

VARIABILIDADE ESPACIAL DE CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS EM SOLO SALINO-SÓDICO (*)

MARDONIO AGUIAR COELHO**

1. INTRODUÇÃO

A variabilidade espacial das características do solo é inerente ao sistema e pode se constituir em fator dominante na interpretação e aplicação dos resultados de análises às práticas de manejo do solo e da água, uma vez que a precisão das análises é mantida em níveis satisfatórios. Diferenças de várias ordens de magnitude entre valores de características determinadas em locais muito próximos no solo ocorrem com frequência, e nos últimos anos esforços têm sido dirigidos para o estudo da variabilidade espacial (Nielsen et alii, 1973; Coelho, 1974; Oliveira & Menk, 1974; Cassel & Bauer, 1975; Biggar & Nielsen, 1976; Reichardt et alii, 1976; Warrick et alii, 1977; Rao et alii, 1979).

A variabilidade em solos salinos e sódicos localizados em perímetros de irrigação do Nordeste é, em grande parte aumentada pela estratificação e mistura de materiais que ocorrem em solos aluviais. Estudos sobre amostragem e variabilidade em solos salinos e sódicos têm sido conduzidos e recentemente intensi-

ficados (Sayegh et alii, 1958; Gomes & Millar, 1978; Wagnet & Jurinak, 1978).

Na caracterização de problemas de salinidade e nos trabalhos de recuperação de solos salinos e sódicos a otimização do número de amostras e de determinações é de capital importância na redução dos custos de amostragem e análises de laboratório.

Os objetivos do presente trabalho foram a caracterização da variabilidade espacial de características físicas e químicas em pequena área de solo aluvial, uniforme com respeito a classificação, e a determinação do número de amostras necessárias para estimar a média dessas características a um determinado nível de precisão.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Em área considerada homogênea de 8.404 m², da unidade de solo Aluvial Eutrófico, classificado como Salino-Sódico e Vertic torrifluents por Coelho (1971), situada na Fazenda Experimental da UFC em Pentecoste, Ceará, foram coletadas amostras para análise em laboratório. Sumário de características do solo é apresentado no Quadro 1.

Na coleta das amostras foi considerada a subdivisão da área em 128 parce-

* Trabalho realizado com recursos do Convênio CNPq/FCPC — Dessalinização.

** Professor Adjunto do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará.

QUADRO 01

Características físicas e químicas do solo da Área CS-2 da Fazenda Experimental do Vale do Curu, Pentecoste — Ce.

PROF. cm	COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA			MATÉRIA ORGÂNICA %	mE/100g				CTC
	areia	silte	argila		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	
0-15	9,8	51,6	38,6	2,74	8,00	9,80	0,34	1,36	21,48
15-44	9,0	48,7	42,3	1,52	10,30	8,20	0,19	2,62	23,45
44-85	13,4	42,5	44,1	1,60	9,90	8,90	0,18	5,46	24,44
35-115	7,8	48,0	44,2	1,08	10,00	9,50	0,23	6,40	26,13

las de 6m x 10m e adotado o seguinte esquema: (1) 120 amostras com estrutura não deformada, retiradas com amostrador tipo Uhland, em cilindros de 7,62 cm de altura e 7,62 cm de diâmetro interno, em 40 parcelas escolhidas ao acaso, nas profundidades de 0-20 cm, 30-40 cm e 50-60 cm, nas quais foi determinada a densidade do solo (g/cm³) de acordo com Blake (1965); (2) 40 amostras em torrões, nas mesmas parcelas da coleta anterior, na profundidade de 0-20 cm, para a determinação da estabilidade de agregados (% de agregados estáveis em água de diâmetro entre 2,0 e 0,25mm) segundo o método descrito por de Paula (1981); (3) 384 amostras, nas profundidades de 0-30, 30-60 e 60-90 cm, retiradas com trado tipo holandês no centro de cada uma das 128 parcelas, que foram utilizadas na determinação de pH, condutividade elétrica do extrato de saturação (CE, mmhos/cm), cátions trocáveis e CTC (mE/100g), percentagem de sódio trocável (PST), cátions e ânions solúveis, no extrato de saturação (mE/l) e relação de adsorção de sódio (RAS), de acordo com métodos descritos por Richards (1954).

