

DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS PARA
IRRIGAÇÃO POR CORRUGAÇÃO EM SOLO
SOB CERRADOS

LUIZ CARLOS RAMOS DE LIMA

Dissertação apresentada ao Departamento
de Engenharia Agrícola e Edafologia do
Centro de Ciências Agrárias da Universi
dade Federal do Ceará, como parte dos
requisitos para obtenção do grau de
"Mestre em Engenharia Agrícola".

Fortaleza-Ceará
janeiro/1980

[REDACTED]

Esta Dissertação foi apresentada como parte dos requisitos necessários a obtenção do Grau de Mestre em ENGENHARIA AGRÍCOLA, outorgado pela Universidade Federal do Ceará, e em cuja Biblioteca Central encontra-se à disposição dos interessados.

A citação de qualquer trecho desta Dissertação é permitida, desde que seja feita de conformidade com as normas da ética científica.

[REDACTED]

Luiz Carlos Ramos de Lima

DISSERTAÇÃO APROVADA EM: 25.01.80

[REDACTED]

Moisés Custódio Saraiva Leão
Orientador da Dissertação

[REDACTED]

José Matias Filho

[REDACTED]

Luis Carlos Uchôa Saunders

Dedico,
À minha querida
esposa Helena e filha Tarsila

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

O autor expressa os mais sinceros agradecimentos às pessoas e entidades abaixo mencionadas.

Aos professores Moisés Custódio Saraiva Leão e Luis Carlos Uchôa Saunders do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, por suas valiosas ajudas na orientação, redação e correção da tese.

Ao Dr. Fábio de Novaes, da Secretaria de Produção Vegetal - Coordenadoria de Irrigação e Drenagem do Ministério da Agricultura, por toda sua dedicação e sábia orientação na planificação e desenvolvimento deste trabalho.

À sua esposa Helena Aguiar Ramos pela solidariedade, carinho e dedicação constante durante o período do curso e trabalhos de campo.

Ao Departamento de Engenharia Agrônômica da Universidade de Brasília, através do Dr. Roberto Meirelles de Miranda, Chefe do Departamento, ao Supervisor da Fazenda Água Limpa, Engenheiro Agrônomo Eiyti Kato por terem colocado à sua disposição área da Estação Experimental (Fazenda Água Limpa), maquinaria, laboratório e mão-de-obra.

Aos colegas professores do Departamento de Engenharia Agrônômica da Universidade de Brasília pela orientação e estímulo.

Aos demais colegas e funcionários pelo apoio e solidariedade prestada.

C O N T E Ú D O

	<u>PÁGINA</u>
LISTA DE QUADROS	VI
LISTA DE FIGURAS	VIII
RESUMO	IX
SUMMARY	XI
INTRODUÇÃO	1
REVISÃO DE LITERATURA	3
Irrigação por Corrugação	3
Eficiência de Irrigação	3
Velocidade de Infiltração	7
Vazão Máxima não Erosiva e Velocidade de Avanço	9
Comprimento da Corrugação	10
Propriedades Físico-Químicas do Solo	10
MATERIAL E MÉTODOS	12
Esquema Experimental	12
Procedimento de Campo	15
Procedimento de Gabinete	17
RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
Propriedades Físico-Químicas do Solo	22
Lâmina de Irrigação	25
Eficiência de Irrigação	26
CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	30
LITERATURA CITADA	32
APÊNDICE A	36
APÊNDICE B	48
APÊNDICE C	60

LISTA DE QUADROS

PÁGINA

QUADRO

01	- Observações meteorológicas do Distrito Federal - 1963/75	12
02	- Equações da velocidade de infiltração e infiltração acumulada em função da vazão	24
03	- Lâmina d'água infiltrada no início do sulco em função da vazão e tempo total de irrigação . . .	27
04	- Eficiência de distribuição e aplicação em função da vazão	28
05	- Análise física e química do solo para as amostras 550, 551 e 552	37
06	- Análise física e química do solo para as amostras 553, 554 e 555	38
07	- Análise física e química do solo para as amostras 556, 557 e 558	39
08	- Análise física e química do solo para as amostras 559, 560 e 561	40
09	- Velocidade de infiltração, vazão constante de 0,43 litros por segundo	41
10	- Velocidade de infiltração, vazão constante de 0,57 litros por segundo	42
11	- Velocidade de infiltração, vazão constante de 0,65 litros por segundo	43
12	- Velocidade de infiltração, vazão constante de 0,95 litros por segundo	44
13	- Velocidade de infiltração, vazão constante de 1,17 litros por segundo	45
14	- Velocidade de infiltração, vazão constante de	

