilidades foram obtidas com a tabela da GENERAL ELECTRIC COMPANY (1962), tomando-se \bar{x} como m .

As frequências esperadas foram obtidas, adotando-se o mesmo critério de 3.2.4.1.

3.2.4.3 - Binomial generalizada

Esta distribuição é amplamente estudada em PIEDRABUENA (1968). As probabilidades da distribuição são obtidas desenvolvendo o binômio

$$(q' + p')^{n'}$$

onde

$$q' + p' = 1 \quad , \quad q' = \frac{s^2}{\bar{x}} \quad e \quad n' = \frac{\bar{x}}{p'}$$

Dependendo do valor de q' tem-se a seguinte equivalência: $q' < 1$, binomial comum; $q' = 1$, Poisson; $q' > 1$, binomial negativa. Nos casos em que q' é maior que 1, os valores de p' e n' são negativos.

As probabilidades da distribuição binomial generalizada foram obtidas pelas equações:

$$P(0) = (q')^{(n')}$$

$$P(x+1) = \frac{n' - x}{x+1} \cdot \frac{p'}{q'} \cdot P(x)$$

As frequências esperadas foram obtidas, adotando-se o mesmo critério de 3.2.4.1.

3.2.4.4 - Teste χ^2

O valor do χ^2 para cada seção delgada e distribuição testada foi obtido pela equação:

$$\chi^2 = \sum \frac{(F_0 - F_e)^2}{F_e}$$

onde F_0 é igual a frequência observada e F_e igual a frequência esperada.

3.2.5 - Amostragem Adequada

O número de pontos necessários à estimativa da média do volume percentual de argila iluviada por seção delgada foi calculado para níveis de significância de 68% ($t = 1$) e de 95% ($t \approx 2$) e intervalos, em torno da média, de 5, 10, 20, 30, 40 e 50% da média, ou seja, limites de precisão respectivamente de 95, 90, 80, 70, 60 e 50%. Isto, considerando-se que as variações das médias dos volumes percentuais de argila iluviada por seção e por subhorizonte seguem aproximadamente a distribuição normal, tal como acontece para outros constituintes de solos, CAMPOS e PERECIN (1972).

3.2.5.1- Número de pontos por seção delgada

Inicialmente foram calculados, para dados percentuais, os erros padrões da média $s(\hat{m})$ dos dados observados e os erros padrões da média $\sigma(\hat{m})$ esperados para uma distribuição binomial de mesma média. Esses dados oferecem uma estimativa do desvio padrão de diferentes determinações da percentagem de argila iluviada em cada uma das seções.

Foram utilizadas as equações:

$$s(\hat{m}) = \frac{s}{\sqrt{400}} \quad \text{e} \quad \sigma(\hat{m}) = \sqrt{\frac{pq}{10.000}} \cdot 100$$

Nas 46 seções, admitindo-se limites de precisão de 80% (intervalo de 20% em torno da média) e nível de significância de 95%, calculou-se o número de pontos para:

- (1) Erros do método (sem levar em conta as microvariações), considerando-se o desvio padrão da distribuição binomial, mediante a equação:

$$n_1 = \frac{t^2 (1 - p)}{f^2 p}$$

onde, n_1 = número de pontos, $t = 2$; p = proporção de pontos sobre argila iluviada, $f = 0,20$. É admitida a hipótese de que p , em todas as posições da ocular de integração, é a constante dada pela equação 7 (ítem 2.1.2) .

(2) Erros do método e microvariações , considerando-se o desvio padrão dos dados, mediante a equação:

$$n_2 = \frac{t^2 s^2}{f^2 (\bar{x})^2} \cdot 25,$$

onde, n_2 = número de pontos, $t = 2$; (s^2) e (\bar{x}) são obtidos a partir de 3.2.4 .

Com esses dados foram obtidos fatores de correção, que permitem calcular o número de pontos para erros do método e microvariações, mediante o produto desses fatores pelo número de pontos calculado para erros do método.

Variando os valores de t e de f , nas equações de n_1 e de n_2 , pode-se obter número de pontos para outros níveis de significância e/ou limites de precisão.

Com esse critério e mediante o emprego da fórmula de n_1 foram calculados número de pontos para erros de método, adotando-se 6 (seis) limites de precisão, 2 (dois) níveis de significância e percentagem de argila de 0 a 15% .

3.2.5.2 - Número de seções delgadas por subhorizonte

Inicialmente, foram calculados a média (\bar{v}) e o desvio padrão (\bar{s}) dos volumes de argila iluviada, nas quatro repetições de

cada um dos nove blocos, estudados com quatro repetições. O coeficiente de variação (C. V.) foi calculado pela equação:

$$C. V. = \frac{\bar{s}}{\bar{v}} \cdot 100$$

Mediante o emprego da equação

$$n_3 = \frac{t^2 (\bar{s})^2}{f^2 (\bar{v})^2},$$

onde n_3 é o número de seções delgadas a ser tomado por subhorizonte, foram calculados os valores de n_3 para seis limites de precisão e dois níveis de significância. Esses cálculos foram realizados para três blocos do P_1 , quatro blocos do P_2 e dois blocos do P_3 .

O valor de n_3 foi sempre aproximado para inteiro, segundo as regras padrões. Se menor ou igual a 1, o valor apresentado é o 1. No cálculo do seu valor médio, para o perfil, consideraram-se os valores decimais e a aproximação foi feita no final.

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados e discussão são apresentados em cinco subcapítulos, a saber:

- 1 - Observações micromorfológicas
- 2 - Percentagem de argila iluviada
- 3 - Testes de ajustamento às distribuições: binomial comum , Poisson e binomial generalizada
- 4 - Número de pontos a ser tomado por seção delgada
- 5 - Número de seções delgadas a ser tomado por subhorizonte.

4.1 - OBSERVAÇÕES MICROMORFOLÓGICAS

Características micromorfológicas da fábrica do solo e da argila iluviada são apresentadas, separadamente para cada perfil , nos Quadros 4.1.1 a 4.1.4 ; aspectos sobre a nomenclatura e interpretações dessas características podem ser vistas em BREWER (1964 , 1972) e PERECIN (1973) . Aspectos micromorfológicos dos perfis são ilustrados nas Figuras 2 a 6 . Microfotografias dos perfis " Luiz de Queiroz " e " Ibitiruna " , podem ser vistas em PERECIN (1973).

Quadro 4.1.1 - Podzolizados de Lins e Marília - variação Lins (P₁)

Horizonte	Fábrica do solo	Argila iluviada (volume médio e aproximado)
A ₃	Aglomeroplásmica	Traços
B ₁	Aglomeroplásmica	0,4
B ₂₁ Sup	Porfirosquélica a intertértica	3,0
B ₂₁ Inf	Intertértica a porfirosquélica	1,1
B ₂₂ Sup	Intertértica	1,5
B ₂₂ Inf	Intertértica	Traços
B ₂₃ Sup	Intertértica	Traços
B ₂₃ Inf	Intertértica	-
B ₃ Sup	Intertértica	-
B ₃ Inf	Intertértica	-

(-) = não tem

Índice de iluviação do perfil \cong 94% cm .

Quadro 4.1.2 - Podzolizados de Lins e Marília - variação Marília (P₂)

Horizonte	Fábrica do solo	Argila iluviada (volume médio e aproximado)
Ap	Aglomeroplásmica	Traços
A ₃ Sup	Aglomeroplásmica	Traços
A ₃ Inf	Aglomeroplásmica	Traços
B ₂₁ Sup	Porfirosquélica	2,8
B ₂₁ Inf	Porfirosquélica	7,9
B ₂₂ Sup	Porfirosquélica	4,9
B ₂₂ Inf	Porfirosquélica a intertética	1,6
B ₂₃ Sup	Intertética a porfirosquélica	0,6
B ₂₃ Inf	Intertética a porfirosquélica	1,0
B ₃ Sup	Intertética	Traços
B ₃ Inf	Intertética	Traços
C	Intertética	Traços

Índice de iluviação do perfil \approx 202% cm

Quadro 4.1.3 - Terra Roxa Estruturada , Série Luiz de Queiroz
(P₃)

Horizonte	Fábrica do solo	Argila iluviada (volume médio e aproximado)
Ap	Porfirosquélica a aglomeroplásmica	Traços
B ₂₁ Sup	Porfirosquélica	2,5
B ₂₁ Inf	Porfirosquélica	4,7
B ₂₂	Porfirosquélica a intertética	0,5
B ₃₁	Intertética	-

Índice de iluviação do perfil \approx 165% cm

Quadro 4.1.4 - Podzólico Vermelho Amarelo - variação Laras ,
Série Ibitiruna (P₄)

Horizonte	Fábrica do solo	Argila iluviada (volume médio e aproximado)
Ap	Aglomeroplásmica	-
A ₂	Aglomeroplásmica	-
B ₂₁	Porfirosquélica	4,4
B ₂₂	Porfirosquélica	3,5
B ₃	Porfirosquélica	0,7
C	Porfirosquélica	Traços

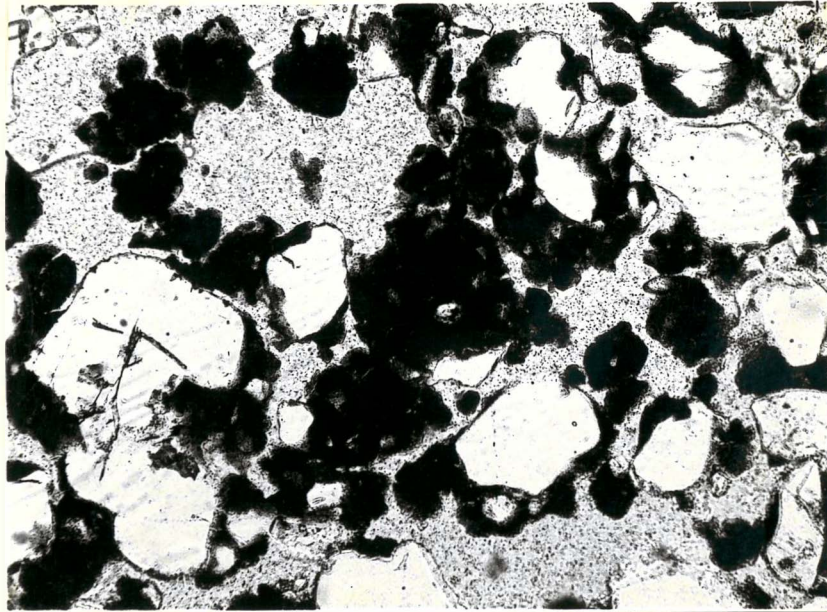


Figura 2 - Fábrica intertética, sem argila iluviada ; perfil P_1 (Lins), horizonte B_3 ; com luz polarizada, sem o analisador, 63 x .

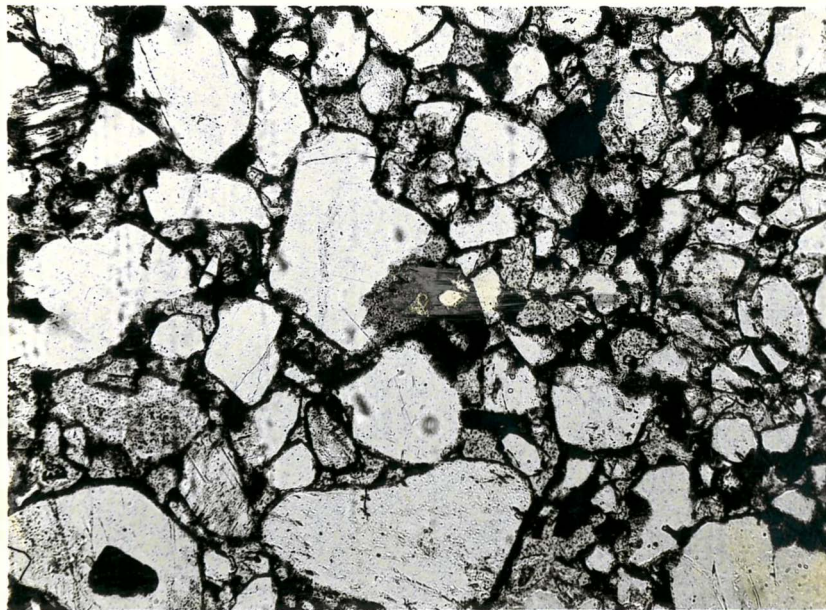


Figura 3 - Fábrica aglomeroplásmica, sem argila iluviada ; perfil P_2 (Marília), horizonte A_3 ; com luz polarizada , sem o analisador, 63 x .