Foram computados, para cada uma das características, média (\bar{x}), desvio padrão (S), coeficiente de variação (CV) e amplitude dos valores. Para pH, condutividade elétrica, PST, RAS, e cátions e ânions solúveis, foi calculado o número (N) de amostras necessárias para estimar a média paramétrica (\bar{x}) dentro de determinada percentagem de variação (f) em torno da média a um nível de significância (t) de 95%, usando-se a seguinte expressão $N = (CV \cdot t / f)^2$. Distribuições de frequência dos valores de densidade do solo, condutividade elétrica e percentagem de sódio trocável foram obtidas através de métodos utilizados por McIntyre & Tanner, 1959; Wagnet & Jurinak, 1978 e Rao et alii (1979).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nota-se através dos resultados apre-

sentados no Quadro 2, que existe maior variabilidade da densidade do solo na camada superficial (CV = 5,5%) do que nas duas mais profundas (CV 2,0 e 2,2%), em decorrência da maior movimentação do solo na camada de 0-20cm nas operações de sistematização, preparo e cultivo. Nessa camada ocorrem também os menores valores absolutos e médio de densidade do solo. A variabilidade da estabilidade de agregados apresenta maior dependência das variações do solo decorrentes da movimentação de terra e do desenvolvimento das culturas refletida por valores mais elevados do desvio padrão e coeficiente de variação dessa característica. O exame dos Quadros 3, 4 e 5 possibilita constatar diferenças marcantes na variabilidade das dez características químicas estudadas. O pH apresentou a maior homogeneidade. Tomando-se o coeficiente de variação como medida da variabilidade verifica-se que a percentagem de sódio trocável, a condutividade elétrica e a relação de adsorção de sódio seguem o pH em ordem crescente de variabilidade (CV entre 30 e 39%). Cátions e anions solúveis apresentaram maior dispersão de valores e, com exceção do potássio, coeficientes de variação situados entre 40 e 53%. Nota-se também uma tendência no aumento da variabilidade dessas características em profundidade indicada pelos respectivos coeficientes de variação que, à exceção dos relativos à percentagem de sódio trocável, bicarbonato e cloreto, são mais elevados nas camadas mais profundas.

O número de amostras necessárias para a estimativa da média das características químicas, dentro de percentagem de variação de 1, 2, 5, 10 e 20%, a um nível de significância de 95%, consta dos Quadros 3, 4 e 5, relativos às três profundidades. Constatou-se que o número de amostras necessárias para uma estimativa com variação de 10% em torno da média corresponde a menos de 55% do número utilizado, para todas as características nas três profundidades, com exceção do sódio, cloreto e cálcio solúveis na pro-

QUADRO 02

Características físicas da área CS-2 da Fazenda Experimental do Vale do Curú. Média, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação (CV) e número de amostras necessárias para estimativa de 1, 2, 5, e 10% em torno da média, com probabilidade de 5%.

CARACTERÍSTICAS	PROF.	MÉDIA	AMPLITUDE máx - min	DESVIO PADRÃO	CV %	N.º DE AMOSTRAS			
						1%	2%	5%	10%
DENSIDADE DO SOLO (g/cm ³)	0 - 20	1,493	1,61	1,33	5,5	123	31		1
	30 - 40	1,587	1,67	1,50	2,0	16	4		<1
	50 - 60	1,575	1,64	1,52	2,2	20	5		<1
AGREGADOS ESTÁVEIS EM ÁGUA (2,0 - 0,25 mm) (%)	0 - 20	42,23	57,7	17,1	24,8	2510	627	100	25