	1,44 litros por segundo	46
15	- Umidade do solo. Antes e 24 horas após a irrigação. Porcentagem com relação ao peso de solo seco	47
16	- Valores médios de T e de I com os respectivos logarítmos, para a vazão de 0,43 litros por segundo	61

LISTA DE FIGURAS

PÁGINA

FIGURA

01 - Esquema geral do experimento	16
02 - Marcha diária da umidade do solo para três profundidades. Média de duas observações	49
03 - Curva de retenção de umidade	50
04 - Avanço da água em sulcos de corrugação na primeira irrigação	51
05 - Avanço da água em sulcos de corrugação após uma pré-irrigação	52
06 - Curva da velocidade de infiltração e infiltração <u>a</u> cumulada em sulcos de irrigação. Vazão constante de 0,43 litros/segundo	53
07 - Curva da velocidade de infiltração e infiltração <u>a</u> cumulada em sulcos de corrugação. Vazão constante de 0,57 litros/segundo	54
08 - Curva da velocidade de infiltração e infiltração <u>a</u> cumulada em sulcos de corrugação. Vazão constante de 0,65 litros/segundo	55
09 - Curva da velocidade de infiltração e infiltração <u>a</u> cumulada em sulcos de corrugação. Vazão constante de 0,95 litros/segundo	56
10 - Curva da velocidade de infiltração e infiltração <u>a</u> cumulada em sulcos de corrugação. Vazão constante de 1,17 litros/segundo	57
11 - Curva da velocidade de infiltração e infiltração <u>a</u> cumulada em sulcos de corrugação. Vazão constante de 1,44 litros/segundo	58
12 - Relação entre o tempo de irrigação e lâmina d'água em sulcos de corrugação	59

RESUMO

O estudo foi desenvolvido no período de setembro a outubro de 1978, com a finalidade de determinar os parâmetros básicos para uma eficiente irrigação por corrugação.

Na Fazenda Experimental Água Limpa, pertencente à Universidade de Brasília, foi instalado um campo experimental de 24 sulcos espaçados de 80 centímetros por 100 metros de comprimento e 10 centímetros de profundidade, na declividade de 4,2%.

Em 6 grupos de 4 sulcos foram aplicadas, através de sifões de P.V.C. de 1 e 1^{1/2} polegadas de diâmetro, vazões contínuas de 0,43; 0,57; 0,65; 0,95; 1,17 e 1,44 litros por segundo.

Com o auxílio das relações entre lâmina aplicada, tempo de avanço, tempo de infiltração e tempo de irrigação foram analisadas as eficiências de distribuição e de aplicação.

A velocidade de infiltração foi determinada pelo processo de entrada e saída d'água em sulcos de 50 metros.

Dos resultados obtidos foram tiradas as seguintes conclusões:

- a. Maiores eficiências se conseguiram com maiores vazões, entretanto, essas vazões provocaram grandes erosões ao longo do sulco.
- b. Vazões maiores que 0,65 litros por segundo, para as condições do experimento, são desaconselháveis, pois, embora com maiores eficiências, causaram grande erosão.
- c. A decisão final com relação à vazão a se tomar está no grau de erosão que o técnico con-

siderar prejudicial, isso em função das condições locais.

- d. As vazões de 0,43; 0,57 e 0,65 ℓ/s não apresentaram variações na velocidade de infiltração, esta se manteve quase constante, enquanto que nas vazões de 0,95; 1,17 e 1,44 ℓ/s houve grande variação, devido, talvez, pelo fato de que grandes fluxos carregam maior quantidade de material fechando os macroporos do solo.
- e. A velocidade de infiltração diminuiu da primeira para a segunda irrigação.
- f. As observações indicaram que comprimento de sulco entre 60 e 80 metros são aconselháveis, para as condições do experimento.
- g. Recomenda-se frequência de irrigação com intervalos menores de seis dias nas condições de Cerrados.
- h. Os parâmetros físicos determinados para Latos solos Vermelhos Amarelos não diferiram dos parâmetros determinados pelo Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados - CPAC, em solos Latos solos Vermelhos Escuros.