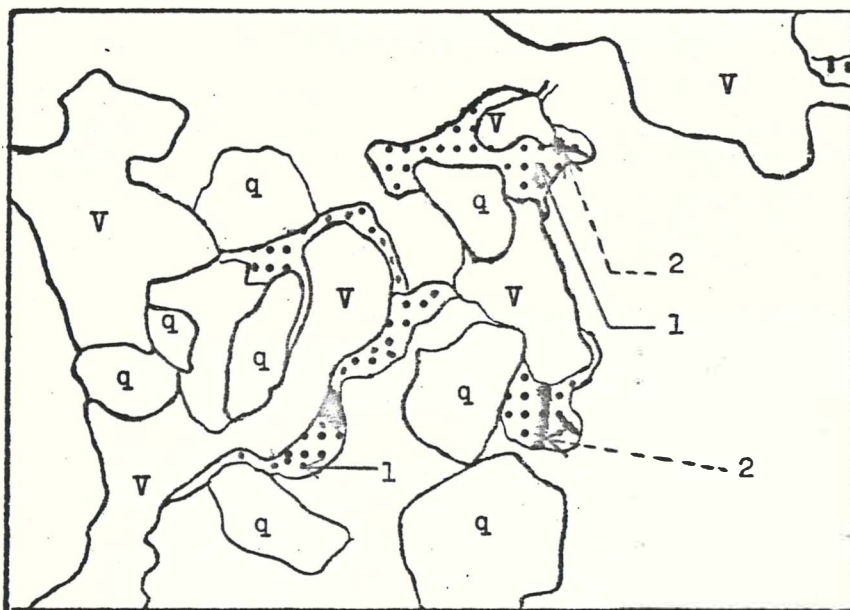
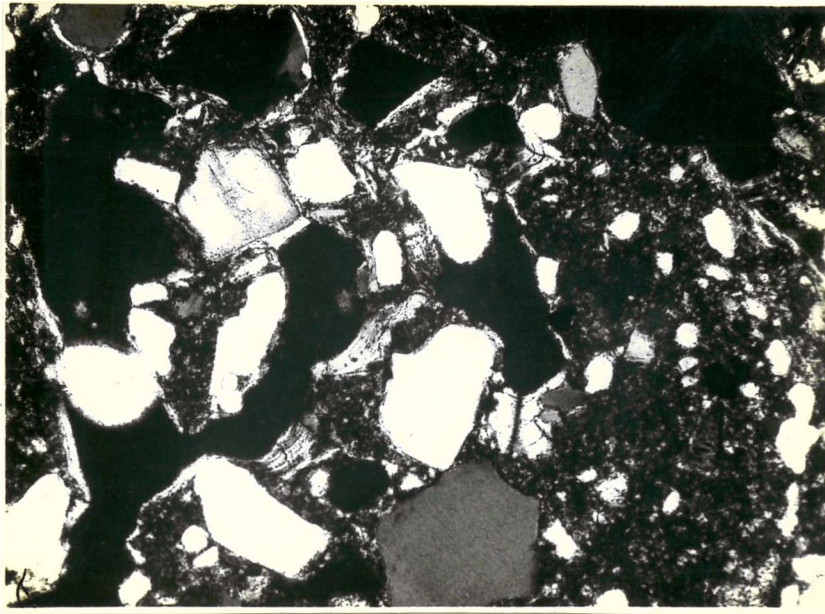


Figura 4 - Fábrica porfiroscúélica, com argila iluviada; perfil P₂ (Marília), horizonte B₂₂ Sup; com luz polarizada e nicóis cruzados, 70 x.

V = Vazio

q = Quartzo

1 = Argila iluviada na forma de cutãs (ferri-argilãs).

2 = Bandas de extinção; são faixas escuras que representam locais em que um conjunto de partículas de minerais laminares estão com o plano (001) paralelo à direção de vibração do polarizador ou do analisador.

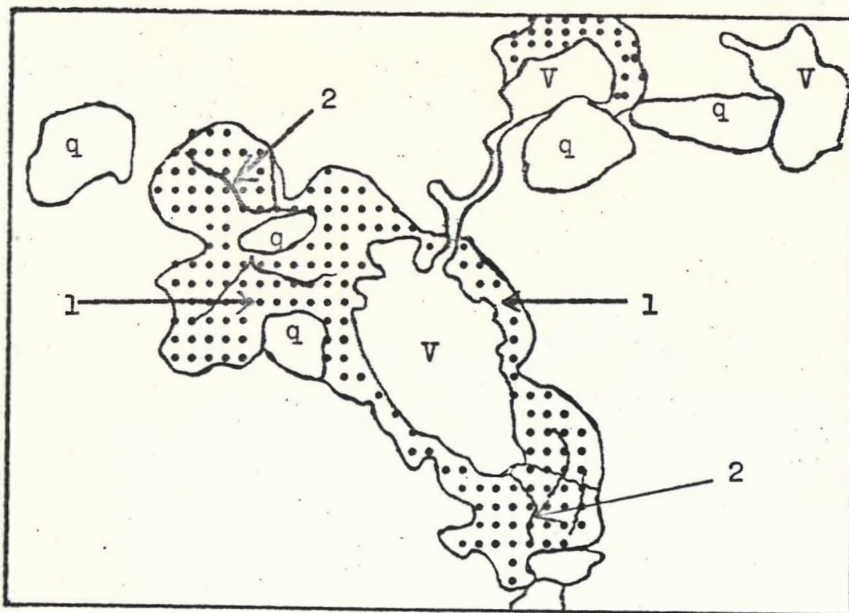
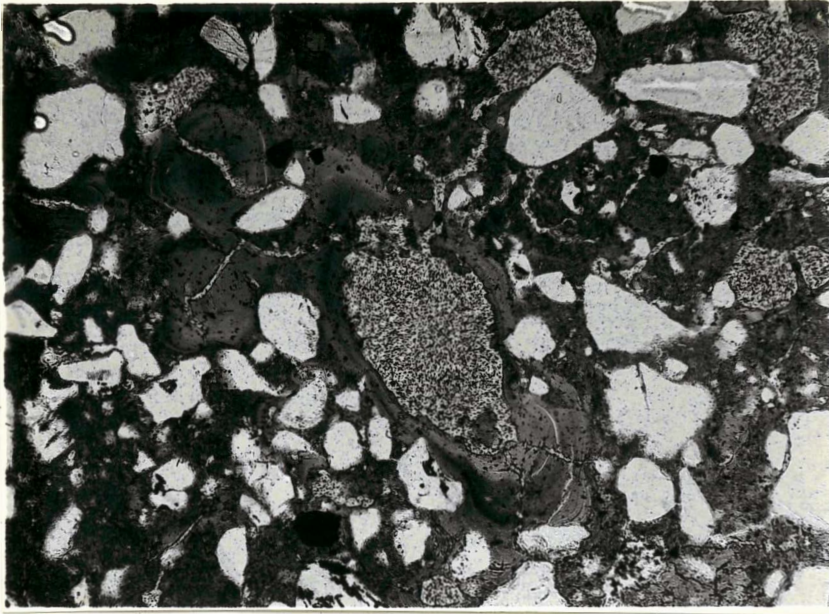


Figura 5 - Fábrica porfiroscélica, com argila iluviada; perfil P_2 (Marília), horizonte B_{22} Sup; com luz polarizada e sem o analisador, 63 x.

V = Vazio q = Quartzo

1 = Argila iluviada na forma de cutãs (ferri-argilãs).

2 = Trincas; são comuns nas cutãs desse perfil.

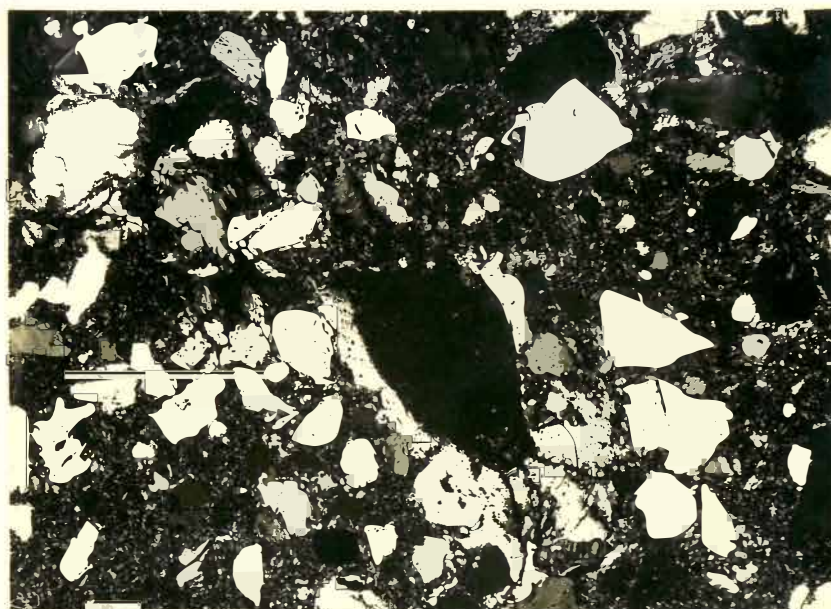


Figura 6 - Mesma microfotografia anterior com nicóis cruzados.

Com relação ao P_1 , a micromorfologia permite verificar que parte da argila iluviada, principalmente nos horizontes superiores, encontra-se na forma de pápulas. As argilãs ocorrem com frequência concentradas em pequenas áreas e frequentemente sobre fábrica intertextica. O preenchimento de vazios dessa fábrica pela argila iluviada torna-a porfirósquica. As argilãs não apresentam trincas ; possuem grau de separação, em relação ao s-matriz, moderado ; apresentam orientação moderada.

Essas características sugerem que o perfil está se desenvolvendo sobre um material retrabalhado, possivelmente pertencente a uma fase pedológica anterior. Penteadó e Ranzani, citados por ALOISI (1973), sugerem que o perfil foi desenvolvido sobre produtos de retrabalhamentos do arenito Bauru.

Do ponto de vista mineralógico da fração argila, ALOISI (1973), esse perfil mostra-se mais intemperizado que o P_2 (variação Marília), enquanto que as características micromorfológicas sugerem ser a argila iluviada de pedogênese recente e o horizonte argílico pouco desenvolvido.

Sugere-se o seguinte processo de gênese: Após transporte e deposição do material formou-se um perfil com fábrica intertextica sem diferenciação de horizontes ; com o processo de e-iluviação está se processando a diferenciação da fábrica do solo e conseqüentemente dos horizontes. ALOISI (1973) sugere que esse perfil apresenta um horizonte argílico em transição para óxico ; entretanto, com observações micromorfológicas, parece mais coerente aceitar que o horizonte argílico está se formando e não se destruindo.

O índice de iluviação do perfil, segundo o critério de MIEDEMA e SLAGER (1972), é considerado baixo.

A formação do horizonte argílico parece estar se processando "in situ" e recentemente ; a distribuição de argila iluviada pelo horizonte argílico não é uniforme. Isso, como se verá em capítulos seguintes , exigirá, para exames microestereométricos, amostragem elevada.

Com relação ao P_2 , o exame micromorfológico mostra que no horizonte B_{21} Sup a argila iluviada, com frequência, encontra-se totalmente retrabalhada, constituindo quasicutãs ou pápulas. O grau de separação com o s-matriz é moderado a fraco, o que às vezes dificulta o seu reconhecimento.

