

Determinação da capacidade de infiltração do solo
para fins de irrigação por aspersão¹

JUSTO MORETTI FILHO² e HELIO A. MANFRINATO²

Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

1 — Recebido para publicação em 21-8-1965; 2 — Cadeira de Engenharia Rural da E. S. A. Luiz de Queiroz.

RESUMO

O presente trabalho estuda a capacidade de infiltração do solo, para fins de irrigação por aspersão, através de dois métodos conhecidos, isto é, do infiltrômetro cilíndrico de Muntz-modificado (ESALQ 1963) e de irrigação por aspersão. No primeiro, mede-se a quantidade de água absorvida pelo solo num intervalo de tempo, água essa que se mantém à uma carga constante dentro do cilindro. No segundo, mede-se a água absorvida, por diferença entre a quantidade de água aplicada por aspersão e a enxurrada. O infiltrômetro cilíndrico usado foi o do tipo de anéis concêntricos.

Obteve-se boa correlação entre os dados obtidos pelos dois métodos ($r = 0,89$).

Foram introduzidas modificações no infiltrômetro de Muntz a fim de obter-se uma carga hidráulica constante e maior sensibilidade nas leituras.

Da correlação a ser obtida para experimentos em todos os tipos de solo, será permitido ao agricultor fazer êle próprio as determinações da capacidade de infiltração apenas com o infiltrômetro, cujos resultados deverão ser ajustados com fatores de correção, segundo tabelas que doravante estaremos organizando para cada tipo de solo, declive do terreno e natureza da cobertura vegetal.

1. INTRODUÇÃO

A capacidade do solo em absorver água é uma característica física de grande importância. Por isso mesmo tem sido estudada em vários setores agrônômicos. Dêstes se evidenciam a Pedologia, a Conservação de Solos, a Irrigação e a Drenagem.

No entanto, a sua determinação, ou seja, a obtenção dos dados que representam a Capacidade de Infiltração de um solo, apresenta alguma dificuldade, principalmente no que tange a falta de uniformidade nos resultados.

Em essência, o princípio se baseia em aplicar uma certa quantidade de água sobre a superfície do solo e medir o tempo necessário para que êste a absorva. O resultado será expresso em $\text{cm}^3/\text{cm}^2.\text{hora}$, ou mais comumente, em mm/hora .

Os métodos para se determinar êsses valores têm sofrido algumas adaptações no sentido de aperfeiçoamento, mas

continuam sendo os clássicos anéis simples ou concêntricos (infiltrômetros), com uma carga hidráulica constante, ou fazendo a água caminhar por um sulco aberto na superfície do solo, ou ainda por meio da chuva.

A falta de uniformidade que antes mencionamos, se observa não só entre os resultados obtidos com a aplicação dos diferentes métodos mas, também, entre os diferentes tipos de solo, ou ainda dentro de um mesmo tipo de solo.

Assim sendo, torna-se difícil a escolha de um único método, que atenda os vários setores, bem como é difícil aceitar uma constante, chamada capacidade de infiltração para expressar a característica de um tipo de solo, em quaisquer condições que este se apresente.

Queremos nos referir às várias condições em que a superfície do solo poderá se apresentar, desde a sua cobertura vegetal até as suas propriedades físicas.

O nosso objetivo, por razões dêsse jaez, foi procurar um meio fácil e prático de se determinar a capacidade de infiltração do solo, para o fim exclusivo de irrigação por aspersão.

1.1 Definição

ROE e AYRES (1954) definem a infiltração como sendo o movimento da água através da superfície do solo, penetrando em direção das partes mais profundas. Contudo, de um modo geral, esta ação não vai além de 30 cm de profundidade, que seria o nível, a partir do qual, prevaleceriam as leis da permeabilidade.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Procuramos conciliar as facilidades oferecidas pelos anéis concêntricos [MORETTI e MANFRINATO (1963)] nas determinações da Capacidade de Infiltração, correlacionando os dados obtidos com outros tantos conseguidos por meio da irrigação por aspersão.

SLATER (1962) estudou idêntica correlação com anéis simples em solos cultivados, obtendo um alto grau de correlação ($r = 0,99$), o que permitiu concluir que é possível estimar-se a capacidade de infiltração, para efeito de estudos de irrigação por aspersão, usando-se infiltrômetros cilíndricos.

