

BRAGANTIA

Boletim Técnico do Instituto Agrônômico do Estado de São Paulo

Vol. 18

Outubro de 1959

N.º 10

O ESPAÇAMENTO DOS TERRAÇOS EM CULTURAS ANUAIS, DETERMINADO EM FUNÇÃO DAS PERDAS POR EROSÃO (*)

Dr. JOSÉ BERTONI

Engenheiro-agrônomo, Seção de Conservação do Solo, Instituto Agrônômico

RESUMO

Neste trabalho é apresentada uma tabela para espaçamento de terraços, baseada nos dados experimentais de perdas por erosão obtidos em nossos solos.

Utilizando os dados das determinações de perdas por erosão obtidos nos principais tipos de solo do Estado, numa média de 10 anos de observações, em talhões de diferentes comprimentos de rampa e diferentes graus de declive, com culturas anuais, determinouse uma equação que permite calcular as perdas médias de terra para os diferentes graus de declive e comprimentos de rampa.

Considerando não só as perdas de terra e água como também o teor de terra na enxurrada, foi determinada a posição média relativa para êsses três fatores, considerados conjuntamente. Os dados assim conseguidos foram estudados com relação ao grau de declive e ao comprimento de rampa, e a equação resultante foi denominada de "índice de erosão".

Como o terraceamento se baseia, essencialmente, no efeito do grau de declive e do comprimento de rampa, com a equação do "índice de erosão" foi organizada uma tabela para espaçamentos de terraços.

1 — INTRODUÇÃO

O terraceamento é uma das práticas mais eficientes para controlar a erosão nas terras cultivadas. Pesquisas em outros países têm demonstrado que os terraços são necessários em muitas áreas agrícolas porque o plantio em contórno, as culturas em faixas, a rotação de culturas e outras práticas simples, nem sempre oferecem eficaz proteção contra a erosão.

(*) Tese apresentada, em outubro de 1957, à Escola Superior de Agricultura "Luís de Queiroz", Universidade de São Paulo, para a obtenção do título de DOUTOR EM AGRONOMIA.

Recebido para publicação em 5 de agosto de 1958.

O terraceamento é bastante difundido entre nós e sua aplicação em grande escala iniciou-se, no Estado de São Paulo, há já alguns lustros. Conta o Departamento de Engenharia e Mecânica da Agricultura (DEMA), órgão de fomento a que está afeta a assistência aos lavradores, com grande volume de trabalhos realizados, tendo já construído, em fazendas distribuídas por todo o Estado, centenas de quilômetros em terraços com a finalidade de defender as nossas terras dos efeitos da erosão.

Entre nós, o espaçamento entre terraços tem sido determinado com o auxílio de fórmulas e tabelas, em sua maioria adaptadas das fórmulas e tabelas usadas nos Estados Unidos da América do Norte.

O objetivo dêste trabalho foi determinar fórmulas e tabelas que se baseassem diretamente em dados de perdas por erosão obtidos nas nossas condições, pela Seção de Conservação do Solo do Instituto Agrônômico do Estado de São Paulo.

As tabelas aqui apresentadas ainda não são definitivas, pois foram baseadas unicamente nos totais de perdas para períodos anuais. Oportunamente, quando puderem ser utilizados dados sobre a intensidade das enxurradas, algumas modificações, provavelmente, deverão ser introduzidas.

As equações apresentadas não representam valores absolutos das condições específicas, mas, sim, valores médios dos dados disponíveis.

O estudo apresenta, também, em termos gerais, uma avaliação dos efeitos do grau de declive e do comprimento de rampa nas perdas por erosão com determinação das respectivas equações de correlação.

2 — REVISÃO DA LITERATURA

Os primeiros estudos sobre espaçamento de terraços foram efetuados por Ramser (16) e serviram de base para trabalhos posteriores, feitos por Nichols (13), principalmente com referência à seção dos terraços.

O trabalho clássico, publicado por Hamilton (8), tem servido de base para trabalhos do Soil Conservation Service, dos Estados Unidos.

Num levantamento dos dados obtidos nas diversas estações experimentais americanas, Ramser (15) faz um estudo do desenvolvimento do espaçamento de terraços.

As fórmulas de espaçamento apresentadas por Hamilton (8) e Bennet (3) estão sendo usadas pelo serviço americano de conservação do solo, com algumas modificações nos valores das constantes (7).

Um estudo do efeito do grau de declive e do comprimento de rampa nas perdas por erosão (19) e sua aplicação no terraçamento, foi feito por Zingg (18).

O grau de declive e o comprimento de rampa são dois dos mais importantes fatores que determinam a quantidade de enxurrada nos solos (2). Muitos dados experimentais indicam, todavia, que o grau de declive tem pouco efeito na porcentagem de enxurrada (2). Musgrave (12), estudando o efeito do comprimento de rampa na erosão, concluiu que as perdas de terra e água são mais afetadas pela intensidade da chuva; a maioria dos dados, entretanto, tem evidenciado o grande efeito do comprimento de rampa, nas perdas por erosão (7, 11, 17, 18).

Grandes lançantes estão mais sujeitos à formação de grotas, devido às apreciáveis concentrações de enxurrada nas partes mais baixas (17), sendo o terraçamento, pelo parcelamento dos grandes lançantes, o meio mais prático de impedir a formação de grandes volumes de enxurradas.

O poder erosivo da enxurrada incontrolada é enorme, sendo também importante considerar que a redução da enxurrada significa retenção de mais umidade para as culturas.

Entre nós, várias são as fórmulas e tabelas de terraços apresentadas (1, 5, 6, 9).

Bittencourt (5) apresentou uma tabela para cordões em contôrno, em cafèzal, na qual os maiores espaçamentos são dados para as terras argilosas, vindo, a seguir, a terra roxa, depois a salmourão e, finalmente, com os menores espaçamentos, as terras arenosas.

Marques (9), determinando fórmulas dos espaçamentos mais em voga em outros países, fez uma adaptação de tais fórmulas e tabelas para as nossas condições. Fundamentado nos dados de perdas por erosão em diferentes tipos de solo, obtidos na Seção de Conservação do Solo do Instituto Agronômico de Campinas, estabeleceu que os maiores espaçamentos devem ser dados para as terras roxas, vindo, em seguida, a massapé e, finalmente, as terras arenosas, com os menores espaçamentos.

Mais recentemente, a Divisão de Conservação do Solo do Departamento de Engenharia e Mecânica da Agricultura (DEMA), com base na adaptação de uma fórmula americana, organizou uma tabela para espaçamento de terraços (5), dando os maiores espaçamentos para as terras argilosas, vindo, a seguir, a roxa e, por último, as arenosas.

3 — MATERIAL E MÉTODOS

As determinações das quantidades de terra e água arrastadas pela erosão vêm sendo feitas pela Seção de Conservação do Solo do Instituto Agrônômico, com o auxílio de talhões experimentais munidos de coletores especiais.

A técnica adotada e as características dos sistemas coletores usados foram já descritos detalhadamente por Bertoni (4) e Marques (10).

Os dados utilizados na realização deste trabalho são dos talhões experimentais instalados nas Estações Experimentais de Campinas, Ribeirão Preto, Pindorama e Mococa.

Da Estação Experimental de Campinas foram usados os dados de um talhão de 4m de largura e 25 m de comprimento e os dados de três talhões de comprimento de rampa com 8m de largura e 25, 50 e 75m de comprimento, todos com algodão cultivado continuamente, e que estão funcionando desde 1944-45. O solo desses talhões é do tipo terra-roxa-misturada, cujo material original é diabase e arenito glacial.

Da Estação Experimental de Ribeirão Preto foram utilizados os dados de dois talhões de 4m de largura e 25m de comprimento, com milho cultivado continuamente, e que estão funcionando desde 1947-48. Seu solo é do tipo terra-roxa-legítima, cujo material original é diabase.

Da Estação Experimental de Mococa foram utilizados os dados de dois talhões de 4m de largura e 25m de comprimento, um com milho cultivado continuamente e o outro com algodão, também cultivado continuamente e que estão funcionando desde 1945-46, em solo do tipo massapé, da formação arqueana.