Nos demais horizontes também ocorrem pápulas. As cutãs são mais frequentes e ocorrem com diversos tons de coloração. As argilãs mais claras são de orientação mais forte e de estratificação mais nítida, devendo pertencer a ciclos de iluviação mais recentes. As argilãs frequentemente apresentam trincas o que não é comum nos demais perfis. Ocorrem algumas ferrãs.

Entre os minerais presentes, na fração grosseira, destaca-se a presença de feldspatos que ocorrem em proporção maior que nos demais perfis.

A maior ocorrência de pápulas nos horizontes superiores decresce com a profundidade, concordando com observações de outros autores, NETTLETON et al (1968) , MIEDEMA e SLAGER (1972), e é atribuída a retrabalhamentos biológicos.

O perfil vem sofrendo vários ciclos de iluviação, apresentando um horizonte argílico mais desenvolvido e provavelmente mais antigo que o P_1 (variação Lins). Quanto aos minerais presentes na fração grosseira, é menos intemperizado que o variação Lins e o mesmo se dá, ALOISI (1973) , com os minerais da fração argila.

A ocorrência de argila iluviada em horizontes com fábrica por firosquélica ; a fábrica intertética dos horizontes inferiores e a ocorrência de algumas microáreas de argila iluviada, preenchendo vazios de fábrica intertética, permitem sugerir que todo o perfil pode ter apresentado essa fábrica no início do processo de e-iluviação.

Em algumas seções delgadas o volume de argila iluviada corresponde, segundo MIEDEMA e SLAGER (1972), a iluviação muito forte, mas, como ocorre em espessura pequena, o índice de iluviação do perfil é interpretado como baixo.

Os aspectos micromorfológicos dos perfis P_3 e P_4 são amplamente discutidos em PERECIN (1973). Como já foi discutido no referido trabalho, a argila iluviada do perfil Luiz de Queiroz parece ser de pedogênese recente. O índice de iluviação do perfil, segundo o critério de MIEDEMA e SLAGER (1972), é considerado baixo. No perfil Ibitiruna a argila iluviada mostra-se distribuída até profundidades maiores que nos demais perfis e o índice de iluviação do perfil não foi calculado em virtude do menor número de seções delgadas examinadas.

Com relação aos perfis estudados, nota-se que a argila iluviada é mais frequente em quatro subhorizontes do Perfil P_1 , em seis do P_2 , em três do P_3 e em três do P_4 . Segundo o critério de MIEDEMA e SLAGER (1972) apenas o perfil variação Marília (P_2) possui subhorizonte com iluviação muito forte, enquanto que, iluviação moderada ou forte ocorre em subhorizontes dos quatro perfis.

Os índices de iluviação dos perfis 1, 2 e 3, comparados com o critério de MIEDEMA e SLAGER (1972), mostram-se baixos, sugerindo que os limites deveriam ser alterados a fim de possibilitar melhor interpretação sobre a intensidade do processo de iluviação. Julga-se que, melhor distribuição das classes, seria:

muito baixo	< 50
baixo	50 - 100
baixo a moderado	100 - 150
moderado	150 - 200
moderado a alto	200 - 300
alto	300 - 500
muito alto	> 500

Por esse critério os índices de iluviação dos perfis estudados seriam:

P ₁ (Lins)	=	baixo
P ₂ (Marília)	=	moderado a alto
P ₃ (Luiz de Queiroz)	=	moderado .

Admitindo-se massa específica da argila igual a $1,5 \text{ g/cm}^3$, o total de argila iluviada por solo seria, aproximadamente:

P ₁ (Lins)	=	140 ton/ha
P ₂ (Marília)	=	300 ton/ha
P ₃ (Luiz de Queiroz)	=	250 ton/ha .

Com a finalidade de estabelecer critérios para amostragem estatisticamente adequada, a argila iluviada de 46 seções delgadas desses perfis será, a seguir, quantitativamente estudada e analisada por meio de métodos estatísticos.

4.2 - PERCENTAGEM DE ARGILA ILUVIADA

As frequências de pontos sobre argila iluviada nos 400 campos (ou posições) de cada uma das 46 seções delgadas são apresentadas no Quadro 4.2.1 . Nesse quadro é apresentado também, para cada seção delgada, o volume percentual de argila iluviada.

No Quadro 4.2.2 são apresentados as médias, as variâncias, e os desvios padrões das frequências observadas nas 46 seções.

Tendo em vista que as distribuições são assimétricas e que a variância é pouco diferente da média, estabeleceu-se a hipótese de que os dados seguem a distribuição de Poisson. Por outro lado, a distribuição binomial comum será testada, pois, é a esperada, em função dos erros do método (item 2.1.3). Foi também estabelecida a hipótese da distribuição dos dados ser a binomial generalizada, PIEDRABUENA (1968) , pois, das 46 seções delgadas, 38 apresentam variância maior que a média, esperando-se para estes casos, uma distribuição binomial negativa.

No sentido de verificar qual dessas leis se ajusta melhor às distribuições encontradas e para permitir avaliação dos efeitos dos erros do método e das microvariações, em cada uma das seções delgadas, essas três hipóteses serão testadas a seguir.

Quadro 4.2.1 - Frequência de pontos sobre argila iluviada, nas 400 posições da ocular, em cada seção delgada

Solo	Podzolizados de lins e Marília - Variação Lins															
	B ₁				B ₂₁ Superior				B ₂₁ Inferior				B ₂₂ Superior			
	a	b	a	b	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d
0	376	350	214	242	232	280	299	269	355	329	329	299	335	267	329	
1	24	48	81	113	97	91	87	106	42	54	56	56	62	80	67	
2		1	34	29	33	24	11	13	3	12	18	18	3	26	2	
3			24	8	16	5	3	7		4	9	9		18	2	
4			17	2	11			3		1	6	6		2	2	
5		1	13	2	3			1		1	8	8		5	2	
6			10	2	4			1			2	2		2	2	
7			5	2	2						1	1				
8					2											
9			1													
10																
11																
12																
13																
...																
...																
25																
Volume %	0,24	0,55	4,70	2,39	3,24	1,54	1,18	1,76	0,48	0,95	2,10	0,68	2,31	0,77		
Nº da Seção Delgada	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		

Continua ...

Quadro 4.2.1 - Continuação

		Podzolicados de Lins e Marfília - Variação Marfília																	
Horizonte	Repetição	B ₂₁ Superior				B ₂₁ Inferior				B ₂₂ Superior				B ₂₂ Inferior				B ₂₃ Sup	B ₂₃ Inf
		a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d		
0		177	290	229	196	96	95	113	57	137	186	168	118	214	257	286	310	341	321
1		127	105	119	130	117	93	100	100	111	148	119	132	148	125	105	82	55	59
2		49	4	31	44	78	78	72	93	65	40	49	82	23	14	7	7	2	15
3		27		12	20	56	65	48	59	41	23	25	42	13	3	1	1	2	5
4		11	1	6	5	18	34	33	42	18	3	22	12	1	1				
5		5		2	3	14	20	17	19	13		6	9	1					
6		1				15	7	8	16	8		7	2	1					
7		1			1	1	5	2	5	3		3	1						
8		2			1	2	2	2	6	4			2						
9						1	1	3	2										
10								1											
11																			
12																			
13																			
∴																			
∴																			
∴																			
25																			
Volume %		4,04	1,17	2,62	3,28	7,27	7,82	7,32	9,35	6,02	3,09	4,86	5,50	2,42	1,66	1,26	0,99	0,65	1,04
Me da Seção		15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
Delgada																			

Continua ...

Quadro 4.2.1 - Continuação

Solo	Terra Roxa Estruturada - (Série Luiz de Queiroz)												Podzólico Vermelho-Amarelo - Variação Laras (Série Ibiturra)					
	B ₂₁ Superior				B ₂₁ Inferior				B ₂₂				B ₂₁			B ₂₂		
	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	a	b	c
0	248	210	225	228	124	156	129	152	335	369	144	135	173	335				
1	118	117	123	118	137	132	139	163	58	28	132	154	139	62				
2	30	43	40	38	70	61	73	47	7	3	79	69	63	2				
3	3	16	9	9	46	31	29	24			26	29	18	1				
4	1	11	2	6	14	12	22	9			16	9	7					
5		2	1	1	4	4	5	3			2	2						
6		1			4	2	1	2			1	2						
7						1	1	2										
8																		
9																		
10																		
11																		
12																		
13																		
...																		
...																		
...																		
25																		
Volume %	1,91	3,11	2,43	2,50	5,25	4,42	5,05	3,92	0,72	0,34	4,48	4,37	3,47	0,69				
Fig da Seção Delgada	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46				

Quadro 4.2.2 - Média, variância e desvio padrão de cada seção delgada

Número da seção delgada	Média (\bar{x})	Variância (s^2)	Desvio padrão (das proporções em percentagem) (s)
1	0,0600	0,0565	0,95
2	0,1375	0,1740	1,67
3	1,1750	3,2694	7,24
4	0,5975	1,0281	4,06
5	0,8100	1,8335	5,42
6	0,3850	0,4329	2,63
7	0,2950	0,3087	2,22
8	0,4400	0,6330	3,18
9	0,1200	0,1209	1,39
10	0,2375	0,3520	2,37
11	0,5250	1,4530	4,82
12	0,1700	0,1565	1,58
13	0,5775	1,1068	4,21
14	0,1925	0,1959	1,77
15	1,0100	1,6841	5,19
16	0,2925	0,2576	2,03
17	0,6550	1,1188	4,23
18	0,8200	1,2156	4,41
19	1,8175	3,2323	7,19
20	1,9550	3,0356	6,97
21	1,8300	3,5951	7,58
22	2,3375	3,6978	7,69
23	1,5050	2,8521	6,76

continua ...

Quadro 4.2.2 - Continuação

Número da seção delgada	Média (\bar{x})	Variância (s^2)	Desvio padrão (das proporções em percentagem) (s)
24	0,7725	0,8128	3,61
25	1,2150	2,5552	6,39
26	1,3750	1,8741	5,48
27	0,6050	0,6306	3,17
28	0,4150	0,3887	2,49
29	0,3150	0,2965	2,18
30	0,2475	0,2368	1,95
31	0,1625	0,1765	1,68
32	0,2600	0,3433	2,34
33	0,4775	0,4757	2,75
34	0,7775	1,1358	4,26
35	0,6075	0,6852	3,31
36	0,6250	0,7914	3,56
37	1,3125	1,7793	5,34
38	1,1050	1,6130	5,08
39	1,2625	1,6678	5,17
40	0,9800	1,1876	4,34
41	0,1800	0,1831	1,71
42	0,0850	0,0930	1,22
43	1,1200	1,3089	4,58
44	1,0925	1,2019	4,39
45	0,8675	0,9122	3,82
46	0,1725	0,1682	1,64

4.3 - TESTE DE AJUSTAMENTO A DISTRIBUIÇÕES TEÓRICAS

Nos Quadros 4.3.1 a 4.3.46 (apresentados no Apêndice) têm-se as frequências observadas e as esperadas para as três distribuições testadas.

No Quadro 4.3.47 apresentam-se os valores de χ^2 e os graus de liberdade (G. L.) para cada seção delgada e para cada distribuição testada. Para as seções delgadas N.^{os} 1 e 42 não se aplicou o teste χ^2 , pois, tem-se apenas duas classes, resultando zero graus de liberdade.

Das três distribuições testadas a binomial generalizada é que se ajusta melhor aos dados observados.

Segundo PIEDRABUENA (1968), a distribuição binomial generalizada é consequência de fenômenos de interferência que alteram a binomial comum. Para o referido autor, a distribuição de Poisson é também um caso de binomial interferida, por uma causa tal, que faz a probabilidade p tender a zero e q a unidade, dando-lhe o caráter de acontecimento raro. Se é fortemente interferida, será levada à binomial negativa.