O mesmo autor fez observações, através de irrigações,

por meio de aspersores manuais (de jardim) e também de chuva natural.

TOSELLO (1962) menciona a determinação da capacidade de infiltração por meio de anéis concêntricos e sua correlação com a infiltração nos sulcos de irrigação.

O método por nós utilizado foi semelhante ao de Slater. Contudo, nos ativemos somente à irrigação por meio de aspersores rotativos, funcionando sob pressões diferentes (à custa de um conjunto motor-bomba), com alternância de bocais de diversos diâmetros que forneciam chuva artificial de várias intensidades (precipitação horária).

Prêviamente determinamos o coeficiente de uniformidade de distribuição de umidade ao solo, aplicando a fórmula de CHRISTIANSEN (1942), e segundo o método estatístico e gráfico sugerido por DAN (citado por KRAUS e ELHANANI, 1956), de acôrdo com o modelo de distribuição de água do conjunto de 4 aspersores em funcionamento no campo experimental.

2.1 O infiltrômetro de Muntz

Empregamos o infiltrômetro de Muntz (citado por RISLER e WERY, 1931), ao qual introduzimos várias modificações, dando-lhe maior precisão, além de dotá-lo de carga hidráulica efetivamente constante, durante toda a determinação da capacidade de infiltração.

O infiltrômetro de Muntz (Fig. 1) é constituído de um tubo metálico de 11,2 cm de diâmetro por 25,0 cm de altura que se introduz no solo até a uma profundidade de 6 cm. Sobre êle emborca-se um recipiente de vidro transparente (lembrando a forma de um garrafão), cheio de água, com uma capacidade de 5 a 10 litros, tendo gravado em suas paredes uma escala graduada que nos permite avaliar o volume de água consumido na determinação.

O gargalo tem uma tampa de borracha atravessada por um pequeno tubo de vidro, cuja extremidade livre termina em bisel. A função desse tubo é de manter o nível da água a uma altura constante (3 cm) dentro do tubo metálico. Com o auxílio de um cronômetro, mede-se o tempo gasto no consumo de determinadas quantidades de água, através da infiltração no solo.

2.1.1 O infiltrômetro de Muntz — modificado (ESALQ — 1963)

É sabido que a manutenção do nível constante da água no interior do tubo metálico é feita à custa de uma troca simultânea de ar que adentra o recipiente emborcado, por um volume de água que dêle escapa, através do gargalo, elevando o nível d'água no interior do tubo metálico, até que esta venha obstar novamente a entrada de ar. Ora, no início das determinações, quando o recipiente está ainda bem cheio de água, as trocas são de pequenas proporções e aquele nível é mantido quase que rigorosamente constante.

No entanto, à medida que se sucedem as descargas de água durante a determinação, as trocas vão sendo feitas em proporções maiores, de tal forma que o volume de água que escapa pelo tubo do gargalo é bem maior do que aquele verificado no início da determinação. Nesta ocasião, observa-se que, logo após uma descarga, o nível d'água no interior do tubo metálico não se mantém à altura da extremidade do tubo em bisel; eleva-se excessivamente, fazendo com que a carga hidráulica atuante no interior do tubo metálico não seja a mesma daquela do início da operação. Logo, o infiltrômetro de Muntz, na realidade, não é de carga constante.

Para corrigir este inconveniente que altera completamente os resultados da capacidade de infiltração, introduzimos algumas modificações (Fig. 2), instalando inclusive uma válvula (Fig. 3) dentro do tubo metálico, controlada por uma boia de isopor, que se fechava assim que a água atingisse o nível pré-estabelecido (carga hidráulica de 3 cm). A abertura da válvula sendo pequena, permitia durante todo o tempo manter o nível constante no interior do infiltrômetro.

Assim, pudemos obter leituras rigorosas e sensíveis, o que não se conseguia com o infiltrômetro original de Muntz.

A válvula era conectada, através de uma mangueira fina, a uma proveta especial de 100 cm³, graduada de 2 em 2 cm³, com saída lateral na base (Figs. 3 e 4), montada sobre um suporte colocado logo acima do infiltrômetro. Como uma observação importante, o infiltrômetro original, tal como era graduado, só podia permitir uma leitura de, no mínimo, 50 cm³ e ainda como estimativa visual. Daí o

fato de a nossa modificação trazer uma grande sensibilidade na precisão das leituras.