fundidade de 60-90 cm cujos números de amostras corresponderam a 62%, 64% e 86% do utilizado. As curvas da Figura 1 ilustram as diferenças de variabilidade entre características — pH e PST — e entre profundidades de amostragem para a mesma característica (PST a 0-30 cm e 30-60 cm). O aumento no número de amostras para reduzir a percentagem de variação de 10% para 5% é muito maior (36 para 140) na estimativa da PST a 0-30 cm que na do pH (3 para 6) e da PST a 30-60 cm. Deve-se notar ainda o caráter assintótico das curvas e o ponto, particular a cada uma, a partir do qual um grande acréscimo no número de amostras corresponderá a um reduzido aumento na precisão da estimativa da média. A Figura 2 ilustra melhor o efeito do número de amostras na precisão da estimativa da média da condutividade elétrica na área em estudo. Duas amostras forneceriam uma estimativa da média numa amplitude de 0,105 a 8,640 mmhos/cm. Um aumento de dez vezes no número de amostras reduziria a amplitude para limites entre 2,56 e 3,47 mmhos/cm e um de 100 vezes levaria a uma amplitude de 2,88 a 3,15 mmhos, correspondendo a uma variação de 4,45% em torno da média.

A distribuição de freqüência dos valores de densidade do solo, nas três profundidades, e de estabilidade de agregados aproxima-se da distribuição normal, com valores da relação moda/média ($R = [1 + (CV)^2]^{-3/2}$, RAO et alii, 1979) variando entre 0,995 e 0,999 para densidade do solo e de 0,914 para estabilidade de agregados. Para os valores de condutividade elétrica e percentagem de sódio trocável, nas três profundidades, as distribuições de freqüência apresentam maiores desvios da distribuição normal com valores de R variando de 0,810 e 0,864 e entre 0,817 e 0,877, respectivamente. Os desvios da distribuição normal são diminutos para os valores de densidade do solo enquanto que para os de condutividade elétrica e percentagem de sódio trocável levariam a erros variando

QUADRO 03

Características da área CS-2 da Fazenda Experimental do Vale do Curú, a 30 cm de profundidade. Média, desvio padrão, coeficiente de variação (CV) e número de amostras necessárias para estimativa de 1, 2, 5, 10 e 20% em torno da média, com probabilidade 95%.

	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	CV %	N.º DE AMOSTRAS				
				1%	2%	5%	10%	20%
pH	6,49	0,31	4,8	93	25	7	4	3
C. E. (mmhos/cm)	3,02	0,96	31,9	3.910	978	159	42	13
PST	15,25	4,57	30,0	3.456	864	141	37	12
RAS	10,57	3,48	32,9	4.174	1.044	170	45	13
Ca ⁺⁺ (mE/l)	5,11	1,97	38,7	5.745	1.437	233	60	17
Mg ⁺⁺ (mE/l)	4,66	1,59	34,3	4.514	1.129	183	48	14
K ⁺ (mE/l)	0,12	0,03	28,8	3.198	800	131	35	11
Na (mE/l)	23,08	9,13	39,6	6.017	1.505	244	63	18
HCO ₃ ⁻ (mE/l)	0,38	0,16	42,2	6.851	1.713	277	71	20
CL ⁻ (mE/l)	29,18	11,12	38,1	5.584	1.396	226	59	17

de 13 a 19%, no caso de ser usada a média ao invés da moda. (RAO et alii, 1979). Para populações com $CV \leq 40\%$ as distribuições normal ou logarítmica são igualmente adequadas e quando a amplitude dos valores medidos é pequena mesmo que a distribuição de frequência não seja normal aproxima-se suficientemente da normalidade para permitir o uso de métodos estatísticos paramétricos (Rao et alii, 1979; McIntyre & Tanner, 1959).

4. CONCLUSÃO

Diferentes graus de variabilidade espacial foram verificados nos parâmetros considerados. As características físicas apresentaram menor variabilidade que as características químicas, com exceção do pH. O número de amostras utilizadas (128) foi duas vezes maior que o necessário para a estimativa da média com variação de 10%, a um nível de significância de 95%, para a quase totalidade das características químicas, nas três profundidades.

A caracterização da variabilidade dessas propriedades permitirá testar a adequação de outros tipos de amostragem — amostragem composta por exemplo — e estendê-los a áreas maiores.