É comum a ocorrência de distribuições de frequências com variância maior que a média, podendo ser descritas como binomial negativa, GOODMAN (1965), PIEDRABUENA (1968). GOODMAN (1965) cita que se a probabilidade p da população não se mantiver constante ou se duas ou mais séries que obedecem a distribuição de Poisson forem combinadas, termo a termo, resulta uma distribuição binomial negativa.

No presente trabalho, como já foi discutido, 38 das 46 seções delgadas apresentam variância maior que a média e podem ser descritas como uma binomial negativa. Por sua vez, praticamente todas as seções podem ser descritas como uma binomial generalizada, levando à conclusão de que a distribuição binomial comum esperada está interferida.

Quadro 4.3.47 - Teste de ajustamento das frequências observadas, em cada seção delgada, a distribuições teóricas.

Número da seção delgada	Binomial comum		Poisson		Binomial generalizada	
	G.L.	2	G.L.	2	G.L.	2
1	0	-	0	-	0	-
2	1	0,5449	1	0,7019	1	6,3947 *
3	3	253,5875 ***	3	218,9309 ***	6	9,7648
4	2	15,1165 ***	2	12,6218 **	3	10,4193 *
5	2	67,5425 ***	2	60,2462 ***	4	3,4213
6	1	4,2907 *	1	3,5870	2	0,4779
7	1	0,0445	1	0,0205	1	0,2589
8	1	1,7127	1	1,5422	2	11,9820 **
9	1	0,0898	1	0,0513	1	0,0610
10	1	12,9750 ***	1	12,3605 ***	2	0,0846
11	2	135,4689 ***	2	125,6356 ***	4	4,0614
12	1	1,1311	1	1,2960	1	0,0015
13	2	80,6414 ***	2	63,7518 ***	3	2,8986
14	1	1,0037	1	1,1656	1	1,5935
15	3	46,8543 ***	3	37,5079 ***	4	3,3993
16	1	8,9809 ***	1	9,7171 **	1	2,9622
17	2	19,2906 ***	2	14,7356 ***	3	10,0967 *
18	3	23,4147 ***	3	17,7587 ***	4	4,4979
19	4	76,2642 ***	4	55,4430 ***	5	6,5662
20	5	79,8635 ***	5	54,3456 ***	6	5,8025
21	4	87,3174 ***	4	79,3380 ***	6	1,6109
22	5	68,4545 ***	5	43,2893 ***	7	4,8277
23	4	78,6246 ***	4	97,1117 ***	6	1,6878

continua ...

Quadro 4.3.47 - Continuação

Número de seção delgada	Binomial comum		Poisson		Binomial generalizada	
	G.L.	2	G.L.	2	G.L.	2
24	3	11,0195 *	3	9,9867 *	3	8,8936 *
25	3	107,9203 ***	3	90,4906 ***	5	8,0602
26	4	30,7138 ***	4	19,5047 ***	4	3,2693
27	2	13,0590 **	2	12,7438 **	2	12,1814 **
28	2	5,3025	2	5,7872	2	4,6940
29	1	4,5418 *	1	1,9722	1	2,5996
30	1	0,6605	1	0,8573	1	0,1638
31	1	0,0859	1	0,1195	1	1,2592
32	1	13,6676 ***	1	12,6210 ***	1	0,4907
33	2	0,2769	2	0,3492	2	0,3178
34	2	23,9663 ***	2	19,8209 ***	3	2,0998
35	2	2,4838	2	1,5400	2	0,0815
36	2	8,3218 *	2	6,3394 *	2	0,3300
37	4	20,6764 ***	4	13,7042 **	4	4,2386
38	3	26,1626 ***	3	19,3010 ***	4	1,3761
39	3	28,1639 ***	3	20,9037 ***	4	5,8553
40	3	20,7132 ***	3	17,1416 ***	3	13,3199 **
41	1	0,4774	1	0,3506	1	0,1368
42	0	-	0	-	0	-
43	3	14,2919 **	4	10,7303 *	4	5,2799
44	4	6,2110	4	3,7018	4	2,4323
45	3	3,0527	3	1,5007	3	0,3981
46	1	1,1138	1	1,2787	1	0,7234

* significativo ao nível de 5%
 ** significativo ao nível de 1%
 *** significativo ao nível de 0,1%

Julga-se que a interferência pode ser atribuída às microvariações da argila iluviada dentro de cada seção delgada, ou seja, a probabilidade p de encontrar argila iluviada não é a mesma em todos os pontos da seção delgada. O volume de argila iluviada torna-se uma variável aleatória dentro de cada seção delgada, o que provavelmente pode ser atribuído a diversos fatores: (1) penetração e/ou percolação de água no solo por caminhos preferenciais, fato já discutido em PERECIN (1973); (2) horizonte argílico mal desenvolvido, onde a argila do horizonte eluvial não tem ou não teve a mesma probabilidade de eluviar-se, tal fato parece estar ocorrendo no perfil P_1 (Lins).

Os resultados indicam que as microvariações são, para cálculos de amostragens, mais importantes nas seções delgadas que apresentam maior volume de argila iluviada.

4.4 - NÚMERO DE PONTOS A SER TOMADO POR SEÇÃO DELGADA

Ao se estabelecer o número mínimo de pontos por seção delgada, considerando limites de precisão e níveis de significância pré-fixados, é necessário conhecer as variações do teor de argila iluviada em diferentes determinações dentro de cada uma das seções delgadas.

Esse tipo de levantamento seria demorado e trabalhoso, mas uma estimativa dessas variações é dada pelo erro padrão da média. No Quadro 4.4.1 apresentam-se os valores do erro padrão da média para os dados experimentais e, respectivamente para cada seção delgada, o erro padrão da média para a distribuição binomial de mesma média.

Analisando-se os resultados verifica-se, em alguns casos, variações de até 50%. Considerando que no cálculo do número de pontos

o desvio padrão estará ao quadrado, conclui-se que a diferença entre esses dois valores deve ser computada. Assim, tomando-se o limite de precisão de 80% , ou seja, intervalo em torno da média de 20% , e o nível de significância de 95% , calculou-se o número de pontos, considerando:

- (1) desvio padrão da distribuição binomial comum, resultando número de pontos para erros do método, conforme item 2.1.3 ;
- (2) desvio padrão dos dados (Quadro 4.2.2) , resultando número de pontos que inclui erros do método e de microvariações.

Esses resultados são apresentados no Quadro 4.4.2 . O fator de correção é o cociente do número de pontos do caso (2) pelo (1) . No Quadro 4.4.3 apresentam-se fatores de correção médios para classes de percentagens de argila iluviada e perfis de solos.

O fator de correção mostrou variações de um perfil para outro, mas parece sofrer maiores variações em função da intensidade de iluviação na seção delgada. Para seções delgadas que apresentam baixa iluviação, possivelmente até 2% , as microvariações mostraram, em grande número de casos, importância pequena, podendo-se estabelecer o número de pontos, considerando somente os erros do método. Para iluviação superior a 2% há necessidade de se utilizar o fator de correção que será multiplicado ao número de pontos obtido para erros do método.

Os valores apresentados no Quadro 4.4.3 são valores médios obtidos com os dados da presente pesquisa, podendo sofrer variações em função dos solos e métodos utilizados. Para outros limites de precisão e/ou níveis de significância apresentarão valores idênticos.

Para níveis de significância de 68% e de 95% são apresentados, respectivamente nos Quadros 4.4.4 e 4.4.5 , número de pontos a serem tomados por seção delgada, considerando seis limites de precisão e erros do método.

Desde que se conheça a estimativa do volume de argila iluviada, o número de pontos, para uma amostragem estatisticamente adequada, pode ser estimado pelo produto do número de pontos para erros do método pelo respectivo fator de correção. Por sua vez, para o limite de precisão de 70% e o nível de significância de 95%, o número de pontos necessários por seção delgada pode ser estimado pela Figura 7.

Aumentando-se o limite de precisão e / ou o nível de significância, aumenta-se o número de pontos da amostragem adequada. Isso demanda maior tempo, podendo torná-la impraticável para fins práticos.

Por outro lado, costuma-se aceitar valores de f (item 3.2.5) maiores para características que apresentam variações maiores, OLIVEIRA (1972). Salienta-se ainda que, dificuldades no que diz respeito a delimitações da argila iluviada, erros devidos a imperfeições da seção delgada, possibilidades da ocorrência do efeito "Holmes" (item 2.1.4) são de difícil estimativa e não foram considerados.

Em função desses aspectos torna-se pouco viável aceitar, para fins práticos, exatidão maior que a assinalada na Figura 7.

Quadro 4.4.1 - Erro padrão da média

Número da seção delgada	Dos dados expe- rimentais σ (\hat{m})	Esperado pela binomial σ (\hat{m})
1	0,05	0,05
2	0,08	0,07
3	0,36	0,21
4	0,20	0,15
5	0,27	0,18
6	0,13	0,12
7	0,11	0,11
8	0,16	0,13
9	0,07	0,07
10	0,12	0,10
11	0,24	0,14
12	0,08	0,08
13	0,21	0,15
14	0,09	0,09
15	0,26	0,20
16	0,10	0,11
17	0,21	0,16
18	0,22	0,19
19	0,36	0,26
20	0,35	0,27
21	0,38	0,26
22	0,38	0,29
23	0,34	0,24

continua ...

Quadro 4.4.1 - Continuação

Número da seção delgada	Dos dados exper- imentais s (\hat{m})	Esperado pela binomial σ (\hat{m})
24	0,18	0,17
25	0,32	0,22
26	0,27	0,23
27	0,16	0,15
28	0,12	0,13
29	0,11	0,11
30	0,10	0,10
31	0,08	0,05
32	0,12	0,10
33	0,14	0,14
34	0,21	0,17
35	0,16	0,15
36	0,18	0,16
37	0,27	0,22
38	0,25	0,21
39	0,26	0,22
40	0,22	0,19
41	0,09	0,08
42	0,06	0,06
43	0,23	0,21
44	0,22	0,20
45	0,19	0,18
46	0,08	0,08

Quadro 4.4.2 - Número de pontos a ser tomado por seção delgada, em função de erros, para nível de significância de 95% e limite de precisão de 80% .

Número da seção delgada	Erros considerados		Fator de correção
	Método (n_1)	Método + Microvariações (n_2)	
1	41.567	39.170	0,94
2	18.082	23.048	1,27
3	2.028	5.932	2,93
4	4.084	7.214	1,77
5	2.986	6.996	2,34
6	6.394	7.290	1,14
7	8.375	8.848	1,06
8	5.582	8.161	1,46
9	20.733	20.964	1,01
10	10.426	15.559	1,49
11	4.662	13.170	2,82
12	14.606	13.497	0,92
13	4.229	8.304	1,96
14	12.887	13.210	1,03
15	2.375	4.125	1,74
16	8.447	7.526	0,89
17	3.717	6.517	1,75
18	2.949	4.519	1,53
19	1.276	2.445	1,92
20	1.179	1.986	1,68
21	1.266	2.681	2,12
22	970	1.691	1,74
23	1.560	3.080	1,97

continua ...

Quadro 4.4.2 - Continuação

Número da seção delgada	Erros considerados		Fator de correção
	Método (n_1)	Método + Microva- riações (n_2)	
24	3.136	3.412	1,09
25	1.958	4.322	2,21
26	1.718	2.482	1,44
27	4.032	4.290	1,06
28	5.924	5.550	0,94
29	7.837	7.483	0,95
30	10.001	9.698	0,97
31	15.284	16.700	1,09
32	9.515	12.656	1,33
33	5.136	5.182	1,01
34	3.115	4.690	1,51
35	4.015	4.638	1,16
36	3.900	5.069	1,30
37	1.805	2.586	1,43
38	2.162	3.302	1,53
39	1.880	2.620	1,39
40	2.451	3.064	1,25
41	13.789	14.102	1,02
42	29.312	32.188	1,10
43	2.132	2.613	1,23
44	2.188	2.523	1,15
45	2.782	3.029	1,09
46	14.393	14.123	0,98

Quadro 4.4.3 - Fator de correção médio para estimar microvariações

Percentagem de argila iluviada ou perfil	Fator de correção médio
0 - 1,99	1,08
2,00 - 3,99	1,59
≥ 4,00	1,75
Perfil Lins (P ₁)	1,58
Perfil Marília (P ₂)	1,47
Perfil Luiz de Queiroz (P ₃)	1,27
Perfil Ibitiruna (P ₄)	1,11

Quadro 4.4.4 - Número de pontos (n_1) a ser tomado por seção delgada em função dos erros do método, para nível de significância de 68% .