O recipiente de 5 a 10 litros de água passou a ser usado, simplesmente, como um reservatório alimentador da referida proveta (Fig. 2). Para tanto, adaptamos um tripé sobre o conjunto infiltrômetro-proveta, para suportar o referido recipiente, também aqui emborcado, conectado à proveta por um tubo fino de borracha.

Dêse modo, tornou-se cômoda, fácil e automática a alimentação do sistema, permitindo leituras de 1 cm^3 de sensibilidade.

Quanto ao tubo metálico, a única alteração introduzida no original de Muntz foi a instalação de um anel concêntrico, de diâmetro aproximadamente, duas vezes maior.

2.2 Equipamento de Aspersão

Para conseguirmos a irrigação que nos proporcionou os dados necessários para a correlação inerente ao método, utilizamo-nos de um equipamento constituído de 4 aspersores (PERROT-LKA-30/1, com bocal de 6 mm de diâmetro), com um espaçamento de $18 \times 18 \text{ m}$, trabalhando a uma pressão de 2,5 atm (Fig. 5). Um conjunto motor-bomba de 15 HP e tubulações de 3 polegadas completavam o equipamento.

Para medir a infiltração da água nessa área de $18 \times 18 \text{ m}$, individualizamos um conjunto de 4 canteiros quadrados de 50 cm de lado, em nível, delimitados no terreno pela implantação de calhas coletoras de enxurrada, de idêntica forma geométrica (Fig. 6). À periferia de cada canteiro foram instalados 4 pluviômetros. As áreas das superfícies do conjunto de 4 pluviômetros, perfazem $1/4$ da área de cada canteiro.

Do total de água de irrigação recebida nos canteiros, uma parte se infiltrava e outra não. Aquela que não era absorvida, escorria em forma de enxurrada e era captada pelas calhas coletoras, que a conduzia, por meio de tubulações a medidores especiais.

A água captada pelos pluviômetros, da mesma forma, era conduzida a medidores correspondentes.

Dessa maneira, cada canteiro era controlado por 2 medidores; um para a enxurrada e outro para a precipitação.

Os medidores, em número de 8, (Fig. 7) foram instala-

dos a uma distância tal, da área irrigada, que um operador podia efetuar leituras, contínua e simultaneamente com a irrigação em funcionamento. Foram êles dimensionados e construídos de forma a permitir leituras diretas de, no mínimo, 0,5 milímetro de altura d'água, facilitando, sobremaneira, os cálculos.

A fim de uniformizar a obtenção dos dados, procedíamos as leituras de 30 em 30 minutos, tanto nas determinações pelo infiltrômetro de Muntz-modificado, como naquelas por meio de irrigação por aspersão.

As determinações foram conduzidas em um terreno do campo experimental da 6.^a Cadeira, cujo solo se classificou texturalmente como argila, o qual fôra cultivado com milho no ano anterior. Como preparo inicial do experimento, êste solo foi devidamente arado e gradeado.

3. RESULTADOS OBTIDOS

Apresentamos no QUADRO 1 os resultados das determinações conduzidas em 4 diferentes pontos do campo experimental, por meio do infiltrômetro de Muntz-modificado — (ESALQ — 1963), e no QUADRO 2 os resultados obtidos por meio da irrigação por aspersão.

Os dados foram analisados e comparados, estatisticamente. Como ilustração, os GRÁFICOS 1 e 2 mostram duas curvas da capacidade de infiltração, sendo uma obtida com os dados do infiltrômetro de Muntz — modificado (ESALQ 1963) e outra com os dados da irrigação por aspersão, respectivamente.

Observa-se, através dessas curvas, que ao iniciarem-se as determinações, a capacidade de infiltração era de categoria muito rápida, para os dois métodos de determinação. Isso foi devido ao teor muito baixo de umidade presente no solo, naquele momento, crescendo-se ainda, que o solo havia sido recentemente arado e gradeado. Com o prosseguimento das determinações, mais água foi aplicada, o solo saturou-se e então, a infiltração tornou-se mais vagarosa. Esse declínio foi se procedendo, gradualmente, até atingir um ponto, a partir do qual os dados flutuavam em torno de um valor, relativamente, constante.

Não se pode e nem se deve esperar constância rigorosa em determinações dessa natureza com o solo.