5. SUMMARY

An area of 0,84ha of alluvial soil (saline-sodic; Vertic torrifluvents) homogeneous in respect to classification, comprising 128 plots of 6m x 10m located in Pentecoste, Ceará, Brazil, was sampled to determine: (a) soil bulk density (120 undisturbed cores at 0-20, 30-40 and 50-60cm depth in 40 plots randomly selected); (b) aggregate stability (40 soil clods in the above referred plots); (c) pH, electrical conductivity, exchangeable cations, cation-exchange capacity, ex-

QUADRO 04

Características da área CS-2 da Fazenda Experimental do Vale do Curú, a 60 cm de profundidade. Média, desvio padrão, coeficiente de variação e número de amostras necessárias para estimativa de 1, 2, 5, 10 e 20% em torno da média, com probabilidade 95%.

	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	CV %	N.º DE AMOSTRAS				
				1%	2%	5%	10%	20%
pH	6,55	0,36	5,6	122	33			
C. E. (mmhos/cm)	3,69	1,43	38,8	5.780	1.445			
PST	19,70	7,47	37,9	5.530	1.383			
RAS	14,16	4,89	34,6	4.595	1.149			
Ca ⁺⁺ (mE/l)	4,72	1,95	41,3	6.564	1.641			
Mg ⁺⁺ (mE/l)	4,55	1,58	34,7	4.634	1.159			
K ⁺ (mE/l)	0,11	0,02	25,8	2.565	642			
Na ⁺⁺ (mE/l)	30,48	12,53	41,1	6.490	1.623			
HCO ₃ ⁻ (mE/l)	0,26	0,08	40,8	3.130	783			
Cl ⁻ (mE/l)	35,84	14,63	40,8	6.402	1.601			

changeable sodium percentage, soluble cations and anions, sodium adsorption ratio (384 samples at 0-30, 30-60 and 69-90cm depth in the center of each plot). Statistical analysis was performed through computation of mean, standard deviation and coefficient of variation, calculation of the number of samples necessary to estimate parametric mean within a precision limit at a specified probability level and determination of frequency distribution.

Physical properties showed less variability (CV = 5,5; 2,0 and 2,2, for the bulk density at the three depths) than chemical properties excepted pH with most coefficients of variations between 30 and 40%. The variability of the chemical characteristics increase with depth, and to estimate means within 10%, for the three depths, only half of the total of samples collected (128) would be needed.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BLAKE, G. R. Bulk density. In: BLACK, C. A. ed. *Methods of soil analysis*. Madison. Am Soc. Agron. 1965. N.º 9 Part 1 p. 374-90.
- BIGGAR, J. W. & NIELSEN, D. R. Spatial variability of the leaching characteristics of a field soil. *Water Resour. Res.*, 13: 78-84, 1976.
- CASSEL, D. K. & BAUER, A. Spatial variability in soils below depth of tillage: Bulk density and fifteen atmosphere percentage. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 39: 247-50. 1975.
- COELHO, M. A. *Características de umidade de alguns solos de aluvião: normais, sódicos e sódico-salinos*. Rio de Janeiro, U.F.R.R.J., 1971. 113 p. (tese de M. S.).
- , *Spatial variability of water related soil physical properties*. Tucson, University of Arizona. 1974. (Ph. D. Dissertation).
- DE PAULA, J. L. *Estabilidade de agregados em solos salinos e sódicos do Estado do Ceará*. Fortaleza, UFC 1981. 66 p. (Dissertação de Mestrado).
- GOMES, P.C.F. & MILLAR, A. A. Problemática da caracterização de solos aluviais para fins de drenagem subterrânea, *R. bras. Ci. Solo*, 2: 84-89, 1978.
- McINTYRE, D. S. & TANNER, C. B. Anormally distributed soil physical measurements and nonparametric statistics. *Soil Sci.*, 88: 133-37, 1959.
- NIELSEN, D. R. et alii. Spatial variability of field-measured soilwater properties. *Hilgardia*, 42: 215-60, 1973.

QUADRO 05

Características da área CS-2 da Fazenda Experimental do Vale do Curú, a 90 cm de profundidade. Média, desvio padrão, coeficiente de variação (CV) e número de amostras necessárias para estimativa de 1, 2, 5, 10 e 20% em torno da média, com probabilidade 95%.