Da Estação Experimental de Pindorama foram usados os dados de dois talhões de 4m de largura e 25m de comprimento, sendo um com milho cultivado continuamente e o outro com algodão, também cultivado continuamente, ambos funcionando desde 1943-44. Foram, ainda, empregados os dados de três talhões de comprimento de rampa com 10m de largura e 25, 50 e 100m de comprimento, todos com algodão cultivado continuamente, e funcionando desde 1945-46. O solo desses talhões é do tipo arenoso, da formação Bauru Superior.

4 — ALGUNS FATÔRES QUE AFETAM AS PERDAS POR EROSÃO

Vários são os fatores que afetam as perdas por erosão, tais como o tipo de solo, o relevo do terreno, a chuva e o tipo de cobertura vegetal.

A topografia do terreno tem uma influência acentuada nas perdas por erosão, especialmente em função do grau de declive e do comprimento de rampa.

4.1 — GRAU DE DECLIVE

O grau de declive do terreno influencia diretamente a quantidade de perdas por erosão, pois dêle dependem o volume e a velocidade das enxurradas. Quanto maior o declive, maior a velocidade de escoamento e, por conseguinte, menor o tempo para a infiltração da água no solo, disso resultando um maior volume de enxurrada.

Os dados da Seção de Conservação do Solo, obtidos em talhões de determinação de perdas por erosão, sob culturas anuais contínuas, e instalados nas Estações Experimentais de Campinas, Pindorama, Ribeirão Preto e Mococa (II), foram reduzidos a uma mesma base anual de 1 300 mm de chuva, e são reproduzidos no quadro 1. Êsses dados representam, em geral, médias de 10 anos, sendo utilizados sômente aquêles correspondentes a talhões com culturas contínuas para, assim, eliminar-se o efeito de diferentes práticas culturais num mesmo talhão. Como todos êsses talhões têm 25 metros de comprimento, incluíram-se, também, dois outros de comprimento de rampa de 25 metros, de maneira a se obterem os dados de mais dois graus de declive.

QUADRO 1. — Perdas por erosão em talhões com culturas anuais contínuas, nas Estações Experimentais de Campinas, Pindorama, Ribeirão Preto e Mococa, na base anual de 1 300 mm de chuva (II)

Estação Experimental	Declive	Cultura	PERDAS DE TERRA		PERDAS DE ÁGUA	
			Por ha	Quilos/unidade de largura/unidade de comprimento	Altura	Litros/unidade de largura/unidade de comprimento
	%		<i>t</i>		<i>mm</i>	
Pindorama	12,0	Milho	24,03		103	
		Algodão	27,37		128	
		Média	25,70	2,57	115	115
Campinas	9,0	Algodão	22,40	2,24	78	78
Mococa	9,4	Milho	15,60		212	
		Algodão	31,00		122	
		Média	23,30	2,33	167	167
Ribeirão Preto	8,5	Milho	22,10		129	
		Milho	12,60		93	
		Média	17,30	1,73	111	111
Pindorama	7,5	Algodão	14,60	1,46	182	182
Campinas	6,5	Algodão	13,60	1,36	74	74

O efeito do grau de declive nas perdas de terra pode ser representado por uma equação do tipo

$$X = C S^m$$

em que X é a quantidade de terra arrastada, S o grau de declive do terreno e C e m , constantes (19).

Correlacionando os dados apresentados no quadro 1, encontramos a equação

$$T = 0,145 D^{1,18}$$

em que T é a perda de terra em quilos/unidade de largura/unidade de comprimento, D é o grau de declive do terreno, em porcentagem, 0,145 é a constante de variação e 1,18, o expoente.

Os valores encontrados com essa equação não podem ser considerados como absolutos; são apenas uma indicação média da influência do grau de declive nas perdas de terra, tomando-se como base os dados disponíveis.

Tal resultado mostra que, quando duplicamos o grau de declive do terreno, as perdas de terra são aumentadas de 2,26 vezes.

No quadro 2 são apresentados os dados estatísticos da correlação entre o grau de declive e as perdas de terra.

QUADRO 2. — Correlação entre o grau de declive e as perdas de terra

Coeficiente de correlação r	Significância P	Estimativa dos parâmetros	
		a	b
0,966	< 0,01	0,145	1,18

O erro padrão da estimativa do parâmetro b é 0,18.

A figura 1 apresenta, em forma gráfica, a variação das perdas de terra nos diferentes graus de declive, segundo a equação de regressão encontrada.

A correlação dos dados de perdas de água em função do grau de declive do terreno mostrou-se não significativa.

4.2 — COMPRIMENTO DE RAMPA

O comprimento de rampa, que é uma das características da topografia, tem grande influência nas perdas por erosão. Apesar de as perdas de água diminuírem com o comprimento de rampa (11, 18), pelo fato de a enxurrada ter que percorrer um caminho mais longo e, portanto, com

maior oportunidade de se infiltrar no solo, a velocidade que adquire aumenta em razão do movimento uniformemente acelerado. A velocidade aumenta a capacidade de transporte de partículas do solo, o que resulta em maior quantidade de terra perdida por erosão.

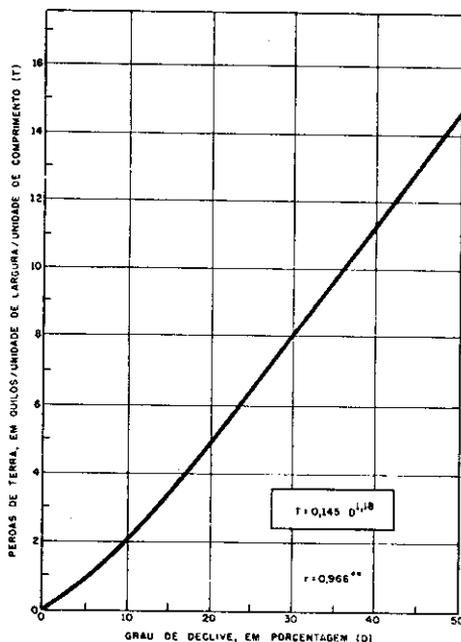


FIGURA 1. -- Efeito do grau de declive, nas perdas de terra por erosão.

A principal função do terraço é a diminuição do comprimento de rampa (7). Foi visando especialmente à determinação do melhor espaçamento entre terraços e a outras práticas de parcelamento dos lançantes, que a Seção de Conservação do Solo instalou dois grupos de talhões com diferentes comprimentos de rampa, um em Campinas e outro em Pindorama (10)

Os dados dos talhões de determinação de perdas por erosão nos diferentes comprimentos de rampa, instalados nas Estações Experimentais de Campinas e Pindorama (11), foram calculados numa mesma base de 1 300 mm de chuva anual e são reproduzidos no quadro 3. São também apresentadas, para cada talhão, as perdas de terra em quilos por unidade de largura.

O efeito do comprimento de rampa nas perdas de terra pode ser representado por uma equação do tipo

$$X = C L^n$$

em que X é a perda de terra, L o comprimento de rampa e C e n , constantes (19).

QUADRO 3. — Perdas por erosão, nos talhões de diferentes comprimentos de rampa, nas Estações Experimentais de Campinas e Pindorama, na base anual de 1 300 mm de chuva (11)

Estação Experimental	Comprimento de rampa	PERDAS DE TERRA		PERDAS DE ÁGUA	
		Por ha	Quilos/unidade de largura	Altura	Litros/unidade de largura
	m	t		mm	
Campinas	25	13,6	34,0	74	1 850
	50	11,7	58,5	57	2 850
	75	11,4	85,7	57	4 275
Pindorama	25	14,6	36,5	182	4 550
	50	29,2	146,0	157	7 850
	100	60,2	602,0	136	13 600

Correlacionando os dados do quadro 3, obtivemos a equação

$$T = 0,166 C^{1,63}$$

em que T é a perda de terra em quilos por unidade de largura, C é o comprimento de rampa do terreno, em metros, 0,166 é a constante de variação e 1,63, o expoente.

Os valores determinados com essa equação indicam a média do efeito do comprimento de rampa nas perdas de terra, baseando-se nos dados disponíveis, e não devem, também, ser considerados absolutos.