Fato semelhante se verifica com o coeficiente de per-

mabilidade do solo (abaixo dos 30 cm). KIRCKHAM (1965), REEVE e KIRKHAM (1951) encontraram valores com elevado coeficiente de variação. As determinações procedidas diretamente no local, no entanto, oferecem variação bem menor, MANFRINATO (1961).

Ora, a infiltração se processa numa camada superficial de solo e, portanto mais heterogênea e anisotrópica em relação às mais profundas que se oferecem, mais propriamente, ao estudo da permeabilidade (condutibilidade hidráulica). Obviamente, os dados deverão ser mais discrepantes.

Contudo, a despeito da variação entre as repetições, nota-se que as curvas dos GRÁFICOS 1 e 2 mostram um paralelismo razoável. Isso nos induziu a pensar numa possível correlação entre os dois métodos, o que, de fato comprovamos, posteriormente, conforme inserimos no capítulo de "DISCUSSÃO".

QUADRO 1

Determinações da Capacidade de Infiltração em mm/h conduzidas em diferentes pontos do campo experimental da 6.^a Cadeira, com o infiltrômetro de Muntz — modificado — ESALQ — 1963.

Número de Leituras (x)	PARCELAS DO CAMPO EXPERIMENTAL			
	A	B	C	D
1	100,3	182,0	83,0	276,9
2	98,9	158,0	71,1	206,9
3	98,7	104,0	66,8	68,4
4	96,4	98,0	65,7	54,3
5	91,6	87,0	64,7	50,0
6	90,0	98,0	59,4	68,4
7	90,6	81,0	42,8	54,3
8	90,6	79,0	43,9	68,0
9	93,6	91,0	42,0	55,0
10	92,4	84,0	44,0	56,0
11	87,2	80,0	45,0	58,0

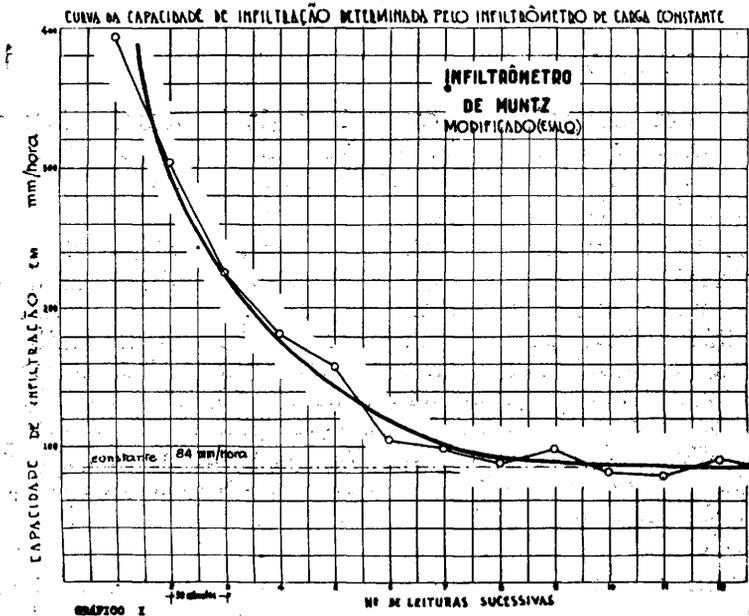
(x) — intervalo de tempo entre uma e outra leitura: 30 minutos.