	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	CV %	N.º DE AMOSTRAS				
				1%	2%	5%	10%	20%
pH	6,98	0,40	5,7	129				
C. E. (mmhos/cm)	3,08	1,15	37,4	5.369				
PST	22,54	6,47	28,8	3.192				
RAS	13,67	5,28	38,6	5.733				
Ca ⁺⁺ (mE/1)	3,35	1,77	52,9	10.752				
Mg ⁺⁺ (mE/1)	3,83	1,53	39,8	6.099				
K ⁺ (mE/1)	0,10	0,02	26,7	2.738				
Na ⁺ (mE/1)	26,51	11,86	44,7	7.695				
HCO ₃ ⁻ (mE/1)	0,29	0,09	32,8	4.126				
Cl ⁻ (mE/1)	29,65	13,46	45,4	7.925				

OLIVEIRA, J. B. & MENK, J. R. F. Variabilidade de características químicas e físicas em duas áreas homogêneas de Oxissolo. In: *CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO*. 14, Santa Maria, 1974. Anais... Santa Maria, S.B.C.S., 1974.

RAO, P. V., et alii. Use of goodness-of-fit tests for characterizing the spatial variability of soil properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 43:274-78, 1979.

REICHARDT, K. et alii. Spatial variability of physical properties of a tropical soil. I. Geometric properties. Piracicaba. CENA, 1976. (Bol. Tec., 4).

RICHARDS, L. A. ed. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soil*. U.S.D.A. Washington, D. C. 1954. (Agricultura Handbook, 60).

SAYEGH, A. H. A sampling study in a saline and alkali area. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 22: 25-54, 1958.

WAGNET, R. J. & JURINAK, J. J. Spatial variability of soluble salt content in a Mancos Shale Watershed. *Soil Sci.* 126: 342-49, 1978.

WARRICK, A. W et alii. Predictions of the soil-water flux based upon field-measured soil water properties. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 41: 14-19, 1977.

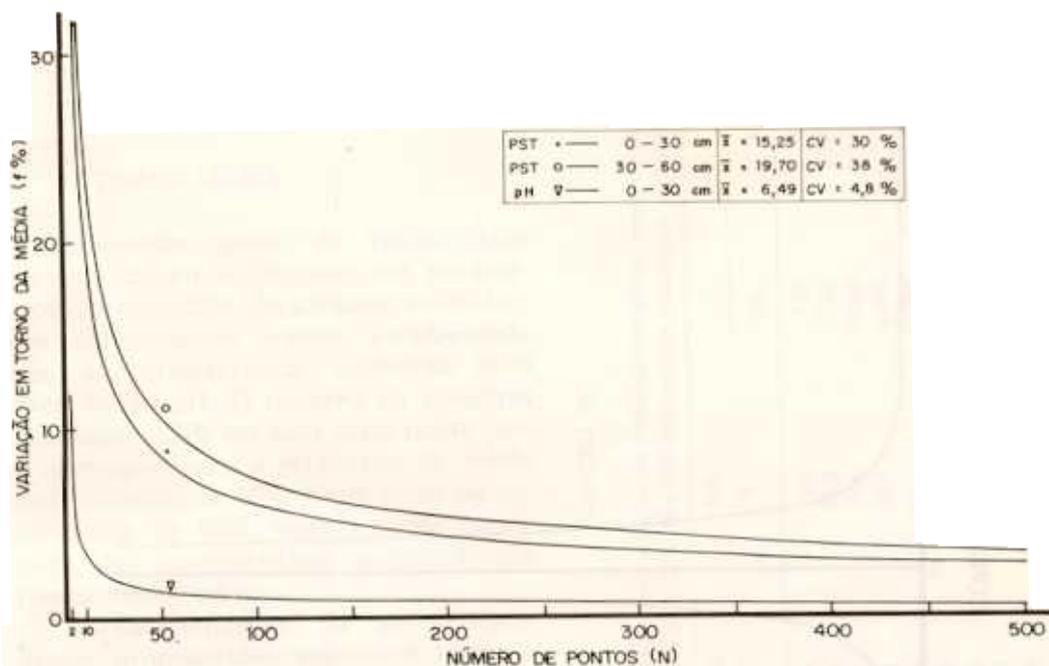


Figura 1 — Número de pontos necessários para estimar a média da percentagem de sódio trocável (PST) e do pH dentro de determinada percentagem de variação em torno da média, ao nível de significância de 95%.