SUMMARY

This study was carried out in the period from September to October of 1978, with the objective to determine the basic parameters for an efficient corrugation irrigation.

The experimental plots were set up at the Agua Limpa experimental form, belonging to the Universidade of Brasilia, with a total of 24 canals 80cm width, 100m of length and 10cm depth, and a slope of 4,2%.

In 6 groups of 4 canals were then applied, through P.V.C. siphons of 1 and 1 1/2 inches of diameter, continuous flow rates of 0.43, 0.57, 0.65, 0.95, 1.17 and 1.44 litres per second.

Taking into consideration the relationship of the applied water laminas, advance time, infiltration time and irrigation time, the distribution and application efficiencies were analysed.

The rate of infiltration was determined by the process inflow-outflow of water in canal of 50 meters.

Based on the results obtained the following conclusion can be drawn:

- a. Higher efficiencies were obtained with higher flows, however, these high flows caused erosion in the canal.
- b. Flow rates higher than 0.65 litres per second, under the experimental conditions, are not advisable to use, despite the fact that they had higher efficiencies, because they caused a great degree of erosion.
- c. The final decision on which flow rate should be used, is based upon the degree of erosion considered harmful by the technician; this is

- a function of the environment conditions.
- d. The flow rates of 0.43, 0.57, and 0.65 litres/second did not present variations in the rate of infiltration; it remained almost constant. On the other hand, with flow rates of 0.95, 1.17 and 1.44 litres/second it presented great variations, which might be due to the fact that high flow rates carried a larger amount of material, closing up the soil macroporos.
 - e. The rate of infiltration decreased from the first to the second irrigation.
 - f. The observation pointed out that lengths of the canal in the range of 60 to 80 meters are advisable, under the experimental conditions.
 - g. It is advised to use irrigation frequency with intervalles less than six days under the "Cerrado" conditions.
 - h. The physical parameters determined for the Red-yellow latosol were not different from the parameters determined by the "Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados - CPAC", in dark-red latosol.

INTRODUÇÃO

No Brasil, apenas 12% da superfície explorada pela agropecuária são áreas de lavouras, isto representa 38,8 milhões de hectares. Esses dados são do Anuário Estatístico do Brasil (12) e indicam um baixo índice de exploração da agricultura brasileira. Isso deve-se, entre outros fatores, à falta de segurança do agricultor em obter bons êxitos, devido à má distribuição das chuvas.

Segundo ALVIN e ARAÚJO (1), cerca de 200 milhões de hectares, ou seja, entre 20 e 25% da área total do território brasileiro, são revestidos por solos de Cerrados. SANCHEZ, LOPES e BUOL (1974) citado por FERRI (10), mencionam a cifra de 22% e indicam uma área de 182,9 milhões de hectares. Apesar do seu largo potencial agrícola, os Cerrados têm sido pouco explorados. A localização geográfica dessas áreas próximas aos grandes centros comerciais, bem como as condições físicas e topográficas favoráveis que apresentam, ensejando oportunidade para uma agricultura motomecanizada, têm despertado a atenção dos técnicos para sua exploração racional.

Esses solos que em sua maioria são Latossolos apresentam baixa fertilidade natural, elevada concentração de alumínio e manganês trocáveis, possuem acidez elevada e baixo teor de fósforo disponível. São profundos, bem drenados e de baixa retenção de umidade. As percentagens de saturação de bases são baixas, tanto para os Latossolos de textura argilosa, como para os de textura média, demonstrando a alta lixiviação de bases, como também são baixos os valores da soma das bases trocáveis e da capacidade de troca de cations. BOLETIM TÉCNICO Nº 53 do SNLCS (8).

BRANDY (1976) citado por FRANZ (11) afirma que os Latossolos Vermelhos Escuros (LVE) e os Latossolos Vermelhos Amarelos (LVA) cobrem 56% das áreas de Cerrados, sendo a

maior percentagem destes.

Pela presença de curta estiagem na estação das águas e um período de quase cinco meses sem chuva que vai de maio a setembro, se torna necessária a irrigação complementar como um meio de corrigir as deficiências do clima. A alta evapotranspiração e a baixa retenção de umidade verificada nos Latossolos são outros fatores que merecem consideração.