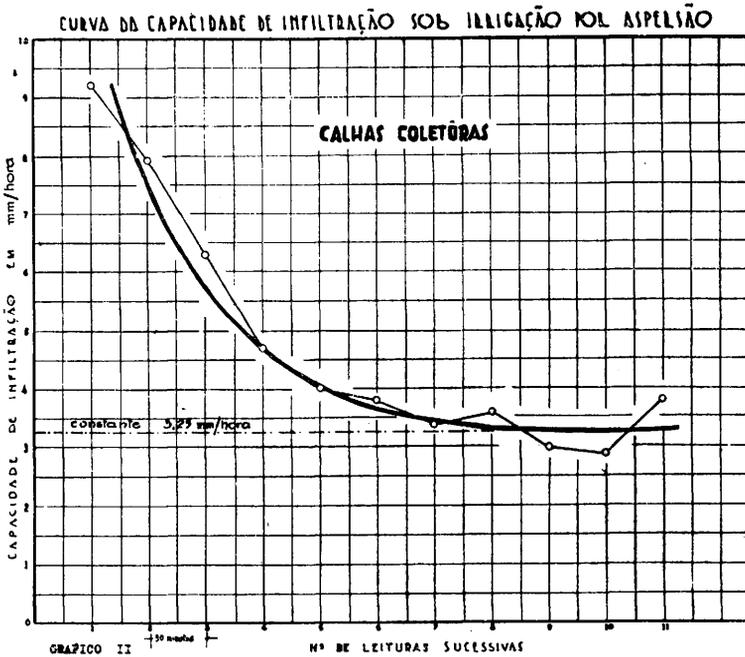
QUADRO 2

Determinações da Capacidade de Infiltração em mm/h conduzidas em diferentes pontos do campo experimental da 6.^a Cadeira, com o equipamento de irrigação por aspersão.

Número de (x) Leituras	PARCELAS DO CAMPO EXPERIMENTAL			
	A	B	C	D
1	9,2	4,7	4,4	2,4
2	7,9	2,4	2,3	1,5
3	6,3	1,2	1,7	1,2
4	4,7	1,8	1,4	1,7
5	4,0	1,0	1,9	2,3
6	3,8	1,0	1,9	1,1
7	3,4	1,5	2,5	1,7
8	3,6	1,4	1,2	1,7
9	3,0	1,4	1,8	2,2
10	2,9	1,3	1,7	1,5
11	3,8	1,1	1,5	1,9

(x) — intervalo de tempo de uma leitura à outra: 30 minutos





5. DISCUSSÃO

As determinações da capacidade de infiltração foram conduzidas de modo contínuo. Permitiu-se que a água se infiltrasse durante todo o tempo necessário, efetuando-se leituras de cada 30 minutos.

Análises estatísticas feitas com dados obtidos de determinações anteriores em que a água fôra aplicada de maneira intermitente, revelaram um coeficiente de variação inaceitável. Deve ser entendida como aplicação intermitente de água, aquela que se fazia segundo uma irrigação pesada, durante intervalos de tempo de 15, 30, 45 e 60 minutos, portanto com interrupções, correspondentes à tarefa de medir a água de enxurrada e de chuva, coletadas por dispositivos especiais. Essa análise levou-nos a adotar a aplicação contínua de água para quaisquer determinações da capacidade de infiltração.

Para tal, uma série de providências foram necessárias, com modificações, principalmente nas determinações por

meio da irrigação por aspersão. Consistiram elas em canalizar a enxurrada e a chuva coletadas no local da determinação (Figs. 6 e 7), a um ponto do terreno em que o operador pudesse efetuar as leituras em medidores, enquanto se processava a irrigação.

Quer nos parecer que SLATTER (1962) adotou aplicação intermitente de água em intervalos de uma hora ou de acordo com a intensidade de precipitação.

4.1 Correlação

A análise de correlação entre os resultados obtidos nas diversas parcelas A,B,C, e D, com a aplicação dos dois métodos (infiltrômetro e aspersão) revela valores com alto grau de correlação para as 3 primeiras parcelas, sendo, respectivamente, significativos aos níveis de probabilidades de:

$$A = 98,0\% \quad B = 99,9\% \quad C = 90,0\%$$

Os resultados da parcela D, mostraram discrepância em virtude de uma irregularidade do solo. Nesta área, descobrimos, posteriormente, a ocorrência de um saueiro que, certamente, contribuiu para alterar os resultados.

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos e observações efetuadas no presente trabalho, permitem as seguintes conclusões.

5.1 O infiltrômetro de Muntz não é de carga hidráulica constante, embora seja reconhecido como dotado dessa característica, e assim aplicado na determinação de capacidade de infiltração do solo. E, como tal, não pode ser recomendado, em trabalhos dessa natureza, uma vez que os resultados por ele conferidos não traduzem, fielmente, o movimento da água através da camada superficial do solo.

5.2 O infiltrômetro de Muntz-modificado (ESALQ 1963) é de carga hidráulica constante, durante todo o tempo necessário para a determinação da capacidade de infiltração do solo e se presta muito bem para circunstanciar essa característica, sobretudo, para fins de estudos e projetos de irrigação por aspersão.