Tais valores indicam que, quando duplicamos o comprimento de rampa, as perdas de terra são aumentadas de 3,09 vezes.

A figura 2 apresenta, em forma gráfica, a variação das perdas de terra nos diferentes comprimentos de rampa, segundo a equação de regressão obtida.

No quadro 4 são apresentados os dados estatísticos da correlação entre o comprimento de rampa e as perdas de terra

QUADRO 4. — Correlação entre o comprimento de rampa e as perdas de terra

Coeficiente de correlação r	Significância P	Estimativa dos parâmetros	
		a	b
0,838	<0,05	0,166	1,63

O erro padrão da estimativa do parâmetro b é 0,49.

A correlação dos dados de perdas de água em função do comprimento de rampa mostrou-se não significativa.

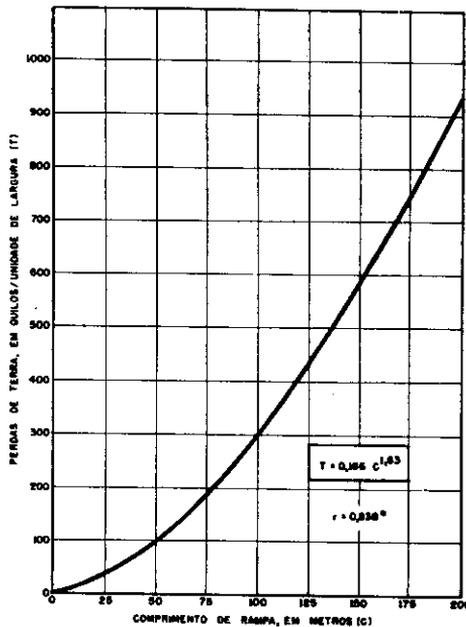


FIGURA 2. — Efeito do comprimento de rampa, nas perdas de terra por erosão.

4.3 — COMBINAÇÃO DO GRAU DE DECLIVE E DO COMPRIMENTO DE RAMPA

Sendo o efeito do grau de declive nas perdas de terra representado por uma equação do tipo

$$T = a D^m$$

e o efeito do comprimento de rampa representado por outra equação do tipo

$$T = a C^n$$

pode-se considerar, para fins práticos, que o efeito combinado do grau de declive e do comprimento de rampa, nas perdas de terra, seja representado, como propõe Zingg (19), por uma equação do tipo

$$T = a D^m C^n$$

Na base dos dados disponíveis, a equação que representa o efeito combinado do grau de declive e do comprimento de rampa foi assim determinada:

$$T = k D^{1,18} C^{1,63}$$

$$\log T = \log k + 1,18 \log D + 1,63 \log C$$

$$\log k = \log T - 1,18 \log D - 1,63 \log C$$

a) Cálculo de k_1 pelos dados do declive (Quadro 1):

Média dos declives = 8,9%

$$\log D = \log 8,9 = 0,949$$

O comprimento de rampa dos talhões cujos dados aparecem no quadro 1 é de 25 metros. Assim,

$$\log C = \log 25 = 1,398$$

Média das perdas de terra (Quadro 1) = 1,95 k/unidade de largura/unidade de comprimento.

Como essas perdas são para a unidade de comprimento, para o comprimento de rampa de 25 metros serão

$$1,95 \times 25 = 48,75$$

$$\log T = \log 48,75 = 1,688$$

$$\log k_1 = 1,688 - 1,18 \times 0,949 - 1,63 \times 1,398 = -1,711 = \overline{2,289}$$

$$k_1 = 0,019$$

b) Cálculo de k_2 pelos dados do comprimento de rampa (quadro 3):

Declives: 3 talhões de 7,5% e 3 talhões de 6,5%

$$\log 7,5 = 0,875$$

$$\log 6,5 = 0,813$$

$$\text{Média} = 0,844 = \log D$$

Comprimento de rampa: 2 talhões de 25m, 2 talhões de 50m, 1 de 75m e 1 de 100m de comprimento

$$2 \times \log 25 = 2,796$$

$$2 \times \log 50 = 3,398$$

$$\log 75 = 1,875$$

$$\log 100 = 2,000$$

$$\text{Média} = 1,678 = \log C$$

Perdas de terra =

$$\log 34,0 = 1,531$$

$$\log 58,5 = 1,767$$

$$\log 85,7 = 1,933$$

$$\log 36,5 = 1,562$$

$$\log 146,0 = 2,164$$

$$\log 602,0 = 2,780$$

$$\text{Média} = 1,956 = \log T$$

$$\log k_2 = 1,956 - 1,18 \times 0,844 - 1,63 \times 1,678 = -1,775 = \bar{2},225$$

$$k_2 = 0,017$$

e) Cálculo de k:

$$k = \frac{k_1 + k_2}{2} = \frac{0,019 + 0,017}{2} = 0,018$$

Assim calculado o valor da constante k, a equação será

$$T = 0,018 D^{1,18} C^{1,63}$$

onde **T** é a perda de terra em quilos por unidade de largura, **D** é o grau de declive em porcentagem, e **C** o comprimento de rampa em metros.

Aqui, também, cumpre ressaltar que, sendo baseado em um número limitado de dados, tal equação é apenas uma tentativa de aproximação.

A figura 3 apresenta, em forma gráfica, a variação das perdas de terra em quilos por unidade de largura, pela combinação dos efeitos do grau de declive e do comprimento de rampa.

Uma vez que as perdas de água em função do declive e do comprimento de rampa não foram significantes, o seu efeito combinado não foi considerado.

5 — ÍNDICE DE EROÇÃO EM FUNÇÃO DOS FATÔRES QUE AFETAM O TERRACEAMENTO EM CULTURAS ANUAIS

5.1 — TIPO DE SOLO

A natureza do solo exerce sensível influência sobre as perdas por erosão, afetando, conseqüentemente, o espaçamento dos terraços.

Os dados obtidos pela Seção de Conservação do Solo, nos talhões de determinações de perdas por erosão localizados em diferentes tipos de solo (II), foram calculados numa mesma base de 1 300 mm de chuva anual, e são reproduzidos no quadro 5.

Observa-se, dos dados do quadro 5, que os tipos de solo apresentam diferentes comportamentos conforme se trate de perdas de terra ou de água. Com relação à porcentagem de terra contida na enxurrada, verifica-se que os solos arenoso e terra-roxa comportam-se praticamente da