Na região do Planalto Central, o Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados - C.P.A.C., vem recomendando o trigo como cultura de inverno, plantando-se em maio e que coincida com o chamado período seco. Daí a necessidade de recorrer-se à irrigação. O sistema adotado e recomendado pelo Engenheiro Agrônomo Fábio de Novaes, co-orientador deste trabalho e pela sua larga experiência nos campos de Cerrados, é o método de irrigação por corrugação, que são pequenos e estreitos sulcos de infiltração no sentido do declive.

No Brasil muito pouco ou quase nada se tem feito no sentido de se conseguir dados experimentais para as condições desse método de irrigação, principalmente nos Cerrados. Pretendemos, então, com este trabalho, estimar alguns parâmetros físicos que caracterizem esse método, tais como: velocidade de infiltração, infiltração acumulada, curvas de avanço, equações características e comprimento dos sulcos, que possibilitem uma maior eficiência na utilização dos recursos d'água quando aplicados aos solos sob Cerrados, através do método de irrigação por corrugação.

REVISÃO DE LITERATURA

Irrigação por Corrugação

Os sulcos e as corrugações são semelhantes, am bos sistemas consistem em fazer escoar água por canaletes ou pe quenos sulcos, escavados no solo que dirigem o fluxo. Os sulcos são usados em pequenas declividades ou seguindo o contorno em nível e tem uma secção transversal maior. As corrugações são usa das para declividades maiores. Geralmente, correm no sentido do declive dominante e por conseqüência tem uma secção transversal menor.

ZIMMERMAN (29) tem taxado o método de irrigação por corrugação como um dos mais ineficientes. Diz o autor que este método ocupa 30% da área trabalhada. Cita ainda outras des vantagens inerentes a esse tipo de irrigação; tais como, erosão do solo e que um homem não pode irrigar mais que 0,4 hectares por dia. Para melhorar a eficiência desse método recomenda o uso de tubos janelados.

SILVA e ANDRADE (26) vêm recomendando e adotando a corrugação, baseados em observações em execução de lavouras e em parâmetros estabelecidos pelos estudos de irrigação e de solos, alguns deles com a cultura do milho e trigo realizadas na região dos Cerrados, nos últimos 8 anos, esta última durante a estação seca.

Eficiência de Irrigação

Pelos próprios princípios básicos dos métodos de irrigação de superfície é praticamente impossível se conseguir boas eficiências na distribuição da água, pois a lâmina sendo aplicada na parte mais alta do sulco até atingir o final do sul

tem-se infiltrado maior quantidade no seu extremo superior.

Vários fatores influem desfavoravelmente na eficiência de irrigação e dentre eles os mais importantes são: aplicação excessiva de água e distribuição irregular da água sobre o terreno. É possível melhorar essa eficiência escolhendo o tamanho adequado da corrugação em função da vazão máxima não erosiva e do tipo de solo.

Muitos pesquisadores têm estudado o efeito da altura da água aplicada na eficiência de irrigação.

ISRAELSEN (14) cita em seu livro o resultado de 133 experiências realizadas em Utah sobre o efeito da altura da lâmina d'água aplicada na eficiência de irrigação. Diz o autor que quando a altura da água foi superior a 25 centímetros, o rendimento máximo que se alcançou foi de 30% e o mínimo de 12%. Dos 39 ensaios realizados em um grupo de propriedades, se obteve uma média de 38%. Desses, 30 ensaios, ou seja, 77% deram valores inferiores a 50% de eficiência. Os valores que influenciaram predominantemente nos baixos rendimentos dos 30 ensaios foram: em 14, as aplicações excessivas de água, em 7, a distribuição irregular da água sobre o terreno, em 5, o conteúdo excessivo da umidade no solo antes da irrigação e nos 4 restantes, a combinação dos três fatores. Foi feito o mesmo trabalho em mais dois grupos de propriedades, o primeiro com 90 e o segundo com 16 ensaios, chegando-se às mesmas conclusões com porcentagens diferentes com relação aos fatores que causaram o baixo rendimento.

FUHRIMAN (1951) citado por RESENDE (22) diz que quando se deseja aplicar uma polegada de água ou menos ao solo, tem-se dificuldade de calcular com precisão a eficiência de aplicação da água. Isso devido a vários fatores, como: natureza aproximada do fator de correção do uso consuntivo, erro experimental envolvendo determinação da umidade, de medições e outros fatores.