Argila iluvia- da (%)	Limites de precisão					
	50%	60%	70%	80%	90%	95%
0,5	796	1.244	2.211	4.975	19.900	79.600
1,0	396	619	1.100	2.475	9.900	39.600
2,0	196	306	544	1.225	4.900	19.600
3,0	129	202	359	808	3.233	12.933
4,0	96	150	267	600	2.400	9.600
5,0	76	119	211	475	1.900	7.600
6,0	63	98	174	392	1.567	6.267
7,0	53	83	148	332	1.329	5.314
8,0	46	72	128	289	1.150	4.600
9,0	40	63	112	253	1.011	4.044
10,0	36	56	100	225	900	3.600
15,0	23	35	63	142	567	2.267

Quadro 4.4.5 - Número de pontos (n_1) a ser tomado por seção delgada em função dos erros do método, para nível de significância de 95% .

Argila iluvia- da (%)	Limites de precisão					
	50%	60%	70%	80%	90%	95%
0,5	3.184	4.975	8.844	19.900	79.600	318.400
1,0	1.584	2.475	4.400	9.900	39.600	158.400
2,0	784	1.225	2.178	4.900	19.600	78.400
3,0	517	808	1.437	3.233	12.933	51.733
4,0	384	600	1.067	2.400	9.600	38.400
5,0	304	475	844	1.900	7.600	30.400
6,0	251	392	696	1.567	6.267	25.067
7,0	213	332	590	1.329	5.314	21.257
8,0	184	289	511	1.150	4.600	18.400
9,0	162	253	449	1.011	4.044	16.178
10,0	144	225	400	900	3.600	14.400
15,0	91	142	252	567	2.267	9.067

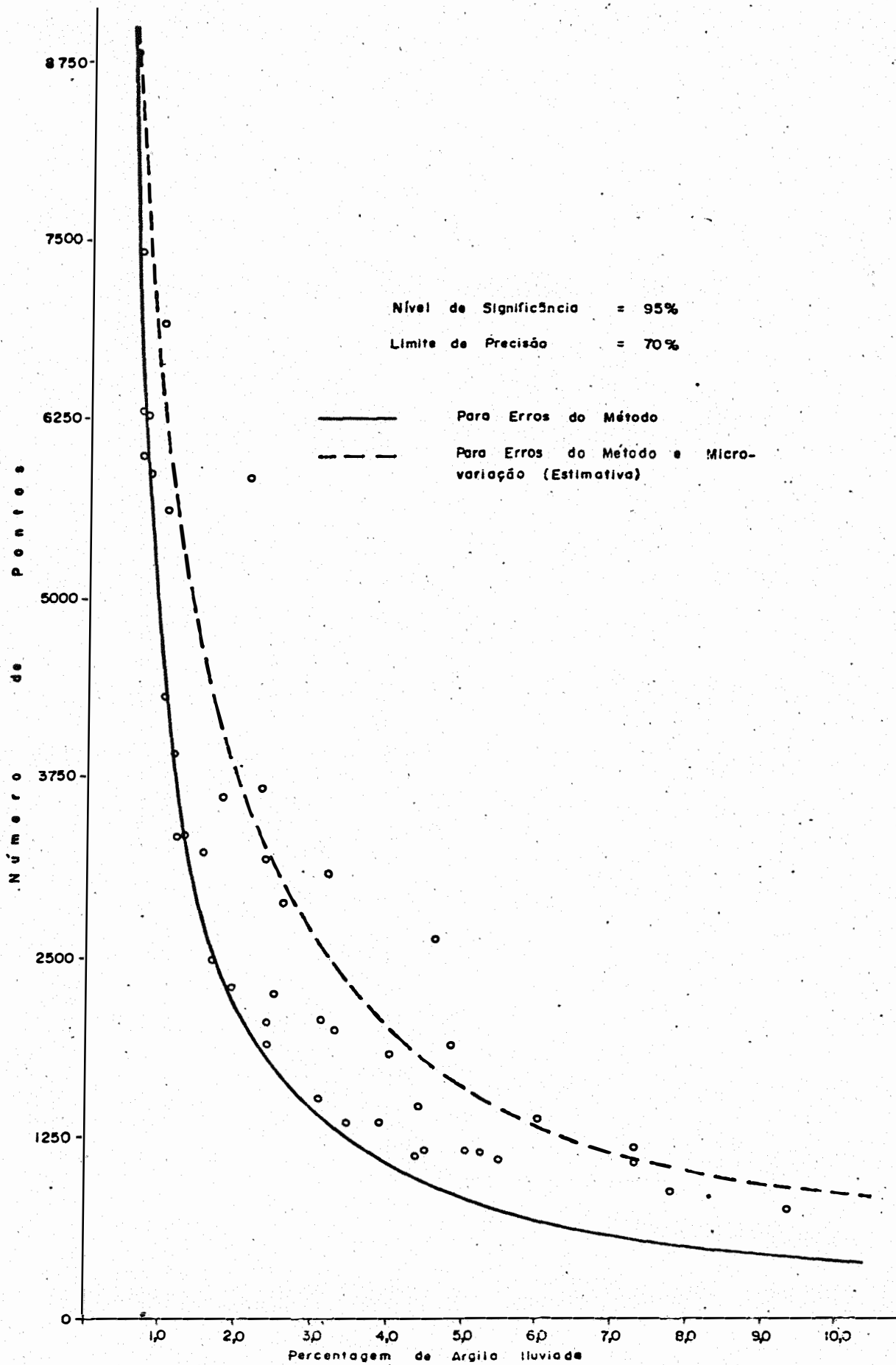


Figura 7 - Número de pontos a ser tomado por seção delgada.

4.5 - NÚMERO DE SEÇÕES DELGADAS A SER TOMADO POR SUBHORIZONTES

No Quadro 4.5.1 apresentam-se a média (\bar{v}), o desvio padrão (\bar{s}) e o coeficiente de variação (C. V.) dos volumes de argila iluviada, obtidos com quatro repetições, em nove blocos pertencentes a subhorizontes de três perfis de solos.

O maior coeficiente de variação verificado nos subhorizontes do perfil P₁ (Lins) pode ser atribuído a grande variação do volume de argila iluviada, dentro de cada subhorizonte, devido à movimentação não uniforme da argila pelo perfil, fato já discutidos nos itens 4.1 e 4.3.

No subhorizonte B₂₁ Superior, do perfil P₂ (Marília), ocorrem pontos onde a argila iluviada e também a "in situ" está eluviando-se para horizontes inferiores. No B₂₂ Inferior a argila iluviada tem uma distribuição não uniforme, provavelmente pelo fato da maior proporção ficar retida nos horizontes superiores e a iluviação se processar apenas em vazios que se comunicam com os dos subhorizontes superiores.

Essas variações entre seções delgadas influenciam no cálculo da amostragem estatisticamente adequada. Nos Quadros 4.5.2 a 4.5.4 apresentam-se os números de seções delgadas a serem tomados por blocos pertencentes a subhorizontes de três perfis.

Quadro 4.5.1 - Microvariações entre seções delgadas de horizontes de três perfis

Perfil	Subhorizontes (blocos)	Média (\bar{v} %)	Desvio padrão (\bar{s})	Coefficiente de variação (C. V.)
P ₁	B ₂₁ Sup	2,97	1,35	45,40
	B ₂₁ Inf	1,09	0,53	48,67
	B ₂₂ Sup	1,46	0,86	58,67

P ₂	B ₂₁ Sup	2,78	1,22	43,87
	B ₂₁ Inf	7,94	0,97	12,24
	B ₂₂ Sup	4,87	1,28	26,22
	B ₂₂ Inf	1,58	0,65	41,15

P ₃	B ₂₁ Sup	2,49	0,49	19,75
	B ₂₁ Inf	4,66	0,61	13,02

Quadro 4.5.2 - Número de seções delgadas (n_3) a ser tomado por subhorizontes do P_1 (variação Lins).

Nível de Significância	Limites de precisão	Subhorizontes			Média
		B ₂₁ Sup.	B ₂₁ Inf.	B ₂₂ Sup.	
68%	50%	1	1	1	1
	60%	1	1	2	2
	70%	2	3	4	3
	80%	5	6	9	7
	90%	21	24	34	26
	95%	82	94	138	103
95%	50%	3	4	6	4
	60%	5	6	9	7
	70%	9	11	15	12
	80%	21	24	34	26
	90%	82	95	138	103
	95%	330	379	551	418

Quadro 4.5.3 - Número de seções delgadas (n_3) a ser tomado por subhorizontes do P_2 (variação Marília)

Níveis de Signifi - cância	Limites de de precisão	Subhorizontes				Média
		B ₂₁ Sup.	B ₂₁ Inf.	B ₂₂ Sup.	B ₂₂ Inf.	
68%	50%	1	1	1	1	1
	60%	1	1	1	1	1
	70%	2	1	1	2	1
	80%	5	1	2	4	3
	90%	19	1	7	17	11
	95%	77	6	27	68	47
95%	50%	3	1	1	3	2
	60%	5	1	2	4	3
	70%	9	1	3	8	5
	80%	19	1	7	17	11
	90%	77	6	27	68	47
	95%	308	24	110	271	178

Quadro 4.5.4 - Número de seções delgadas (n_3) a ser tomado por subhorizontes do P_3 (série Luiz de Queiroz)

Nível de Significância	Limites de precisão	Subhorizontes		Média
		B_{21} Sup.	B_{21} Inf.	
68%	50%	1	1	1
	60%	1	1	1
	70%	1	1	1
	80%	1	1	1
	90%	4	2	3
	95%	16	7	11
95%	50%	1	1	1
	60%	1	1	1
	70%	2	1	1
	80%	4	2	3
	90%	16	7	11
	95%	62	27	45

5 - CONCLUSÕES

- 5.1 - As microvariações do teor de argila iluviada influenciam a amostragem, tanto do número de pontos por seção delgada como do número destas por subhorizonte. Essas microvariações foram atribuídas a fatores pedogenéticos, como: percolação de água por caminhos preferenciais, intensidade não uniforme do processo de iluviação e eluviação pelo perfil.
- 5.2 - A frequência de pontos sobre argila iluviada, nas 400 posições da ocular, ajusta-se melhor à distribuição binomial generalizada. Tal fato foi interpretado como sendo uma distorção da binomial comum, esperada pelos erros do método, em consequência das microvariações, que fazem a probabilidade de ocorrência de argila iluviada variar de ponto a ponto.
- 5.3 - As microvariações interferem sobre a binomial comum, mais intensamente, nas seções delgadas com maior volume de argila iluviada.
- 5.4 - Em virtude dos erros que ocorrem na determinação microestereométrica e da baixa percentagem de argila iluviada na amostra, deve-se aceitar para fins práticos, o nível de significância de 95% e o limite de precisão de 70% .
- 5.5 - Os critérios de MIEDEMA e SLAGER (1972) , só devem ser considerados se o volume de argila iluviada apresentar pelo menos a exatidão referida no ítem 5.4 .