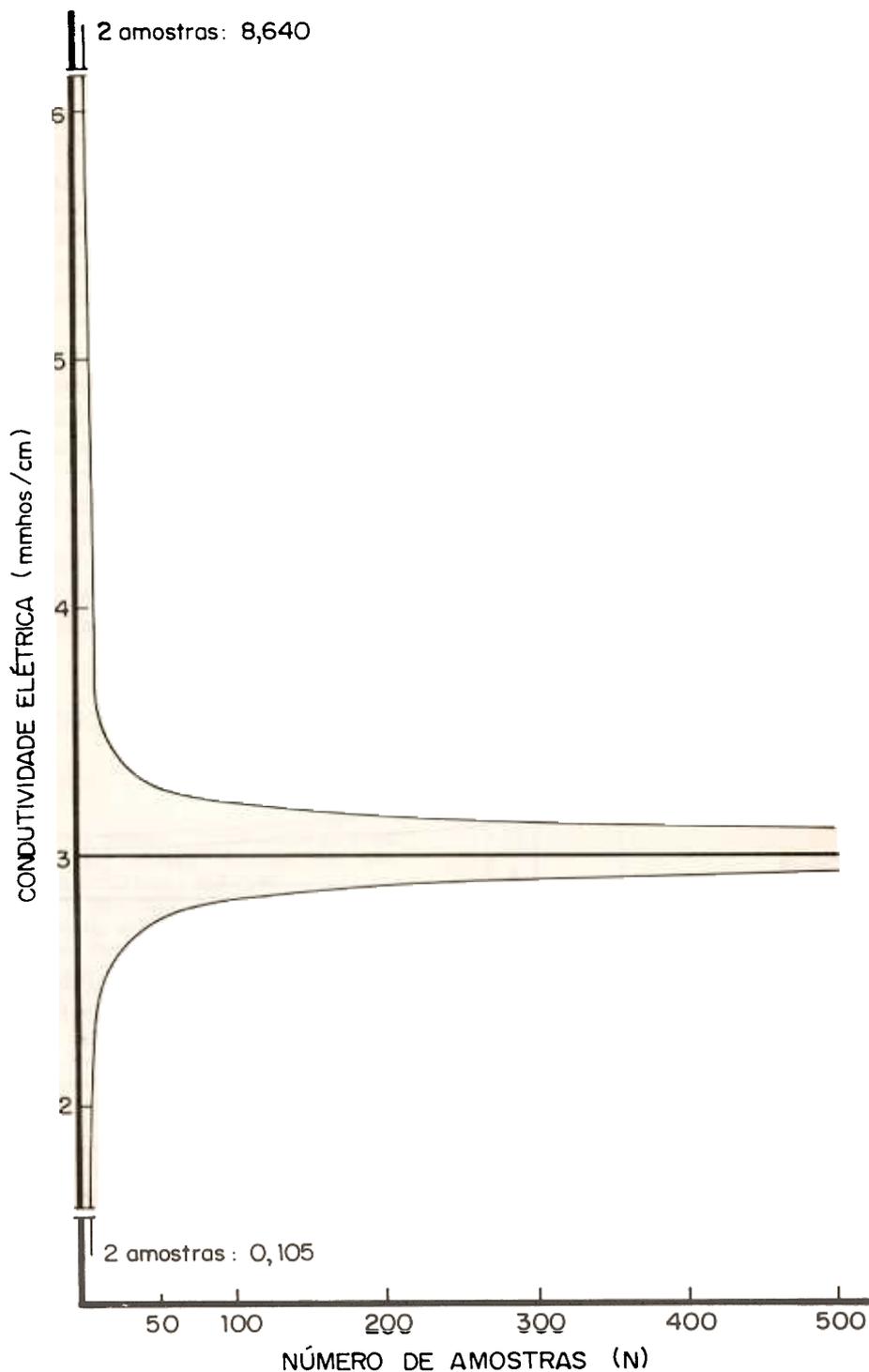


Figura 2 – Valores médios de condutividade elétrica (CE), com 95% de probabilidade de ocorrência, em função do número de amostras coletadas, na profundidade de 0-30 cm.