WILLARDSON (27) diz que uniformidade de aplicação da água é a chave para uma alta eficiência de aplicação em

qualquer tipo de irrigação. É importante limitar a quantidade de água aplicada em função daquela que pode ser armazenada na região do sistema radicular das culturas. Diz o autor ainda, que a uniformidade de aplicação de água é difícil de ser obtida em irrigações de superfície, quando são requeridas irrigações leves, quando o solo tem alta velocidade de infiltração e quando as características do solo variam de maneira anormal.

RESENDE (23) estudou alguns parâmetros que permitam planejar uma irrigação de modo a minimizar as perdas d'água e solo, ou seja, conseguir uma otimização das eficiências de irrigação e elevar ao máximo os benefícios advindos com a irrigação técnica. Trabalhou com sulcos de infiltração em solos com 61% de argila, com uma declividade, mais ou menos de 1,5% e espaçados de 1 metro. No trabalho de Resende, todos os fluxos testados alcançaram o final dos sulcos (100m) em tempo inferior a 150 minutos, não ocorrendo o mesmo nos sulcos novos. Em seu trabalho a eficiência de distribuição aumentou com a vazão e com a lâmina aplicada. Finalmente, Resende diz que a decisão final de se reduzir ou não uma vazão vai depender da lâmina a ser aplicada, ou seja, para aplicar uma lâmina de 50 milímetros, em seu trabalho, a melhor eficiência (83%) foi obtida com vazão contínua de 1,22 litros por segundo e para aplicar 100 milímetros a melhor eficiência (81%) foi obtida com vazão inicial de 1,22 litros por segundo e reduzida para 0,33 litros por segundo após chegar ao final do sulco. O autor recomenda que para testes de irrigação em sulcos só devam ser considerados válidos, os dados obtidos a partir da segunda irrigação.

KELLER (1965) em seu trabalho citado por AZEVEDO (2) concluiu que menores eficiências se verificaram à medida em que diminuíam as lâminas de irrigação e verificou que quando se aplicou lâminas menores que 40 milímetros em sulcos, a eficiência atingiu valores inferiores a 20%.

KELLER e Mc CULLOCH (15) apresentam valores da eficiência de irrigação no método de corrugação em função da

textura do solo e da topografia. Nos valores apresentados pôde-se observar valores extremos que vão desde 20% até 65%, variando de solos arenosos e nivelamento inadequados a solos argilosos e bem nivelados, respectivamente.

OLITTA (21) estudou a eficiência de um projeto de irrigação a partir de testes de infiltração e avanço da água em sulcos, durante o período de crescimento da Crotalaria juncea (L), em sulcos de 35 e 50 metros e Glycine max (L) em sulcos de 50 e 100 metros de comprimento. O autor concluiu que:

- A variação nos valores calculados para o tempo de irrigação que afetaram a eficiência na aplicação da água pelo sistema de irrigação por sulcos de infiltração, ocorreram principalmente nos dois últimos meses da fase de desenvolvimento da cultura.
- A quantidade d'água afeta as características hidráulicas do solo.
- Há uma variação nas características hidráulicas da irrigação por sulcos de infiltração durante a fase de desenvolvimento vegetativo das culturas estudadas.

LINDERMAN e STEGMAN (18) estudando os parâmetros hidráulicos e suas influências na eficiência de aplicação em irrigação superficial, constataram que o comportamento hidráulico do sistema foi principalmente influenciado por uma velocidade de infiltração decrescente com as sucessivas irrigações. O tempo de irrigação aumentou da primeira para segunda irrigação. Esses incrementos diminuíram quase que constante próximo da quarta irrigação.

A equipe de pesquisadores do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados - CPAC (EMBRAPA) em trabalhos de experimentos realizados em solos da unidade Latossolo Vermelho Escuro, textura argilosa, visando a determinação de parâmetros para

irrigação por corrugação em sulcos de 40 metros, espaçados de 75 centímetros e com 4% de declividade, determinou eficiências de aplicação que variaram de 58% a 70%, usando uma vazão única de 0,25 l/s. RELATÓRIO TÉCNICO ANUAL DO CPAC. 1976-1977 (7).

Velocidade de Infiltração

A velocidade de infiltração de um solo e sua profundidade influem na duração do tempo de irrigação e em consequência na altura da lâmina aplicada que influi diretamente na eficiência de um projeto de irrigação.

Muitos pesquisadores analisaram esse processo físico de entrada de água no solo pela superfície do mesmo teoricamente com base na análise diferencial e praticamente no campo, considerando que a velocidade com que a água penetra no solo ou velocidade de infiltração, depende de vários fatores.