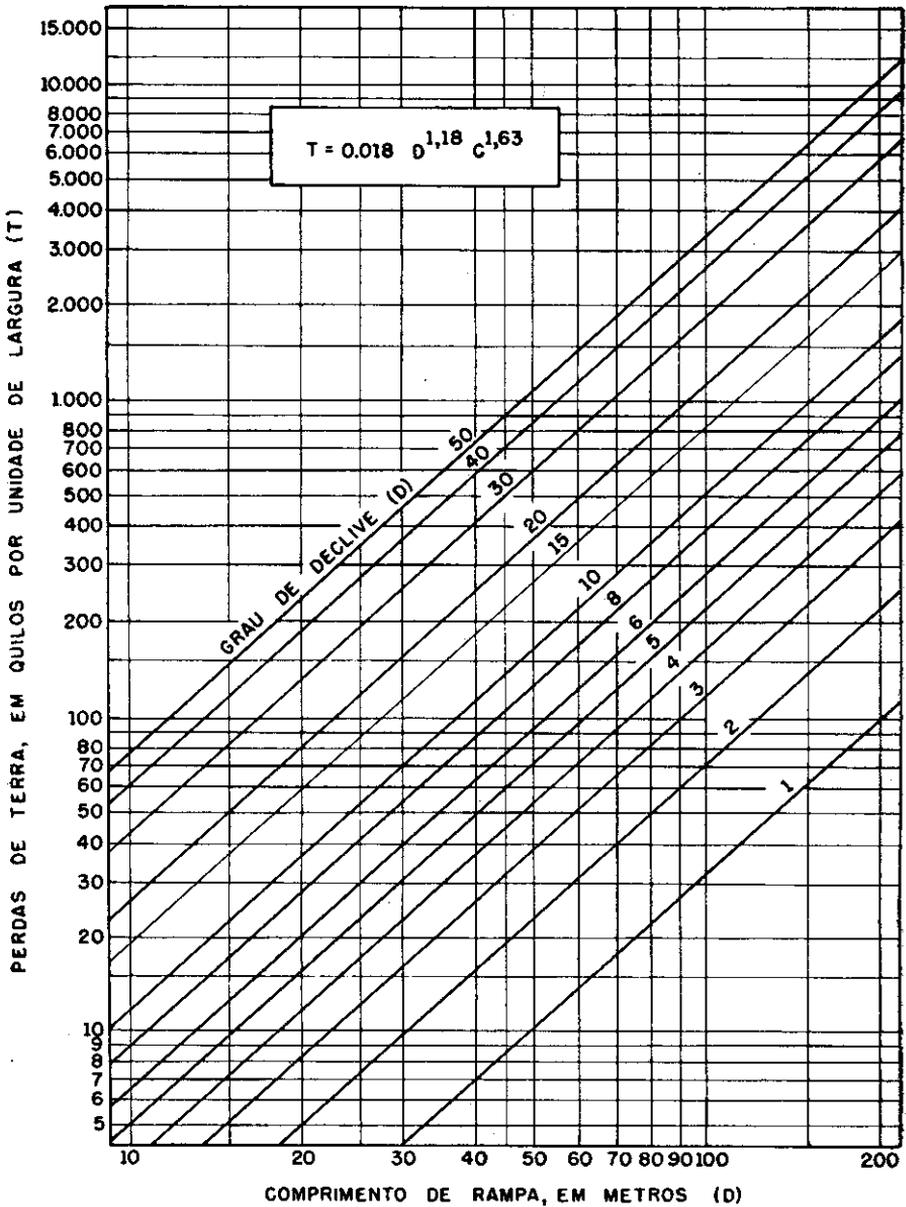


FIGURA 3. — Efeito combinado do grau de declive e do comprimento de rampa, nas perdas de terra por erosão.

QUADRO 5. — Perdas por erosão nos principais tipos de solo do Estado de São Paulo, na base anual de 1 300 mm de chuva (11)

TIPO DE SOLO	Perdas de		Quantidade de terra por volume de enxurrada
	Terra	Água sobre a chuva	
	t/ha	%	%
Arenoso	20,0	6,1	1,882
Massapé	18,1	10,1	1,006
Terra-roxa	10,5	4,2	1,886

mesma forma, e que o massapé é o que apresenta as enxurradas com menores teores de sedimento.

Para o cálculo dos dados de quantidade de terra por volume de enxurrada, foram usados os seguintes valores para a densidade aparente (14) dos diferentes tipos de solo estudados: arenoso = 1,34; massapé = 1,37; terra-roxa = 1,02.

A fim de apreciarmos conjuntamente êsses três fatores, foi determinada a posição relativa média dos três principais tipos de solo do Estado, tal como aparece no quadro 6. Para o cálculo da posição relativa foi dado o valor 100 à menor perda de terra, à de água e à quantidade de terra por volume de enxurrada, e determinados os valores de cada um dos tipos de solo em cada um desses três fatores considerados. Com relação às médias encontradas, deu-se o valor 100 à maior média, e assim foi determinada a posição relativa para cada tipo de solo.

QUADRO 6. — Posição relativa dos três principais tipos de solo do Estado, com relação à erosão

TIPO DE SOLO	POSIÇÃO RELATIVA POR			Média	Posição média relativa
	Perdas de terra	Perdas de água	Quantidade de terra por volume de enxurrada		
Arenoso	52,5	68,8	53,3	58,2	68,9
Massapé	58,0	41,5	100,0	66,5	78,7
Terra-roxa	100,0	100,0	53,3	84,4	100,0

Com base nos dados acima, verifica-se que os espaçamentos de terraços para os tipos de solo arenoso e massapé serão inferiores em cerca de

30% e 20%, respectivamente, quando comparados com os solos tipo terra-roxa.

5.2 — GRAU DE DECLIVE

Com o mesmo critério adotado em 4.1, determinamos o efeito do grau de declive na erosão.

Ao quadro 1 acrescentamos os dados calculados, como em 5.1, para as quantidades de terra por volume de enxurrada. No quadro 7 apresentamos êsses dados.

QUADRO 7. — Perdas de terra e água e quantidades de terra por volume de enxurrada, nos diferentes declives, na base anual de 1 300 mm de chuva (II)

DECLIVE	Perdas de terra em quilos/unidade de largura/unidade de comprimento	Perdas de água em litros / unidade de largura/unidade de comprimento	Quantidades de terra por volume de enxurrada
%			%
6,5	1,36	74	1,78
7,5	1,46	182	0,59
8,5	1,73	111	1,52
9,4	2,33	167	1,01
9,9	2,24	78	2,77
12,0	2,57	115	1,67

A fim de apreciarmos os três fatores conjuntamente, como o obtido em 5.1, foi determinada a posição relativa média dos diversos graus de declive, como aparece no quadro 8.

QUADRO 8. — Posição média relativa do grau de declive com relação à erosão

Declive %	POSIÇÃO RELATIVA POR			Média	Posição média relativa
	Perdas de terra	Perdas de água	Quantidade de terra por volume de enxurrada		
6,5	52,5	40,6	64,2	52,4	68,2
7,5	56,8	100,0	21,3	59,3	77,2
8,5	67,3	60,9	54,8	61,0	79,4
9,4	90,6	91,7	36,4	72,9	93,6
9,9	87,1	43,4	100,0	76,8	100,0
12,0	100,0	63,2	60,2	74,4	96,8

Da correlação dos dados do quadro 8 obteve-se a equação que representa o efeito do grau de declive na erosão.

$$E = 20,84 D^{0,65}$$

em que E chamaremos de “índice de erosão”, D = grau de declive do terreno em porcentagem, 20,84 = constante de variação, e 0,65 = expoente.

Nota-se que quando duplicamos o grau de declive o índice de erosão é aumentado de 1,57 vezes.

O índice de erosão assim obtido não representa, naturalmente, um valor absoluto; baseado nos dados disponíveis, êle é uma indicação média do efeito do grau de declive na erosão.

No quadro 9 são apresentados os dados estatísticos da correlação entre o grau de declive e o índice de erosão.

QUADRO 9. — Correlação entre o grau de declive e o “índice de erosão”

Coeficiente de correlação r	Significância P	Estimativa dos parâmetros	
		a	b
0,922	< 0,01	20,84	0,65

O erro padrão da estimativa do parâmetro b é 0,14.

A figura 4 mostra, em forma gráfica, a variação do índice de erosão nos diferentes graus de declive do terreno, segundo a equação de regressão encontrada.

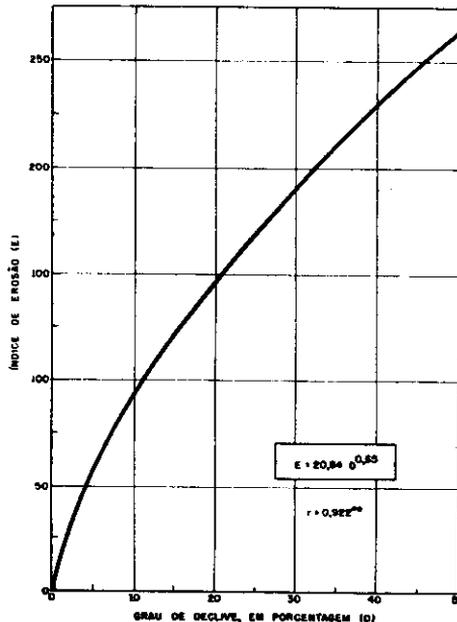


FIGURA 4. — Efeito do grau de declive, no índice de erosão.

5.3 — COMPRIMENTO DE RAMPA

Da mesma forma como em 4.2, determinamos o efeito do comprimento de rampa na erosão.

Ao quadro 3 acrescentamos os dados calculados, como em 5.2, para as quantidades de terra por volume de enxurrada. O quadro 10 apresenta êsses dados.