5.3 O alto grau de correlação entre os dados obtidos com os dois métodos aqui empregados, permitem concluir

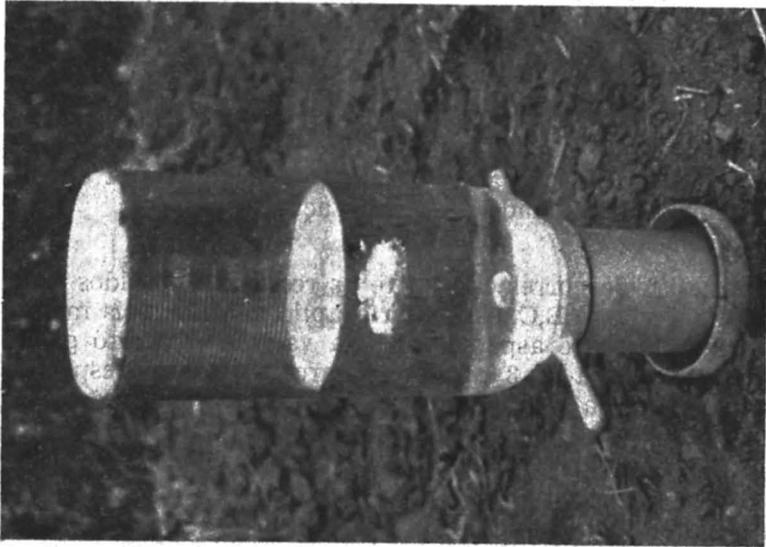


FIG. 1 — Infiltrômetro de Muntz

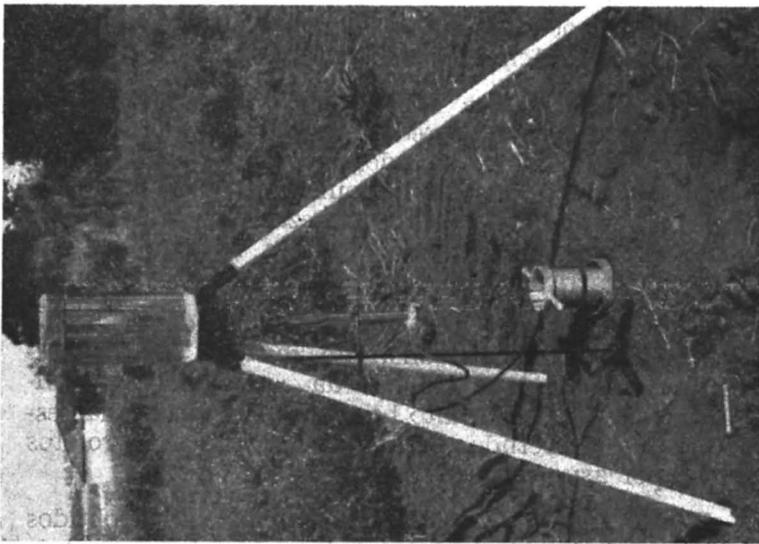


FIG. 2 — Infiltrômetro de Muntz — modificado (ESALQ-1963)

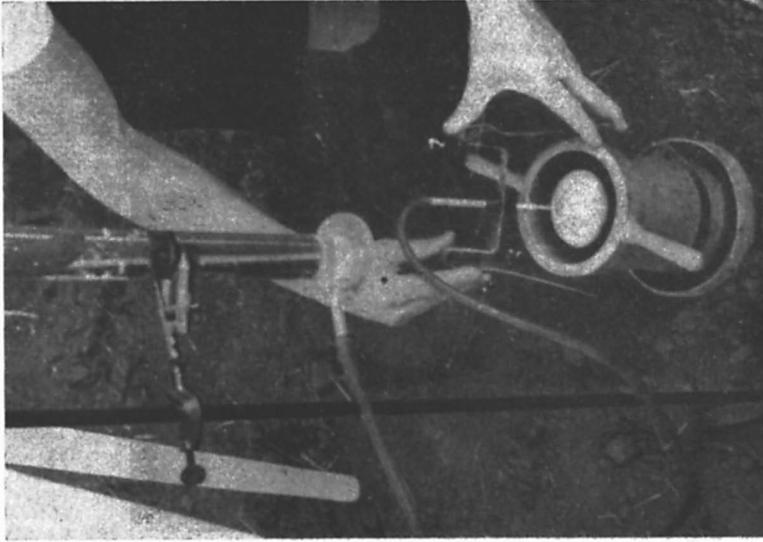


FIG. 3 — Detalhe da válvula e bóia de isopor responsável pelo nível constante da água no interior do infiltrômetro