FERNANDEZ, DUQUE e PAOLONI (9) fizeram uma análise teórica da infiltração mediante um estudo da equação diferencial parcial não linear, que interpreta esse processo físico. Com base nas análises realizadas e nos resultados dos ensaios, os autores recomendam que a equação diferencial da infiltração deva ser usada para trabalhos de investigação, porém, no momento atual sua aplicação para as condições de campo é muito limitada. Para o cálculo da velocidade de infiltração básica de um solo, os autores aconselham usar o valor do tempo correspondente no ponto em que a inclinação da curva da velocidade (tangente do ângulo) tomar o valor - 0,01 no lugar de - 0,1, como se usa atualmente, e recomendam a determinação da infiltração toda vez que se fizer um projeto de irrigação, por ser esse um parâmetro fundamental no dimensionamento de sistemas por gravidade ou aspersão e no manejo da água na propriedade. Os autores, em seus estudos, aplicaram a equação empírica de Kostiaikov, $L=KT^n$ onde:

L = Lâmina total infiltrada no tempo T,
 k e n = Parâmetros a determinar com dados experimentais.

Derivando a equação acima se tem $I = nkT^{n-1}$, que é a velocidade de infiltração em centímetros por minuto. Os autores afirmam que a equação de Kostiaikov, para tempos maiores de 24 horas, vai se tornando menos exata, ou seja, à medida em que a velocidade de infiltração vai se aproximando mais do valor da condutividade hidráulica saturada do solo, a equação vai perdendo sua precisão. É por isso que o autor estabelece que sua equação somente deverá ser usada para valores da velocidade de infiltração maiores que a condutividade hidráulica saturada. Logo não é recomendável usar a equação de Kostiaikov para determinar valores da condutividade hidráulica, nem tão pouco para medir infiltração por períodos maiores de 24 horas.

CARMO (5) estudou o efeito de três tipos de cobertura vegetal na velocidade de infiltração em Latossolo Vermelho Amarelo e concluiu que os parâmetros a e n da equação universal de infiltração ($I = aT^n$) foram elevados. o parâmetro n atingiu o valor médio para todo ensaio, igual a 0,77, confirmando de acordo com estudos já realizados nos locais dos testes, a boa estabilidade estrutural dos agregados do solo, indicada pela pouca mudança de infiltração com o tempo durante o ensaio.

AZEVEDO (2) estudou o efeito do conteúdo da água inicial do solo sobre os parâmetros da equação de infiltração e comparou estatisticamente dois métodos de irrigação: sulcos abertos e sulcos fechados no final. O trabalho foi realizado em Latossolo em três declividades (0,15; 0,24 e 0,37%) e três lâminas de irrigação (30, 55 e 80mm). Nesse trabalho o autor concluiu que o coeficiente K da equação da velocidade de infiltração diminuía à medida em que aumentava o conteúdo inicial da água no solo, enquanto que o expoente n não foi afetado.

A equipe do CPAC testando a infiltração da água no solo, em Latossolo Vermelho Escuro, realizou várias repetições de testes empregando: anéis concêntricos e bacias de inun-

dação. Praticamente, não houve diferença quando se compararamos métodos de determinação. Com os anéis duplos, valores de infiltração básica, depois de três horas de infiltração se situaram entre 14 e 22cm/h, nas bacias de inundação, encontrou valores entre 10 e 20cm/h, após seis horas de testes. RELATÓRIO TÉCNICO ANUAL DO CPAC. 1976-1977 (7).

MENEZES, M. e LIMA, L.C.R. (22) analisando a velocidade de infiltração, pelo processo do anel infiltrômetro em unidade de Latossolo Vermelho Amarelo, sob diversas condições de manejo, concluíram altas velocidades de infiltração, principalmente na área arada e incorporada com palha de cana e milho. A equação da velocidade de infiltração, determinada através do K médio e n médio das três áreas estudadas foi $VI = 69,23T^{-0,322}$. O valor da velocidade de infiltração básica (18,6cm/h) foi bem maior do que os índices para solos arenosos. HILLER (13) indica índices entre 1 e 2cm/hora, WITHER e VIPOND (28) indicam índices entre 1 e 2cm/hora, WITHERS e VIPOND (28) indicam 5cm/h.