QUADRO 10. — Perdas de terra e água e quantidades de terra por volume de enxurrada nos diferentes comprimentos de rampa, na base anual de 1 300 mm de chuva(11)

COMPRIMENTO DE RAMPA	Perdas de terra em quilos/unidade de largura	Perdas de água em litros/unidade de largura	Quantidade de terra por volume de enxurrada
<i>m</i>			%
25 -----	34,0	1 850	1,80
50 -----	58,5	2 850	2,01
75 -----	85,7	4 275	1,96
25 -----	36,5	4 550	0,60
50 -----	146,0	7 850	1,38
100 -----	602,0	13 600	3,30

A fim de apreciar conjuntamente os três fatores — perdas de terra e de água e quantidade de terra por volume de enxurrada, foi determinada a posição relativa média dos diversos comprimentos de rampa, como aparece no quadro 11.

QUADRO 11. — Posição média relativa do comprimento de rampa com relação à erosão

COMPRIMENTO DE RAMPA	POSIÇÃO RELATIVA POR			Posição média relativa
	Perdas de terra	Perdas de água	Quantidade de terra por volume de enxurrada	
<i>m</i>				
25 -----	5,6	13,6	53,9	24,4
50 -----	9,7	20,5	60,9	30,4
75 -----	14,2	31,5	56,3	34,0
25 -----	6,1	33,4	17,8	19,1
50 -----	24,2	57,7	41,8	41,2
100 -----	100,0	100,0	100,0	100,0

Com a correlação dos dados do quadro 11 foi obtida a equação que representa o efeito do comprimento de rampa na erosão

$$E = 1,22 C^{0,87}$$

em que E = índice de erosão, C = comprimento de rampa do terreno, em metros, 1,22 = constante de variação, e 0,87 = expoente.

O índice de erosão assim obtido não representa, naturalmente, um valor absoluto; baseado nos dados disponíveis, êle é uma indicação média do efeito do comprimento de rampa na erosão.

Nota-se que, quando duplicamos o comprimento de rampa, o índice de erosão é aumentado de 1,83 vêzes.

No quadro 12 são apresentados os dados estatísticos da correlação entre o comprimento de rampa e o índice de erosão.

QUADRO 12. — Correlação entre o comprimento de rampa e o índice de erosão

Coeficiente de correlação r	Significância P	Estimativa dos parâmetros	
		a	b
0,858	< 0,05	1,22	0,87

O erro padrão da estimativa do parâmetro b é 0,26.

A figura 5 apresenta, em forma gráfica, a variação do índice de erosão nos diferentes comprimentos de rampa do terreno, segundo a equação de regressão encontrada.

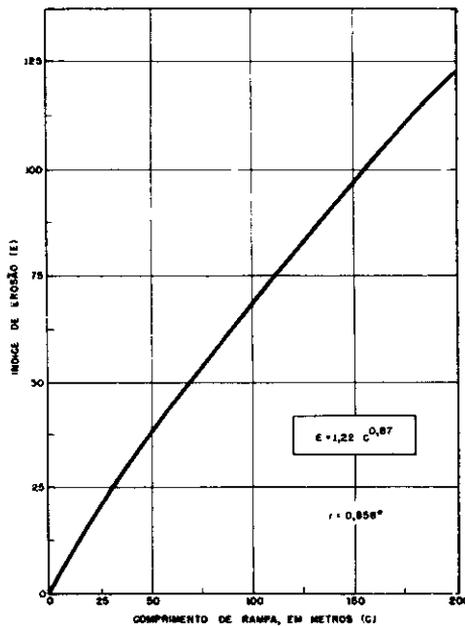


FIGURA 5. — Efeito do comprimento de rampa, no índice de erosão.

5.4 — COMBINAÇÃO DO GRAU DE DECLIVE E DO COMPRIMENTO DE RAMPA

Da mesma forma como em 4.3, com os dados obtidos a equação para representar o efeito combinado do grau de declive e do comprimento de rampa na erosão será

$$E = 1,03 D^{0,65} C^{0,87}$$

onde **E** = índice de erosão; **D** = grau de declive do terreno em porcentagem, e **C** = comprimento de rampa em metros.

A figura 6 apresenta, gráficamente, a variação do índice de erosão pela combinação dos efeitos do grau de declive e do comprimento de rampa.

6 — ESPAÇAMENTO DE TERRAÇOS

O terraceamento é uma prática das mais eficientes no contróle da erosão. Não temos, entretanto, entre nós, até agora, dados experimentais que mostrem o grau de eficiência dos terraços para os nossos solos. Podemos, todavia, considerá-los semelhantes aos terraços americanos.

Numa média dos dados de sete estações experimentais americanas, Marques (9) determinou que os terraços controlam 87% das perdas de terra e 12% das de água.

Com base em tais dados e no volume de terra contida na enxurrada, dando-se o valor 100 às perdas em culturas anuais, a posição relativa das perdas por erosão dessas culturas com terraços será de 37.

Aplicando-se o dados médios dos talhões de perdas por erosão à equação que exprime o índice de erosão na base de 37%, que é o valor a que se reduz êsse índice quando as culturas são terraceadas, obtém-se

$$C^{0,87} = \frac{45,96}{D^{0,65}}$$

donde o valor de **C** será

$$C = \frac{81,62}{D^{0,75}}$$

Se calculássemos o espaçamento de terraços por essa equação, encontraríamos valores muito grandes para os declives menores e muito pequenos para os maiores. Tendo a seção de um terraço uma área uniforme, cujo valor recomendado (7, 8) é de 1,00 a 1,10 m², observa-se que, segundo os dados do quadro 13, para os terraços assim calculados, nos declives maiores haverá excesso de capacidade e, nos declives menores, falta de capacidade.

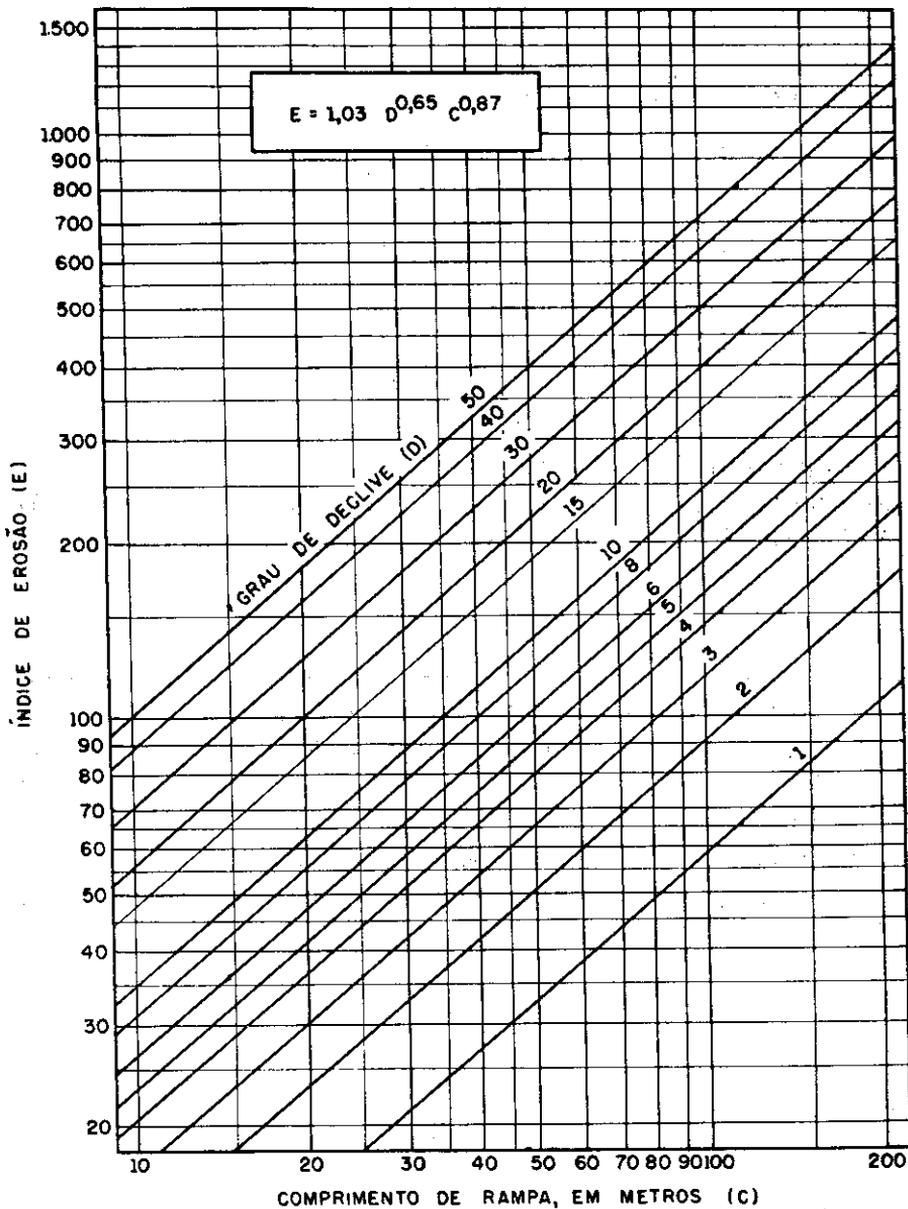


FIGURA 6. — Efeito combinado do grau de declive e do comprimento de rampa, no índice de erosão.