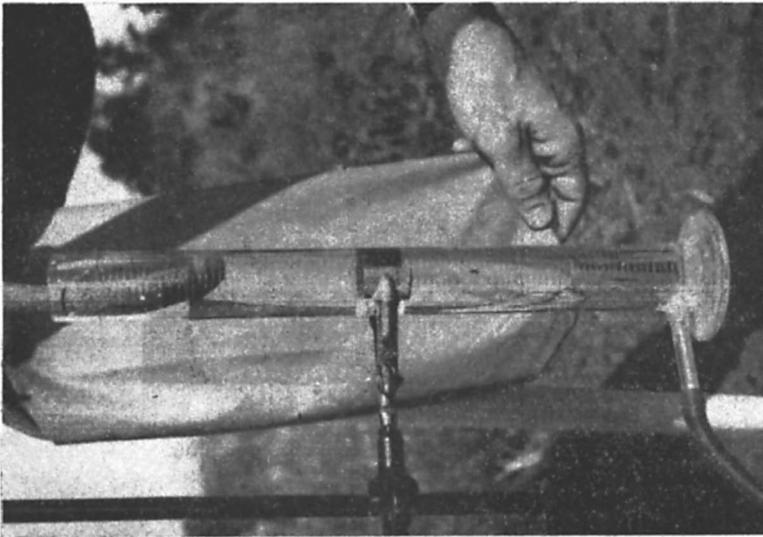


FIG. 4 — Proveta graduada de modo a permitir leituras de 1 cm^3 de água de infiltração.

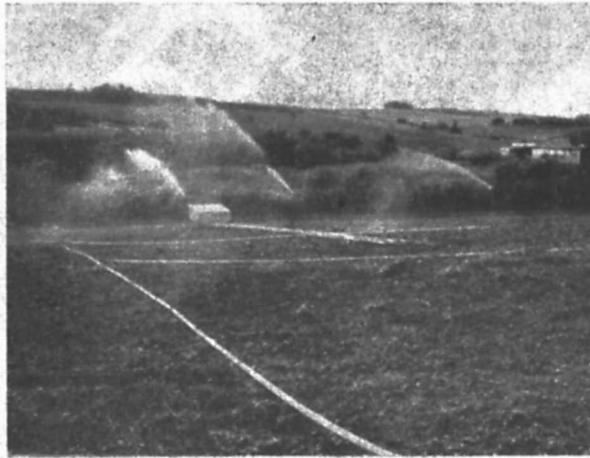


FIG. 5 — Disposição do equipamento de irrigação em funcionamento; ao centro, o conjunto de calhas coletoras de enxurrada e pluviômetros.

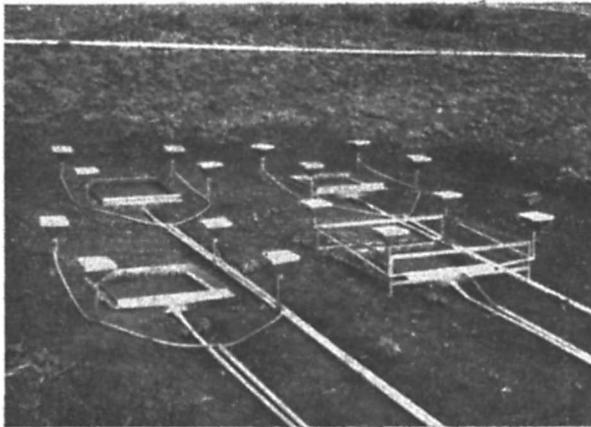


FIG. 6 — Conjunto de canteiros de prova, quadrados, delimitados pelas calhas coletoras de enxurrada; pluviômetros e tubulações.