LIBARDI (17) procurando estender a teoria de REICHARDT (1972) para o estudo da infiltração vertical da água no solo, observou que o avanço da frente de molhamento foi proporcional à raiz quadrada do tempo, porém, com uma velocidade maior.

Vazão Máxima não Erosiva e Velocidade de Avanço

BARRETO (3) procurou estabelecer equações matemáticas que permitam calcular as relações entre a erosão e intensidade de avanço da água no sulco em vários tipos de solos, inclusive Latossolo Roxo. No decorrer dos testes, o autor constatou que o avanço médio da água nos sulcos, com velocidade próxima de 30 centímetros por segundo, não provocou erosão em nenhum dos solos testados.

A equipe do CPAC em seus experimentos, conforme descrito anteriormente, trabalhou com uma vazão de 0,25 litros por segundo, considerada não erosiva. Com esta vazão, verificou que na 1a. irrigação a água levou mais de 6 horas para chegar ao final do sulco (40 metros) enquanto que na 2a. irrigação ela atingiu o final em apenas 1,5 horas. RELATÓRIO TÉCNICO ANUAL DO CPAC. 1976-1977 (7).

Comprimento da Corrugação

BOOHER (4) apresenta uma tabela com vários comprimentos das corrugações em função da textura do solo e declividade. Para a declividade de 4% e solos argilosos o comprimento recomendado é 120 metros para solos profundos e 85 metros para solos pouco profundos.

BARRETO (3) recomenda comprimento de sulcos iguais ou inferiores a 80 metros, preferível 60 metros.

ZIMMERMAN (29) argumenta que na mesma área e durante a mesma estação, o comprimento ótimo da corrugação varia consideravelmente, da primeira para a segunda irrigação, como resultado das variações hidráulicas do sulco.

Propriedades Físico-Químicas dos Solos

O SERVIÇO NACIONAL DE LEVANTAMENTO E CONSERVAÇÃO DE SOLOS - SNLCS, em seu BOLETIM TÉCNICO N° 53 (8) adotou vários critérios para subdivisão das classes de solos e fases empregadas no levantamento de reconhecimento dos solos do Distrito Federal. Os solos foram separados segundo a atividade das argilas ou seja, argilas de baixa atividade, quando apresentam va

lor da capacidade de troca de cations (T) menor que 24mE por 100g de argila, de atividade alta, quando apresentam valor T maior que 24mE para 100g de argila. Foram usadas as especificações Dis-trófico para os solos que apresentam saturação de bases baixa, isto é, menor que 50% e Eutrófico para os solos com saturação de bases alta, maior que 50%.

REICHARDT (25) diz que não existe e nem pode existir um método de laboratório para determinação da capacidade de campo e argumenta que os valores dos vários métodos de laboratório que mesmo assim foram propostos, tais como valores obtidos na placa de pressão a 0,1 ou 0,3 atmosfera, nunca poderão representar a capacidade de campo medida no campo, já que esses critérios são estáticos e o processo de redistribuição é essencialmente dinâmico.

LINSLEY e FRANZINI (19) mostram uma tabela com várias características relativas à umidade em alguns tipos de solos. Para solos argilosos, a tabela indica os seguintes: 36%; 20% e $1,2\text{g/cm}^3$, respectivamente, para capacidade de campo, ponto de murcha e peso específico aparente.

WITHERS e VIPOND (28) apresentam uma tabela com resultados de testes para capacidade de campo e ponto de murcha permanente com base no peso seco do solo, indicando para solos argilosos, 45% para capacidade de campo e 30% para o ponto de murcha permanente.

ISRAELSEN (14) em estudos realizados no Vale do Sacramento, determinou para solos argilosos um valor de $1,69\text{g/cm}^3$ para o peso específico aparente.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada no período de agosto a novembro de 1978, em terrenos de propriedade da Fazenda Água Limpa, pertencente à Fundação Universidade de Brasília (UnB), situada geograficamente ao sul do Distrito Federal, conforme as coordenadas:

LONGITUDE: $47^{\circ}15'$ W.G.

LATITUDE : $15^{\circ}45'$ Sul

A altitude média é de 1030 metros acima do nível do mar.

No Planalto Central temos um clima Cwh_1 , temperado chuvoso de inverno seco, de acordo com a classificação de KÖPPEN.