QUADRO 13. — Vazão de enxurrada esperada na área entre terraços

DECLIVE	Coeficiente de enxurrada	Intensidade máxima de chuva em mm/hora	$C = \frac{81,62}{D^{0,75}}$		$C = \frac{45,18}{D^{0,42}}$	
			Distância entre terraços em	Vazão em litros/seg	Distância entre terraços em	Vazão em litros/seg
%	C	I	m	Q	m	Q
3.....	0,45	300	35,88	1,34	28,49	1,07
6.....	0,50	360	21,38	1,07	21,29	1,06
10.....	0,58	380	14,56	0,89	17,17	1,05
15.....	0,65	400	10,77	0,78	14,50	1,05
20.....	0,72	420	8,71	0,73	12,84	1,07

Na determinação da correlação entre o declive e a vazão esperada da área entre terraços, calculados por essa equação, vazão essa resolvida pelo método racional com a fórmula

$$Q = \frac{CIA}{3600}$$

onde Q = vazão em litros por segundo, C = coeficiente de enxurrada, I = intensidade de chuva em milímetros por hora e A = área em metros quadrados, verificou-se que a vazão é função do declive, com expoente 0,33. Tal correlação foi altamente significativa, dando como coeficiente de correlação $r = 0,997$.

Ajustando nossa equação a essa correção encontrada pela vazão, e denominando C , que é o espaçamento horizontal entre terraços, de EH , teríamos

$$EH = \frac{81,62}{D^{0,75}} \cdot \frac{D^{0,33}}{1,806} = \frac{45,18}{D^{0,42}}$$

Nota-se, no quadro 13, que com êsse ajustamento a vazão esperada é praticamente a mesma em todos os declives, e também que a área necessária para a seção dos terraços está dentro daquele valor recomendado.

A equação assim determinada representa, então, a média do espaçamento dos terraços. Observa-se, no quadro 6, que a média da posição relativa dos três principais tipos de solo do Estado é 82,5. Baseados nos dados desse quadro, apresentamos no quadro 14 o espaçamento horizontal dos terraços nos três principais tipos de solo.

QUADRO 14. — Espaçamento horizontal, em metros, entre terraços, de acôrdo com o grau de declive e o tipo de solo

GRAU DE DECLIVE	TIPO DE SOLO		
	Arenoso	Massapê	Terra-roxa
%	m	m	m
1.....	37,75	43,10	54,75
2.....	28,20	32,20	40,95
3.....	23,80	27,20	34,55
4.....	21,10	24,10	30,80
5.....	19,20	21,95	27,85
6.....	17,80	20,30	25,80
8.....	16,65	19,05	24,20
9.....	15,75	18,00	22,85
10.....	15,00	17,15	21,75
12.....	14,35	16,40	20,80
14.....	13,30	15,20	19,30
16.....	12,45	14,20	18,05
18.....	11,80	13,45	17,10
20.....	11,20	12,80	16,25
.....	10,70	12,25	16,55

Para os diferentes tipos de solo a equação será

$$EH = K \frac{45,18}{D^{0,42}}$$

em que **K** é uma constante para cada tipo de solo, cujos valores calculados foram os seguintes: arenoso = 0,835; massapê = 0,954; terra-roxa = 1,212

Sendo o espaçamento vertical representado por

$$EV = \frac{EH \cdot D}{100}$$

a equação se transforma em

$$EV = 0,4518 K D^{0,58}$$

estando apresentado no quadro 15 o espaçamento vertical entre terraços, de acôrdo com o grau de declive e o tipo de solo.

QUADRO 15. — Espaçamento vertical, em metros, entre terraços, de acôrdo com o grau de declive e o tipo de solo

GRAU DE DECLIVE	TIPO DE SOLO		
	Arenoso	Massapê	Terra-roxa
%	m	m	m
1.....	0,38	0,43	0,55
2.....	0,56	0,64	0,82
3.....	0,71	0,82	1,04
4.....	0,84	0,96	1,22
5.....	0,96	1,10	1,39
7.....	1,07	1,22	1,55
8.....	1,17	1,33	1,69
9.....	1,26	1,44	1,83
10.....	1,35	1,54	1,96
12.....	1,43	1,64	2,08
14.....	1,60	1,82	2,32
16.....	1,74	1,99	2,53
18.....	1,89	2,15	2,74
20.....	2,02	2,30	2,92
.....	2,14	2,45	3,11

Na figura 7 apresentamos um nomograma para determinação dos espaçamentos vertical e horizontal dos terraços, de acôrdo com o grau de declive e o tipo de solo.

7 — COMPARAÇÃO COM AS PRINCIPAIS FÓRMULAS EM USO NO PAÍS

As fórmulas para espaçamento de terraços, atualmente em uso, são aquelas divulgadas pela Divisão de Conservação do Solo, do Departamento de Engenharia e Mecânica da Agricultura (6) e por Marques (9).

A tabela de terraços organizada pelo DEMA (6), calculada por uma fórmula usada nos Estados Unidos, tem constantes que variam com o tipo de solo, sendo, também, adicionado um valor para transformação dos dados para o sistema métrico. Essa tabela é apresentada, grãficamente, na figura 8. Observa-se que foram dados os mesmos valores para as três primeiras classes de declive, resultando, por isso, um excesso de capacidade para os canais dos terraços, o que implica em maior quantidade linear de terraços, por área, do que seria necessária. A diferença entre os espaçamentos por tipo de solo é maior do que a encontrada por nós. Entretanto, a maior diferença, quando comparada com a tabela que apresentamos, reside na posição dos espaçamentos por tipo de solo. Vemos, então, que a ordem crescente dos espaçamentos da "tabela DEMA" é arenoso, terra-roxa e massapê, enquanto que, na "tabela Marques" e na proposta por nós a ordem crescente dos espaçamentos é arenoso, massapê e terra-roxa.

A tabela de terraços organizada por Marques (9) foi calculada adaptando, às nossas condições, fórmulas de outros países tendo como base os dados de perdas por erosão, em diferentes tipos de solo, até então obtidos pela Seção de Conservação do Solo. Essa tabela é também apresentada grãficamente, na figura 8. Quando comparada com a nossa, observa-se que seus espaçamentos são maiores nos declives menores. Verifica-se, ainda, que na "tabela Marques" os espaçamentos para os tipos de solo arenoso e massapê são inferiores em 25% e 17% quando comparados com os terra-roxa, enquanto na tabela aqui apresentada êsses valor êssão de 30% e 20%, respectivamente.