- 5.6 - O limite de 1% do SOIL SURVEY STAFF (1967) , sem considerar os erros envolvidos, torna-se muito vago. Só deve ser considerado se o valor por subhorizonte que se quer denominar argílico, além de ser maior ou igual a 1% , apresentar no mínimo a exatidão referida no ítem 5.4 .
- 5.7 - O procedimento anterior exige trabalho preliminar de cálculo do número de amostras. Entretanto, em função dos dados observados nesse trabalho, pode ser considerado argílico o subhorizonte em que:
- a) O volume médio de argila iluviada, no mínimo de seis seções delgadas, além de ser superior ou igual a 1% é superior a 0,7% em pelo menos 50% das seções examinadas.
 - b) O número de pontos examinados por seção delgada for estimado, em função do teor de argila iluviada, através da curva segmentada, proposta na Figura 7 .

Essa amostragem resultará exatidão frequentemente superior a referida no ítem 5.4 . O número mínimo de seis seções delgadas por subhorizonte representa a média exigida nos horizontes aqui estudados, considerando a exatidão referida no ítem 5.4 , podendo ser alterado nos casos em que as microvariações são conhecidas.

6 - RESUMO

Foram obtidas seções delgadas de perfis de quatro grandes grupos de solos, para se estudar: a viabilidade da aplicação da aplicação de método microestereométrico na determinação do volume de argila iluviada, os erros envolvidos, o cálculo de amostragem adequada.

O volume de argila iluviada foi obtido em 46 seções delgadas, com a ocular de integração, sob microscópio polarizante, levantando-se um total de 460.000 pontos.

As distribuições de frequência da argila iluviada, obtidas nas seções delgadas, foram ajustadas a três distribuições teóricas, binomial comum, Poisson e binomial generalizada ; permitindo estimativas dos erros do método e das microvariações envolvidas.

Os números de pontos necessários para se obterem amostras estatisticamente adequadas foram obtidos, considerando dois níveis de significância e seis limites de precisão.

Os resultados obtidos foram discutidos em função de aspectos pedogenéticos e de classificação de solos.

7 - SUMMARY

Thin sections of profiles from four great groups of soils were obtained, in order to study: the viability of application of the microstereometric method in the determination of the volume of illuviated clay, the involved errors, the calculation of suitable sampling.

The volume of illuviated clay was obtained in 46 thin sections, with an integration ocular, under a polarizing microscope, by surveying a total of 460.000 points.

The illuviated clay frequency distributions, obtained in the thin sections were adjusted to three theoretical distributions, common binomial, Poisson and generalized binomial ; which allowed the estimations of the errors of the method and the involved microvariations.

The number of points necessary to obtain the statistically suitable samples was obtained by considering two levels of significance and six precision limits.

The results obtained were discussed in function of pedogenetic aspects and soil classification.

8 - LITERATURA CITADA

1. ALOISI, R. R. - 1973 - Caracterização de Algumas Famílias de Solos do Município de Jaboticabal. Tese de Doutorado apresentada à Faculdade de Medicina Veterinária e Agronomia de Jaboticabal 157 pp.
2. ANDERSON, D. M. e R. R. DINNIE - 1961 - Modal analysis of soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 25: 499-503.
3. BENNEMA, J. ; A. JONGERIJUS e R. C. LEMOS - 1970 - Micromorphology of some oxic and argillic horizons in south Brazil in relation to weathering sequences. Geoderma 4: 333-355.
4. BOUMA, J. ; L. J. PONS e J. van SCHUYLENBORCH - 1968 - On soil genesis in temperate humid climate. VI. The formation of a glossudalf in loess (silt loam). Neth. J. Agric. Sci 16: 58-70.
5. BOUMA, J. e J. van SCHUYLENBORCH - 1969 - On soil genesis in temperate humid climate. VII. The formation of a glossaqualf in a silt-loam terrace deposit. Neth. J. Agric. Sci. 17: 261-271.
6. BREWER, R. - 1955 - Mineralogical examination of a Yellow Podzolic Soil formed on granodiorite. Soil Publication n.º 5, C.S.I. R.O., Australia. 28 pp.
7. BREWER, R. - 1956 - Optically oriented clays in thin section of soils. Sixième Congrès de la Science du Sol, Paris (I. 3): 21-25 .
8. BREWER, R. - 1960 - Cutans: their definition, recognition and interpretation. J. Soil Sci. 11: 280-292.
9. BREWER, R. - 1964 - Fabric and Mineral Analysis of Soils. New York. John Wiley and Sons, Inc. 470 pp.

10. BREWER, R. - 1968 - Clay illuviation as a factor in particle size differentiation in soil profiles. Trans (9th) Int. Congr. Soil Sci. (4): 489-499.
11. BREWER, R. - 1972 - The basis of interpretation of soil micromorphological data. Geoderma 8: 81-94.
12. BREWER, R. - 1973 - Micromorphology. A discipline at chemistry-mineralogy interface. Soil Sci. 115: 261-267.
13. BREWER, R. e D. HALDANE - 1957 - Preliminary experiments in the development of clay orientation in soils. Soil Sci. 84: 301-309.
14. BREWER, R. e P. H. WALKER - 1969 - Weathering and soil development on a sequence of River Terraces. Aust. J. Soil Res. 20: 293-305 .
15. BUOL, S. W. e F. D. HOLE - 1959 - Some characteristics of clay skins on peds in the B horizon of a Grey-Brown Podzolic soil. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 23: 239-241.
16. BUOL, S. W. e F. D. HOLE - 1961 - Clay skin genesis in Wisconsin soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 25: 377-379.
17. CAMPOS, D. A. F. e D. PERECIN - 1972 - Aplicação da ocular de integração no estudo do solo. Rev. Agric. Piracicaba, 47: 57-66.
18. CAMPOS, D. A. F. ; D. PERECIN e H. BORDUCHI - 1973 - Impregnação e preparação de seções delgadas de solos. 48: 155-166.
19. CHAYES, F. - 1954 - The theory of thin section analysis. J. Geology 62: 92-101.
20. CHAYES, F. - 1956 - Petrographic Modal Analysis: An elementary statistical appraisal. John Wiley Sons, Inc. 113 pp.
21. COMISSÃO DE SOLOS - 1960 - Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado de São Paulo. Ministério da Agricultura, CNEPA (Boletim n.º 12) , 634 pp.

22. DANIELS, R. B. ; E. E. GAMBLE ; L. J. BARTELLI e L. A. NELSON - 1968 - Application of the point count method to problems of soil morphology. *Soil Sci.* 106: 149-152.
23. DOBROVOL'SKIY, G. V. e S. A. SHOBA - 1972 - Micromorphological study of a secondary podzolic soil with a scanning electron microscope. *Soviet Soil Sci.* (4): 468-473.
24. EMERSON, D. O. - 1958 - A stage for macro point counting. *Am. Mineralogist* 43: 1000-1003.
25. ESWARAN, H. - 1971 - Electron scanning studies of the fracture surfaces. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 35: 787-790.
26. FALCI, S. C. - 1972 - Identificação de Cutans em Perfis de Latossol Roxo e Terra Roxa Estruturada. Dissertação de Mestrado apresentada a E. S. A. "Luiz de Queiroz" - U.S.P. 76 pp.
27. FITCH, J. F. - 1959 - Macro point counting. *Am. Mineralogist* 47: 667-669.
28. GANDER, R. - 1970 - Micro-stereology: practical examples. *Mikroskopion* 18 + 19 (Vol. 7): 14-17 (publicação da Wild Heerbrugg).
29. GENERAL ELECTRIC COMPANY - 1962 - (Defense Systems Department). Tables of the Individual and Accumulative Terms of Poisson Distribution. D. van Nostrand Co. Inc., Princeton New Jersey. 202 pp.
30. GOODMAN, R. - 1965 - Estatística. Ed. Pioneria / U. S. P. 273 pp.
31. GROSSMAN, R. B. - 1964 - Composite thin sections for estimation of clay-film volume. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 28: 132-133.
32. GROSSMAN, R. B. e J. B. FEHRENBACHER - 1971 - Distribution of moved clay in four Loess-derived Alfisols that occur in Southern Illinois. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 35: 948-951.

33. GROSSMAN, R. B. ; R. T. ODELL e A. H. BEAVERS - 1964 - Surfaces of pedes from B horizons of Illinois soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 28: 792-798.
34. GROSSMAN, R. B. e W. C. LYNN - 1967 - Gel-like films that may form at the air-water interfaces in soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 31: 259-262.
35. HILL, I. D. - 1970 - The use of orientation diagrams in describing plasmic fabrics in soil materials. J. Soil Sci. 21: 184-187.
36. JACKSON, E. D. e D. C. ROSS - 1956 - A technique for modal analysis of medium and coarse grained (3-10 mm) rocks. Am. Mineralogist 41: 648-651.
37. KHALIFA, E. M. e S. W. BUOL - 1968 - Studies of clay skins in a Cecil (Typic Hapludult) soil: I - Composition and genesis. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 32: 857-861.
38. KREMER, A. M. - 1969 - Microstructure of strongly podzolic soil and movement of clay suspensions. Soviet Soil Sci. (3): 286-293.
39. KRUMBEIN, W. C. e E. J. PETTIJOHN - 1938 - Manual of Sedimentary Petrography. Appleton - Century - Crofts, Inc. New York 549 pp.
40. KUBIENA, W. L. - 1938 - Micropedology. Ames, Iowa, Collegiate Press, Inc. 242 pp.
41. LYNN, W. C. e R. B. GROSSMAN - 1970 - Observations of certain soil fabrics with the scanning electron microscope. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 34: 645-648.
42. MAGNIANT, D.; D. DUTIL e J. JAMAINE - 1973 - Étude d'un lessivé glossique développé sur limon éolien en forêt de Trois-Fontaines (Marne). Ann. Agron. 24: 219-240.

43. MANDARINO, J. A. - 1956 - A new technique for micrometric analysis of thin sections. *Am. Mineralogist* 41: 786-789.
44. MARCONI, A. - 1969 - Contribuição ao Estudo da Mineralogia de Solos do Município de Piracicaba. Tese de Doutorado apresentada à E. S. A. "Luiz de Queiroz" - U.S.P. 101 pp.
45. MARCOS, Z. Z. - 1971 - Morphologic and Physical Properties of Fine Textured Oxisols, State of São Paulo. Tese de Ph. D. apresentada a Ohio State University. 272 pp.
46. McCALEB, S. B. - 1954 - Profile studies of normal soils of New York: IV - Mineralogical properties of Gray-Brown Podzolic soil sequence. *Soil Sci.* 77: 319-333.
47. MIEDEMA, R. e S. SLAGER - 1972 - Micromorphological quantification of clay illuviation. *J. Soil Sci* 23: 309-314.
48. MILFRED, C. J. ; F. D. HOLE e H. TORRIE - 1967 - Sampling for pedographic modal analysis of an argillic horizon. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 31: 244-247.
49. MILLER, F. P. ; L. P. WILDING e N. HOLOWAYCHUCK - 1971 - Canfield silt loam, a Fragiudalf: II - Micromorphology, physical and chemical properties. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 35: 324-331.
50. MINASHINA, N. G. - 1958 - Optically oriented clay in soils. *Soviet. Soil Sci.* (4): 424-430.
51. NETTLETON, W. D. ; K. W. FRACH e B. R. BRASHER - 1969 - Argillic horizons without clay skins. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 33: 121-125.
52. NETTLETON, W. D. ; R. J. McCracken e R. B. DANIELS - 1968 - Two North Carolina coastal plain catenas: II - Micromorphology, composition and fragipan genesis. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 32: 582-587.