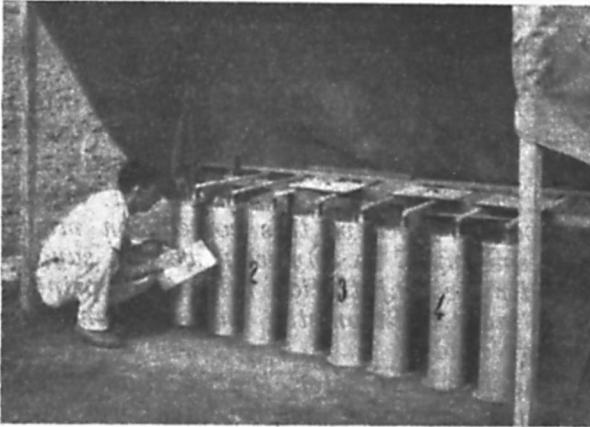


FIG. 7 — Medidores especiais da enxurrada e da precipitação.

que a capacidade de infiltração do solo, sob irrigação por aspersão, pode ser estimada por meio de determinações com infiltrômetros, desde que se realizem sob as condições estabelecidas no presente estudo.

5.4 As determinações com os infiltrômetros devem ser efetuadas com a aplicação contínua de água, principalmente, quando se visa a obtenção de dados para os cálculos de intensidade de irrigação.

5.5 Em vista da correlação verificada entre os dados obtidos pelos dois métodos examinados, recomenda-se o uso do infiltrômetro de Muntz-modificado (ESALQ — 1963), que pela simplicidade que apresenta estará ao alcance de qualquer técnico ou agricultor, para as suas determinações, independentes de consultas a institutos e laboratórios especializados, desde que atualizados com os devidos fatores de correção.

5.6 O presente estudo, implica na elaboração de tabelas com fatores de correção (relação entre os valores obtidos com o infiltrômetro de Muntz-modificado (ESALQ — 1963), e o método de aspersão) para as diferentes classes texturais de solos, o que aliás, constituirá, doravante, o nosso mister.

6. SUMMARY

This paper presents a infiltration rates study on cultivated soil, determined by sprinkling and by means of water impoundment in cilinder infiltrometer.

Infiltration rates obtained with cylinder infiltrometers were compared with infiltration rates under sprinkler irrigation.

We obtained high degree of correlation, between dates of two methods. We believe this correlation must be kept for diferents soil types. In any way, we can say, should be possible to estimate infiltration rates for sprinkler irrigation, from cilinder infiltrometer measurements if enough replications are made.

The cylinder infiltrometer, that we have used was according to Muntz, and some improvement was necessary on the apparatus, in order of obtaining a better reading and constant hydraulic head.

7. BIBLIOGRAFIA CITADA

- 1) CHRISTIANSEN, J. E. — 1942. Irrigation by Sprinkler. Bul. n.º 670 University of California.
- 2) KIRKHAM, DON. — 1955. Measurement of the Hydraulic Conductivity of Soil in place. Symposium on Permeability of Soils. Amer. Soc. Test. Mat. Spec. Teach. Pub. 1963: 80-97.
- 3) KRAUS, J. H. and ELHANANI, S. — 1956. Sprinkler uniformity of application tests, A. Naan Sprinkler, Field Extension Service (Water and Soils) and the Jewish Agency
- 4) MANFRINATO, H. A. — 1961. O método das cavidades cilíndricas na determinação da condutibilidade hidráulica e sua aplicação na drenagem. pp. 51-52.
- 5) MORETTI, J. F.º e MANFRINATO, H. A. — 1963. Capacidade de infiltração do solo para fins de irrigação por aspersão. 1.º ciclo de Seminários sobre Ciência do Solo (Mimeo.) agosto/novembro. Centro de Estudos de Solos Tropicais (CEST), E. S. A. "Luiz de Queiroz" — U.S.P. — Piracicaba. p. 6 a 13.
- 6) REEVE, R. C. and KIRKHAM, D. — 1951. Soil Anisotropy and Some Field Methods for Measuring Permeability. Transactions Am. Geoph. Un. Vol. 32, n.º 4, Aug.
- 7) RISLER, E. y WERY G. — 1931. Drenage y Saniamento de las Tierras 2.ª d. Salvat. Editors, Barcelona, pp. 23-30.
- 8) ROE H. B. and AYRES Q. C. — 1954 — Engineering for agricultural Drainage. McGraw-Hill Book Company, Inc.
- 9) SLATER C. S. — 1962. Soil Science Society Proceedings. Vol. 21 pp. 457-460.
- 10) TOSELO R. N. — 1962, Cultura da Batata. DATE. Série de Instruções Técnicas 7. SIR. pp. 105-127.