8 — DETERMINAÇÃO DE FÓRMULAS MAIS SIMPLES

O espaçamento de terraços é fãcilmente determinado com o auxílio das tabelas apresentadas nos quadros 14 e 15. Na falta das referidas tabelas a determinação é feita pelo uso das fórmulas. Entretanto, a utilização de tais fórmulas, com expoente fracionário, obriga o uso de uma tábua de

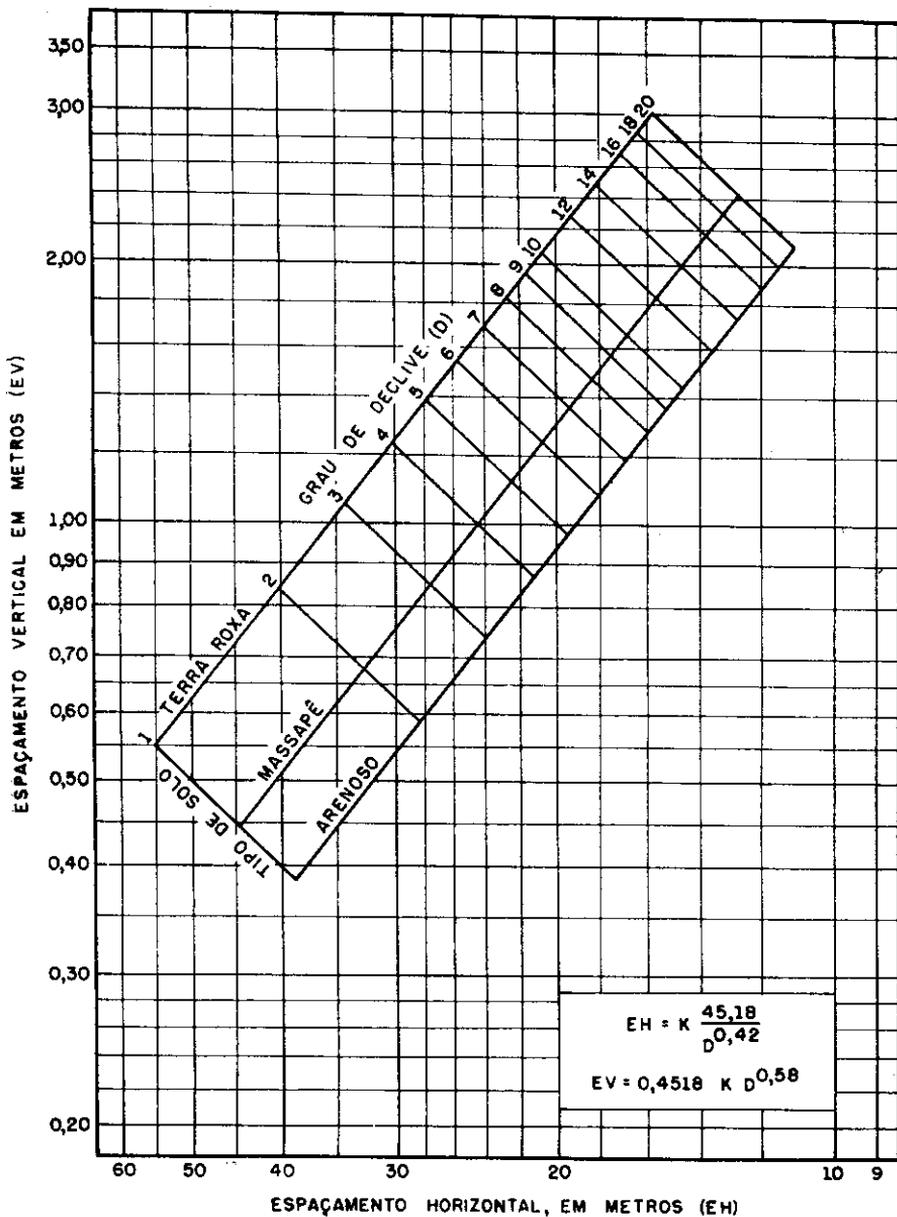


FIGURA 7. — Nomograma para determinação do espaçamento de terraços, de acordo com o grau de declive e o tipo de solo.

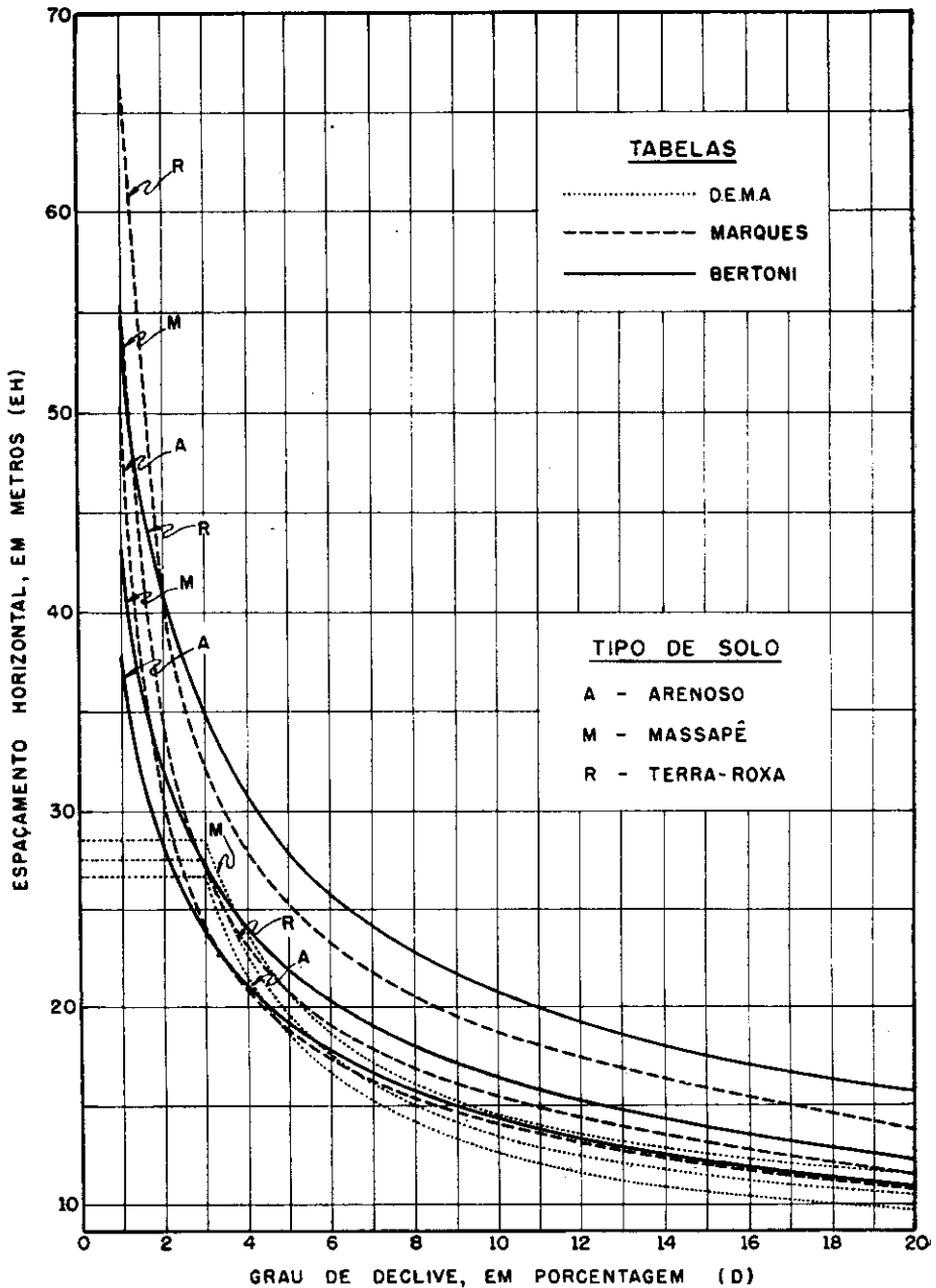


FIGURA 8. — Comparação das tabelas atualmente em uso.

logarítmos, a qual nem sempre está à mão do técnico conservacionista que necessita determinar os espaçamentos de terraços.

A fim de facilitar o trabalho do conservacionista procuramos deduzir fórmulas que, embora apresentem os espaçamentos aproximados, sejam de mais fácil aplicação.

Assim, aplicando o método dos quadrados mínimos aos dados do espaçamento vertical dos terraços nos vários declives (quadro 15) tivemos a equação de estimação

$$\hat{Y} = a + bX$$

onde os valores das constantes **a** e **b** foram determinadas pelas fórmulas

$$a = \frac{\sum X^2 \cdot \sum Y - \sum XY \cdot \sum X}{n \sum X^2 - (\sum X)^2}$$

$$b = \frac{n \sum XY - \sum X \cdot \sum Y}{n \sum X^2 - (\sum X)^2}$$

O quadro 16 apresenta as fórmulas para os espaçamentos aproximados (vertical e horizontal) entre terraços, para os tipos de solo arenoso, massapê e terra-roxa.