53. OLIVEIRA, J. B. - 1972 - Variação de Características Morfológicas, Físicas, Químicas e Mineralógicas em Duas Áreas de Oxid solo. Tese apresentada à E. S. A. "Luiz de Queiroz", para obtenção do título de Doutor. 199 pp.
54. PARFENOVA, E. I. ; E. F. MOCHALOVA e N. A. TITOVA - 1964 - Micro morphology and chemism of humus - clay new - formations in grey forest soils. In: Soil Micromorphology, edited by A. Jongerijs. Elviesier Publishing Company: 201-212.
55. PERECIN, D. - 1973 - Observações Micromorfológicas em Sete Perfis de Solos do Município de Piracicaba, Estado de São Paulo. Dissertação de Mestrado apresentada à E. S. A. "Luiz de Queiroz" - U.S.P. 95 pp.
56. PERECIN, D. ; D. A. F. CAMPOS e I. O. ABRAHÃO - 1974 - Orientação de eixos físicos, cristalográficos e óticos da argila iluviada em solos. Científica 1: (no prelo).
57. PIETRABUENA, A. E. - 1968 - Distribuições Interferidas. Estudo Sobre uma Distribuição Generalizada. Tese de M. S. apresentada à E. S. A. "Luiz de Queiroz" - U.S.P. 65 pp.
58. PLAFKER, G. - 1956 - A technique for modal analysis of some fine and medium-grained (0,1 - 5 mm) rocks. Am. Mineralogist 41: 652-655.
59. PLAS, L. van der e A. C. TOBI - 1965 - A chart for judging the reliability of point counting results. Am. J. Sci. 263: 87-90.
60. RANZANI, G. ; O. FREIRE e T. KINJO - 1966 - Carta de Solos do Município de Piracicaba. C. E. S. , ESALQ / USP , 85 pp. (mimeografado).
61. REYNDERS, J. J. - 1972 - A study of argillic horizons in some soils in Marroco. Geoderma 8: 267-279.

62. RUTHERFORD, G. M. - 1964 - Observations on the origin of a cutan in the Yellow + Brown soils of the highlands of New Guinea. In: Soil Micromorphology, edited by A. Jongerius. Elviesier Publishing Company: 237-240.
63. RUTHERFORD, G. K. - 1967 - A micropedological study of the genesis of a Gray - Brown Podzolic soil in Southeastern Ontario (Canada). Geoderma 1: 277-287.
64. SCHAEFER, A. - 1970 - A mathematical basis of stereology. Mikroskopion 18 + 19 (Vol. 7): 3-13 (publicação da Wild Heerbrugg).
65. SCHUYLENBORCH, J. van ; S. SLAGER e A. G. JONGMANS - 1970 - On soil genesis in temperate humid climate. VIII - The formation of a "Udalf" Entrochrept. Neth J. Agric. Sci. 18: 207-214.
66. SMECK, N. E. ; L. P. WILDING e N. HOLOWAYCHUCK - 1968 - Genesis of argillic horizons in western Ohio. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 32: 550-556.
67. SMITHSON, S. - 1963 - A point counter for modal analysis of stained rock slabs. Am. Mineralogist 48: 1164-1166.
68. SNEDECOR, G. W. - 1956 - Statistical Methods Applied to Experiments in Agriculture and Biology. 5^a ed. The Iowa State College Press, Ames , Iowa. 534 pp.
69. SOIL SURVEY STAFF - 1960 - Soil Classification: A comprehensive System (7th Approximation). U. S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service, Washington, 265 pp.
70. SOIL SURVEY STAFF - 1967 - Supplement to Soil Classification System. U. S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service, Washington, 207 pp.

71. SPIEGEL, M. R. - 1969 - Estatística. Coleção Schaum. Ao Livro Técnico S. A. Rio de Janeiro. 580 pp.
72. STEPHEN, I. - 1960 - Clay orientation in soils. Sci. Progress 48(190): 322-331.
73. VAZHENIN, I. G. ; R. V. DOLGOPOLOVA e A. P. SNETKOVA - 1969 - Microvariation of characteristics and properties of soils within a soil profile. Soviet Soil Sci. (2): 141-155.
74. WAMBEKE, A. van. - 1972 - Mathematical expression of elluviation-illuviation processes and the computation of the effects of clay migration in homogeneous soil parent materials. J. Soil Sci. 23: 325-332.

9 - A P Ê N D I C E

As frequências observadas e as frequências esperadas pelas distribuições:

binomial comum ,

Poisson ,

binomial generalizada.

Quadro 4.3.1 - Frequências para a seção delgada n.º 1

Pontos de Ocular	Frequência Observada	Frequência Esperada		
		Binomial Comum	Poisson	Bin. Generalizada
0	376	376,68	376,71	376,02
≥ 1	24	23,32	23,29	23,98
Total	400	400,00	400,00	400,00

Quadro 4.3.2 - Frequências para a seção delgada n.º 2

Pontos de Ocular	Frequência Observada	Frequência Esperada		
		Binomial Comum	Poisson	Bin. Generalizada
0	350	348,84	348,62	354,08
1	48	48,18	47,93	38,47
≥ 2	2	3,34	3,45	7,45
Total	400	400,00	400,00	400,00

Quadro 4.3.3 - Frequências para a seção delgada n.º 3

Pontos da Ocular	Frequência Observada	Frequência Esperada		
		Binomial Comum	Poisson	Bin. Generalizada
0	214	120,06	120,48	203,75
1	81	148,02	144,57	86,11
2	34	87,60	86,74	45,80
3	24	33,12	34,70	26,03
4	17	11,20	13,51	15,26
5	13			9,12
6	10			5,51
≥ 7	7			8,42
Total	400	400,00	400,00	400,00

Quadro 4.3.4 - Frequências para a seção delgada n.º 4

Pontos da Ocular	Frequência Observada	Frequência Esperada		
		Binomial Comum	Poisson	Bin. Generalizada
0	242	218,48	219,50	255,06
1	113	133,74	131,71	88,57
2	29	39,30	39,51	33,93
3	8	8,48	9,28	13,40
≥ 4	8			9,04
Total	400	400,00	400,00	400,00

Quadro 4.3.5 - Frequências para a seção delgada n.º 5

Pontos da Ocular	Frequência Observada	Frequência Esperada		
		Binomial Comum	Poisson	Bin. Generalizada
0	232	175,57	177,94	236,94
1	97	146,98	144,13	84,78
2	33	59,06	58,37	38,83
3	16	18,39	19,56	19,08
4	11			9,70
≥ 5	11			10,67
Total	400	400,00	400,00	400,00

Quadro 4.3.6 - Frequências para a seção delgada n.º 6

Pontos da Ocular	Frequência Observada	Frequência Esperada		
		Binomial Comum	Poisson	Bin. Generalizada
0	280	271,37	272,18	278,27
1	91	106,11	104,79	95,28
2	24	22,52	23,03	21,58
≥ 3	5			4,87
Total	400	400,00	400,00	400,00

Quadro 4.3.7 - Frequências para a seção delgada n.º 7

Pontos de Ocular	Frequência Observada	Frequência Esperada		
		Binomial Comum	Poisson	Bin. Generalizada
0	299	297,29	297,82	299,78
1	87	88,75	87,85	84,52
≥ 2	14	13,96	14,33	15,70
Total	400	400,00	400,00	400,00

Quadro 4.3.8 - Frequências para a seção delgada n.º 8

Pontos da Ocular	Frequência Observada	Frequência Esperada		
		Binomial Comum	Poisson	Bin. Generalizada
0	269	256,61	257,61	277,72
1	106	114,93	113,35	84,94
2	13	] 28,46 ]	] 29,04]	25,94
≥ 3	12			11,40
Total	400	400,00	400,00	400,00

Quadro 4.3.9 - Frequências para a seção delgada n.º 9

Pontos de Ocular	Frequência Observada	Frequência Esperada		
		Binomial Comum	Poisson	Bin. Generalizada
0	355	354,67	354,77	354,93
1	42	42,77	42,57	42,27
≥ 2	3	2,56	2,66	2,80
Total	400	400,00	400,00	400,00

Quadro 4.3.10 - Frequências para a seção delgada n.º 10

Pontos da Ocular	Frequência Observada	Frequência Esperada		
		Binomial comum	Poisson	Bin. Generalizada
0	329	315,08	318,44	329,52
1	54	75,55	72,61	52,80
2	12	] 9,37	] 8,95	12,82
≥ 3	5			4,86
Total	400	400,00	400,00	400,00

Quadro 4.3.11 - Frequências para a seção delgada n.º 11

Pontos da Ocular	Frequência Observada	Frequência Esperada		
		Binomial Comum	Poisson	Bin. Generalizada
0	299	235,30	237,81	295,63
1	56	126,18	123,66	56,08
2	18	32,48	32,15	23,23
3	9	6,04	6,38	11,35
4	6			5,98
≥ 5	12			7,73
Total	400	400,00	400,00	400,00

Quadro 4.3.12 - Frequências para a seção delgada n.º 12

Pontos da Ocular	Frequência Observada	Frequência Esperadas		
		Binomial Comum	Poisson	Bin. Generalizada
0	335	337,27	337,47	335,07
1	62	57,73	57,37	61,87
≥ 2	3	5,00	5,16	3,06
Total	400	400,00	400,00	400,00

Quadro 4.3.13 - Frequências para a seção delgada n.º 13

Pontos da Ocular	Frequência Observada	Frequência Esperada		
		Binomial Comum	Poisson	Bin. Generalizada
0	267	223,00	223,94	265,49
1	80	131,83	129,90	80,00
2	26	37,41	37,67	31,18
3	18	] 7,76	] 8,49	13,07
≥ 4	9			10,26
Total	400	400,00	400,00	400,00

Quadro 4.3.14 - Frequências para a seção delgada n.º 14

Pontos da Ocular	Frequência Observada	Frequência Esperada		
		Binomial Comum	Poisson	Bin. Generalizada
0	329	329,71	330,78	330,51
1	67	63,96	62,85	62,52
≥ 2	4	6,33	6,37	6,97
Total	400	400,00	400,00	400,00

Quadro 4.3.15 - Frequências para a seção delgada n.º 15

Pontos da Ocular	Frequência Observada	Frequência Esperada		
		Binomial Comum	Poisson	Bin. Generalizada
0	177	142,66	147,15	184,52
1	127	150,16	147,15	111,77
2	49	75,86	73,58	56,22
3	27	24,47	24,52	26,35
4	11	] 6,85	] 7,60	11,90
≥ 5	9			9,24
Total	400	400,00	400,00	400,00

Quadro 4.3.16 - Frequências para a seção delgada n.º 16

Pontos de Ocular	Frequência Observada	Frequência Esperada		
		Binomial Comum	Poisson	Bin. Generalizada
0	290	298,04	298,72	292,95
1	105	88,21	87,22	97,29
≥ 2	5	13,75	14,06	9,76
Total	400	400,00	400,00	400,00

Quadro 4.3.17 - Frequências para a seção delgada n.º 17

Pontos da Ocular	Frequência Observada	Frequência Esperada		
		Binomial Comum	Poisson	Bin. Generalizada
0	229	205,97	206,74	243,77
1	119	138,54	136,45	93,48
2	31	44,73	45,03	37,30
3	12	] 10,76 ]	] 11,78]	15,08
≥ 4	9			10,37
Total	400	400,00	400,00	400,00

Quadro 4.3.18 - Frequências para a seção delgada n.º 18

Pontos da Ocular	Frequência Observada	Frequência Esperada		
		Binomial Comum	Poisson	Bin. Generalizada
0	196	173,77	176,17	204,86
1	130	147,32	144,46	113,32
2	44	59,95	59,23	49,78
3	20	15,59	16,19	19,98
4	5	] 3,37 ]	] 3,95]	7,64
≥ 5	5			4,42
Total	400	400,00	400,00	400,00

Quadro 4.3.19 - Frequências para a seção delgada n.º 19

Pontos da Ocular	Frequência Observada	Frequência Esperada		
		Binomial Comum	Poisson	Bin. Generalizada
0	96	60,61	66,12	104,30
1	117	118,80	119,02	106,59
2	78	111,77	107,11	77,79
3	56	67,18	64,27	49,20
4	18	28,97	28,92	28,72
5	14	] 12,67	] 14,56	15,93
≥ 6	21			17,47
Total	400	400,00	400,00	400,00

Quadro 4.3.20 - Frequências para a seção delgada n.º 20

Pontos da Ocular	Frequência Observada	Frequência Esperada		
		Binomial Comum	Poisson	Bin. Generalizada
0	95	52,24	56,91	84,36
1	93	110,79	110,97	106,22
2	78	112,78	108,21	85,78
3	65	73,35	70,33	56,36
4	34	34,23	34,28	32,78
5	20	12,19	13,37	17,59
6	7	] 4,42	] 5,94	8,91
≥ 7	8			8,00
Total	400	400,00	400,00	400,00

Quadro 4.3.21 - Frequências para a seção delgada n.º 21

Pontos da Ocular	Frequência Observada	Frequência Esperada		
		Binomial Comum	Poisson	Bin. Generalizada
0	113	59,80	62,89	111,08
1	100	118,08	116,36	103,48
2	72	111,91	107,63	73,60
3	48	67,77	66,37	46,94
4	33	24,44	30,70	28,22
5	17	] 18,00 ]	] 16,05]	16,34
6	8			9,22
≥ 7	9			11,12
Total	400	400,00	400,00	400,00

Quadro 4.3.22 - Frequências para a seção delgada n.º 22

Pontos da Ocular	Frequência Observada	Frequência Esperada		
		Binomial Comum	Poisson	Bin. Generalizada
0	57	34,24	40,10	63,38
1	100	88,64	92,24	93,65
2	93	109,71	106,07	86,42
3	59	86,76	81,32	63,76
4	42	49,22	46,76	41,14
5	19	21,32	21,51	24,27
6	16	] 10,11 ]	] 12,00]	13,42
7	5			7,06
≥ 8	9			6,90
Total	400	400,00	400,00	400,00

Quadro 4.3.23 - Frequências para a seção delgada n.º 23

Pontos da Ocular	Frequência Observada	Frequência Esperada		
		Binomial Comum	Poisson	Bin. Generalizada
0	137	84,71	89,24	136,54
1	111	135,66	133,89	108,43
2	65	104,28	100,41	68,66
3	41	51,21	50,20	39,80
4	18	18,04	18,83	22,00
5	13	] 6,10	] 7,43	11,81
6	8			6,21
≥ 7	7			6,55
Total	400	400,00	400,00	400,00

Quadro 4.3.24 - Frequências para a seção delgada n.º 24

Pontos da Ocular	Frequência Observada	Frequência Esperada		
		Binomial Comum	Poisson	Bin. Generalizada
0	186	182,51	185,21	188,38
1	148	145,48	142,61	138,30
2	40	55,66	54,90	54,20
3	23	13,61	14,09	15,06
≥ 4	3	2,74	3,19	4,06
Total	400	400,00	400,00	400,00

Quadro 4.3.25 - Frequências para a seção delgada n.º 25

Pontos da Ocular	Frequência Observada	Frequência Esperada		
		Binomial Comum	Poisson	Bin. Generalizada
0	168	115,12	120,48	176,38
1	119	147,01	144,57	101,90
2	49	90,12	86,74	56,16
3	25	35,29	34,70	30,45
4	22	] 12,46]	13,51	16,38
5	6			8,76
≥ 6	11			9,97
Total	400	400,00	400,00	400,00

Quadro 4.3.26 - Frequências para a seção delgada n.º 26

Pontos da Ocular	Frequência Observada	Frequência Esperada		
		Binomial Comum	Poisson	Bin. Generalizada
0	118	97,24	98,64	123,77
1	132	141,49	138,09	124,86
2	82	98,82	96,67	79,60
3	42	44,09	45,11	40,90
4	12	14,11	15,79	18,49
≥ 5	14	4,25	5,70	12,38
Total	400	400,00	400,00	400,00

Quadro 4.3.27 - Frequências para a seção delgada n.º 27

Pontos da Ocular	Frequência Observada	Frequência Esperada		
		Binomial Comum	Poisson	Bin. Generalizada
0	214	216,81	219,52	221,16
1	148	134,42	131,71	128,37
2	23	40,00	39,51	39,86
≥ 3	15	8,77	9,26	10,61
Total	400	400,00	400,00	400,00

Quadro 4.3.28 - Frequências para a seção delgada n.º 28

Pontos da Ocular	Frequência Observada	Frequência Esperada		
		Binomial Comum	Poisson	Bin. Generalizada
0	257	263,22	264,13	260,53
1	125	111,08	109,62	115,44
2	14	22,50	22,75	21,67
≥ 3	4	3,20	3,50	2,36
Total	400	400,00	400,00	400,00

Quadro 4.3.29 - Frequências para a seção delgada n.º 29

Pontos da Ocular	Frequência Observada	Frequência Esperada		
		Binomial Comum	Poisson	Bin. Generalizada
0	286	291,33	291,92	289,12
1	105	92,94	91,95	96,75
≥ 2	9	15,73	16,13	14,13
Total	400	400,00	400,00	400,00

Quadro 4.3.30 - Frequências para a seção delgada n.º 30

Pontos da Ocular	Frequência Observada	Frequência Esperada		
		Binomial Comum	Poisson	Bin. Generalizada
0	310	311,92	312,15	310,58
1	82	77,97	77,41	80,34
≥ 2	8	10,11	10,44	9,08
Total	400	400,00	400,00	400,00

Quadro 4.3.31 - Frequências para a seção delgada n.º 31

Pontos da Ocular	Frequência Observada	Frequência Esperada		
		Binomial Comum	Poisson	Bin. Generalizada
0	341	339,83	340,01	342,27
1	55	55,58	55,25	51,21
≥ 2	4	4,59	4,74	6,52
Total	400	400,00	400,00	400,00

Quadro 4.3.32 - Frequências para a seção delgada n.º 32

Pontos da Ocular	Frequência Observada	Frequência Esperada		
		Binomial Comum	Poisson	Bin. Generalizada
0	321	308,00	308,42	319,23
1	59	80,92	80,19	62,86
≥ 2	20	11,08	11,39	17,91
Total	400	400,00	400,00	400,00

Quadro 4.3.33 - Frequências para a seção delgada n.º 33

Pontos da Ocular	Frequência Observada	Frequência Esperada		
		Binomial Comum	Poisson	Bin. Generalizada
0	248	246,99	247,51	247,91
1	118	120,23	118,81	118,83
2	30	28,09	28,51	28,25
≥ 3	4	4,69	5,17	5,01
Total	400	400,00	400,00	400,00

Quadro 4.3.34 - Frequências para a seção delgada n.º 34

Pontos da Ocular	Frequência Observada	Frequência Esperada		
		Binomial Comum	Poisson	Bin. Generalizada
0	210	181,57	183,36	211,03
1	117	145,70	143,02	112,32
2	43	56,12	55,78	47,61
3	16	] 16,61 ]	] 17,84]	18,48
≥ 4	14			10,56
Total	400	400,00	400,00	400,00

Quadro 4.3.35 - Frequências para a seção delgada n.º 35

Pontos da Ocular	Frequência Observada	Frequência Esperada		
		Binomial Comum	Poisson	Bin. Generalizada
0	225	216,26	217,33	225,83
1	123	134,65	132,58	121,64
2	40	40,24	40,44	39,65
≥ 3	12	8,85	9,65	12,88
Total	400	400,00	400,00	400,00

Quadro 4.3.36 - Frequências para a seção delgada n.º 36

Pontos da Ocular	Frequência Observada	Frequência Esperada		
		Binomial Comum	Poisson	Bin. Generalizada
0	228	212,41	215,18	229,82
1	118	136,16	133,41	113,44
2	38	41,90	41,36	39,92
≥ 3	16	9,53	10,05	16,82
Total	400	400,00	400,00	400,00

Quadro 4.3.37 - Frequências para a seção delgada n.º 37

Pontos da Ocular	Frequência Observada	Frequência Esperada		
		Binomial Comum	Poisson	Bin. Generalizada
0	124	103,88	109,01	130,13
1	137	143,90	141,71	125,99
2	70	95,68	92,11	77,51
3	46	40,65	39,91	38,57
4	14	12,39	12,97	16,92
≥ 5	9	3,50	4,29	10,88
Total	400	400,00	400,00	400,00

Quadro 4.3.38 - Frequências para a seção delgada n.º 38

Pontos da Ocular	Frequência Observada	Frequência Esperada		
		Binomial Comum	Poisson	Bin. Generalizada
0	156	129,19	133,15	161,15
1	132	149,36	146,46	121,99
2	61	82,88	80,55	65,38
3	31	29,38	29,54	30,22
4	12	] 9,19	] 10,30	12,86
≥ 5	8			8,40
Total	400	400,00	400,00	400,00

Quadro 4.3.39 - Frequências para a seção delgada n.º 39

Pontos da Ocular	Frequência Observada	Frequência Esperada		
		Binomial Comum	Poisson	Bin. Generalizada
0	129	109,51	114,60	133,83
1	139	145,60	143,25	127,90
2	73	92,93	89,53	76,66
3	29	37,89	37,30	36,84
4	22	] 14,07	] 15,32	15,52
≥ 5	8			9,25
Total	400	400,00	400,00	400,00

Quadro 4.3.40 - Frequências para a seção delgada n.º 40

Pontos da Ocular	Frequência Observada	Frequência Esperada		
		Binomial Comum	Poisson	Bin. Generalizada
0	152	147,19	150,12	164,45
1	163	150,13	147,12	132,99
2	47	73,50	72,10	65,40
3	24	22,99	23,55	25,25
≥ 4	14	6,19	7,11	11,91
Total	400	400,00	400,00	400,00

Quadro 4.3.41 - Frequências para a seção delgada n.º 41

Pontos da Ocular	Frequência Observada	Frequência Esperada		
		Binomial Comum	Poisson	Bin. Generalizada
0	335	333,89	334,11	334,62
1	58	60,54	60,14	59,21
≥ 2	7	5,57	5,75	6,17
Total	400	400,00	400,00	400,00

Quadro 4.3.42 - Frequências para a seção delgada n.º 42

Pontos da Ocular	Frequência Observada	Frequência Esperada		
		Binomial Comum	Poisson	Bin. Generalizada
0	369	367,35	367,41	368,79
≥ 1	31	32,65	32,59	31,21
Total	400	400,00	400,00	400,00

Quadro 4.3.43 - Frequências para a seção delgada n.º 43

Pontos da Ocular	Frequência Observada	Frequência Esperada		
		Binomial Comum	Poisson	Bin. Generalizada
0	144	127,18	133,15	142,10
1	132	149,12	146,46	136,17
2	79	83,93	80,55	75,08
3	26	30,18	29,54	31,21
4	16	9,59	8,12	10,86
≥ 5	3		2,18	4,58
Total	400	400,00	400,00	400,00

Quadro 4.3.44 - Frequências para a seção delgada n.º 44

Pontos da Ocular	Frequência Observada	Frequência Esperada		
		Binomial Comum	Poisson	Bin. Generalizada
0	135	130,89	133,15	141,21
1	154	149,53	146,46	140,23
2	69	82,00	80,55	76,01
3	29	28,73	29,54	29,77
4	9	7,22	8,12	9,42
≥ 5	4	1,63	2,18	3,36
Total	400	400,00	400,00	400,00

Quadro 4.3.45 - Frequências para a seção delgada nº 45

Pontos da Ocular	Frequência Observada	Frequência Esperada		
		Binomial Comum	Poisson	Bin. Generalizada
0	173	165,43	167,58	171,67
1	139	148,67	145,80	141,63
2	63	64,13	63,42	61,89
3	18	17,67	18,39	19,04
≥ 4	7	4,10	4,81	5,77
Total	400	400,00	400,00	400,00

Quadro 4.3.46 - Frequências para a seção delgada nº 46

Pontos da Ocular	Frequência Observada	Frequência Esperada		
		Binomial Comum	Poisson	Bin. Generalizada
0	335	336,42	336,62	335,89
1	62	58,44	58,07	59,42
≥ 2	3	5,14	5,31	4,69
Total	400	400,00	400,00	400,00