QUADRO 16. — Fórmulas para os espaçamentos aproximados, vertical e horizontal dos terraços, nos tipos de solo Arenoso, Massapê e Terra-roxa

TIPO DE SOLO	E S P A Ç A M E N T O	
	Vertical em cm	Horizontal em m
Arenoso	$EV = 47 + 9 D$	$EH = 9 + \frac{47}{D}$
Massapê	$EV = 54 + 10 D$	$EH = 10 + \frac{54}{D}$
Terra-roxa	$EV = 68 + 13 D$	$EH = 13 + \frac{68}{D}$

Numa comparação entre os dados obtidos com tais fórmulas simplificadas e os quadros 14 e 15, observamos que nos declives entre 4% e 20%, que são os declives de terreno onde os terraços são mais indicados, a maior diferença foi de cerca de 7%.

Convém observar que tôda a vez que desejarmos o estabelecimento de terraços em culturas anuais devemos, de preferência, utilizar os dados das tabelas apresentadas com os quadros 14 e 15, que representam a finalidade dêste trabalho. Sòmente em casos onde não fôr possível a utilização

das referidas tabelas, pode-se, com as fórmulas apresentadas no quadro 16, obter os valores aproximados dos espaçamentos de terraços.

9 — CONCLUSÕES

Por êste estudo, as seguintes conclusões podem ser tiradas:

a) duplicando o grau de declive, as perdas de terra são aumentadas de 2,26 vezes, e o índice de erosão, de 1,57 vezes;

b) duplicando o comprimento de rampa, as perdas de terra são aumentadas de 3,09 vezes, e o índice de erosão, de 1,83 vezes;

c) as posições médias relativas, referentes às perdas por erosão, dos solos tipo arenoso e massapê são superiores em cerca de 30% e 20%, respectivamente, comparados com o solo terra-roxa.;

d) para utilização prática, o índice de erosão pode ser representado pela equação:

$$E = 1,03 D^{0,65} C^{0,87}$$

em que **E** = índice de erosão; **D** = grau de declive e **C** = comprimento de rampa. Essa equação foi determinada de um número limitado de dados, não obtidos para a finalidade dêste estudo; por conseguinte, refinamentos serão necessários;

e) como aplicação prática do estudo, foram desenvolvidas as equações:

$$EH = K \frac{45,18}{D^{0,42}} \quad \text{e} \quad EV = 0,4518 K D^{0,58}$$

em que **EH** = espaçamento horizontal entre terraços; **K** = uma constante para as variações de tipo de solo; **D** = grau de declive do terreno e **EV** = = espaçamento vertical entre terraços.

TERRACE SPACING FOR ANNUAL CROPS BASED ON SOIL LOSSES AND RUNOFF DATA

SUMMARY

The purpose of this study is to present a terrace spacing table that may be helpful to others undertaking soil conservation extension service.

The determination of soil and water losses in the São Paulo State began, about 10 years ago, with the runoff catching tanks installed on the chief soil types of the State, at some of the experiment stations of the Instituto Agrônômico.

Making use of the soil loss and runoff data obtained at the slope length plots and several degree slope plots planted with annual crops, an equation was determined which

permits to evaluate the average of total soil loss in runoff as influenced by the degree and length of land slope.

Considering the soil and water losses, and the calculated percent amount of soil in runoff, the relative average of these three factors was determined. By this way the data were studied in relation to the degree and the length of land slope and the resulting equation was named "Índice de Erosão" (Erosion Index).

As the terracing is based, essentially, on the effect of the degree and the slope length, with the erosion index equation a table for terrace spacing was organized.

On the basis of this study the following conclusions were drawn:

a) doubling the degree of slope increases the total soil loss in runoff 2.26 times and the erosion index 1.57 times;

b) doubling the horizontal length of slope increases the total soil loss in runoff 3.09 times and the erosion index 1.83 times;

c) the relative averages, with respect to soil loss and runoff, for sandy soil and clayish soil are larger in about 30% and 20%, respectively, when compared with the diabase soil ("terra roxa");

d) for practical purposes the erosion index is represented by the equation:

$$E = 1,03 D^{0.65} C^{0.87}$$

in which E is the erosion index, D is the degree of slope, and C is the length of slope. The equation is based upon a limited amount of data which were not developed for the purpose of this study, therefore, refinements will be necessary;

e) the following formulas for terrace spacing were developed:

$$EH = \frac{45,18}{D^{0,42}} \text{ and } EV = 0,4518 K D^{0,58}$$

in which EH is the horizontal interval between terraces, K is the soil type coefficient, D is the degree of land slope and EV is the vertical interval between terraces.

LITERATURA CITADA

1. ABRAMIDES, J. (neto) & MOURA, L. R. Como se aplicar as tabelas para terraceamento. Rev. Agric., Piracicaba 18:215-217. 1943.
2. BAVER, L. D. Soil Physics. 2nd. ed. N. York, John Wiley & Sons, Inc., N. Y., 1948. 398 p.
3. BENNETT, H. H. Soil Conservation. N. York, McGraw Hill Book Co., N. Y., 1939. 993 p.
4. BERTONI, J. Sistemas coletores para determinações de perdas por erosão. Bragantia 9:[147]-155. 1949.
5. BITTENCOURT, H. V. C. O controle da erosão nos cafezais. Sulcos e cordões em contorno. Bol. Suptda Serv. Café, S. Paulo. 1943. 26 p. (Separata)
6. Departamento de Engenharia e Mecânica da Agricultura. Divisão de Conservação do Solo. Tabelas de espaçamentos de terraços, cordões em contorno e faixas de retensão. S. Paulo, 1956. 8 p.

7. FREVERT, R. K., SCHWAB, G. O., EDMINSTER, T. W. & BARNES, K. K. Soil and Water Conservation Engineering. N. York, John Wiley & Sons, Inc., N. Y., 1955. 479 p.
8. HAMILTON, C. L. Terracing for soil and water conservation. Washington, D.C., U.S. Department of Agriculture, 1938. 59 p. (Farmer's Bulletin 1789)
9. MARQUES, J. Q. A. Conservação do solo em cafezal. Bol. Suptda Serv. Café, S. Paulo, 1950. 235 p. (Separata)
10. ————— Determinação de perdas por erosão. Arch. fitotéc. 4:505-556. 1951.
11. —————, BERTONI, J. & GROHMANN, F. Determinação de perdas por erosão em São Paulo, de 1943 a 1953. Trabalho apresentado ao 2.º Congresso Panamericano de Agronomia. Piracicaba (S. Paulo), 1954. 33 p. (Não publicado)
12. MUSGRAVE, G. W. Some relationships between slope length, surface-runoff, and the silt-load of surface runoff. Trans. Amer. geophys. Un. 16:472-478. 1935.
13. NICHOLS, M. L. An improved channel-type terrace for the south-east. Washington, D.C., U.S. Department of Agriculture, 1937. 37 p. (Farmer's Bulletin 1790)
14. PAIVA, J. E. (neto), CATANI, R. A., KÜPPER, A. [e outros]. Observações gerais sobre os grandes tipos de solo do Estado de São Paulo. Bragantia 11:[227]-253. 1951.
15. RAMSER, C. E. Developments in terrace spacing. Agric. Engng, Michigan 26: 285-289. 1945.
16. ————— Prevention of erosion of farm lands by terracing. Washington, D.C., U.S. Department of Agriculture, 1917. 23 p. (Bulletin 512)
17. THOMPSON, L. M. Soils and soil fertility. N. York, McGraw Hill Book Co., Inc., N. Y., 1952. 339 p.
18. ZINGG, A. W. An analysis of degree and length of slope data as applied to terracing. Agric. Engng, Michigan 21:99-101. 1940.
19. ————— Degree and length of land slope as it affects soil loss in runoff. Agric. Engng, Michigan 21:59-64. 1940.