Observando o QUADRO 1, podemos caracterizar o Distrito Federal apresentando uma estação chuvosa entre outubro e abril e uma estação seca, com ausência quase total de chuvas, nos meses de maio a setembro. Apresenta, também, um verão fresco e sem nenhum mês com temperatura média compensada superior a $22^{\circ}C$.

O solo da área experimental é um Latossolo de coloração vermelha amarelada, rico em sesquióxido, textura argilosa. É profundo e com pouca diferenciação entre os horizontes devido ao pequeno contraste entre os mesmos. Apresenta boa drenagem e com pouca acumulação de matéria orgânica nos horizontes superficiais.

Esquema Experimental

O experimento teve como objetivo principal a de-

QUADRO 1 - Observações meteorológicas do Distrito Federal - 1963/75

MÊS	Pressão atmosférica (mb)	TEMPERATURA DO AR (°C)			Umidade Relativa (%)	Nebulosidade (0 - 10)	Precipitação (mm)	Evaporação T. Classe A (mm)	Insolação (Horas)
		Médias das Máximas	Médias das Mínimas	Médias Compensada					
Janeiro	884,8	27,2	17,3	21,3	76	7,2	207,7	107,8	177,4
Fevereiro	884,9	25,7	17,4	21,1	79	7,3	226,9	82,3	148,5
Março	885,4	27,4	17,3	21,4	76	6,5	187,9	100,4	187,3
Abril	886,1	26,7	16,6	20,7	76	5,7	131,4	96,1	200,7
Maiο	887,7	25,7	14,6	19,3	69	4,4	37,9	120,4	241,4
Junho	888,7	25,4	13,2	18,4	62	3,3	6,8	141,5	258,2
Julho	888,9	25,1	12,6	18,1	58	3,0	10,5	169,6	266,9
Agosto	887,8	27,5	14,3	20,2	47	2,7	3,6	232,1	270,6
Setembro	886,7	28,7	16,4	21,6	51	3,7	49,5	229,7	217,3
Outubro	886,0	27,5	17,2	21,4	71	6,8	186,7	136,8	161,2
Novembro	884,3	26,5	17,3	21,0	78	7,5	270,5	97,1	150,3
Dezembro	884,4	26,4	17,2	20,9	78	7,4	255,1	95,3	154,7
	886,3	26,7	15,9	20,4	68	5,4	1574,9	1608,9	2434,5

FONTE: Instituto Nacional de Meteorologia

terminação de parâmetros para irrigação por corrugação em solos sob Cerrados. Para o estudo, escolheu-se uma área, recém desmatada, com uma inclinação de 4,2% por ser a declividade geral da região. O preparo do solo consistiu de uma roçagem pesada, enleiramento do material com ancinho mecânico, aração cortando o declive com arado de três discos. A gradagem foi feita no sentido do declive e usou-se uma grade destorroadora - niveladora, entrando, após, com uma pranchão de aroeira de 3 metros por 3 metros, rebocado por um trator médio, para aplainamento e eliminação das pequenas depressões na área.

Após o preparo do solo, construíram-se 24 sulcos no sentido do declive (4,2%), espaçamento de 0,80 metros por 100 metros de comprimento e 10 centímetros de profundidade. Nos sulcos assim preparados foram realizados os testes de infiltração e de avanço da água, segundo a metodologia proposta por CRIDDLE, DAVIS, PAIR e SHOCKLEY (6) e MERRIAN (20).

Conferiu-se a declividade com o auxílio de um nível de precisão.

Foram formados seis grupos de quatro sulcos e usaram-se diferentes vazões. Para cada teste foram utilizados quatro sulcos centrais ficando os dois laterais como bordadura. Ver FIGURA 1.

As vazões experimentadas foram de 0,43; 0,57 ; 0,65; 0,95; 1,17 e 1,44 litros por segundo, conseguidas variando-se a carga em sifões de polietileno flexível de 1 e 1^{1/2} polegadas de diâmetro.

A água utilizada no experimento foi aduzida através de uma adutora de manilhas de cerâmica de 3 polegadas de diâmetro para um tanque de 12 metros por 7 metros e 2 metros de profundidade, revestido e com uma capacidade para 132.000 litros. Com o auxílio de um conjunto motor-bomba de 7,5HP, recalcou-se para um canal revestido de seção trapezoidal com 52 e 21 centímetros nas bases e altura de 18 centímetros. Desse ca-

nal partiram-se sifões para as corrugações.

A FIGURA 1 mostra o esquema geral do experimento.

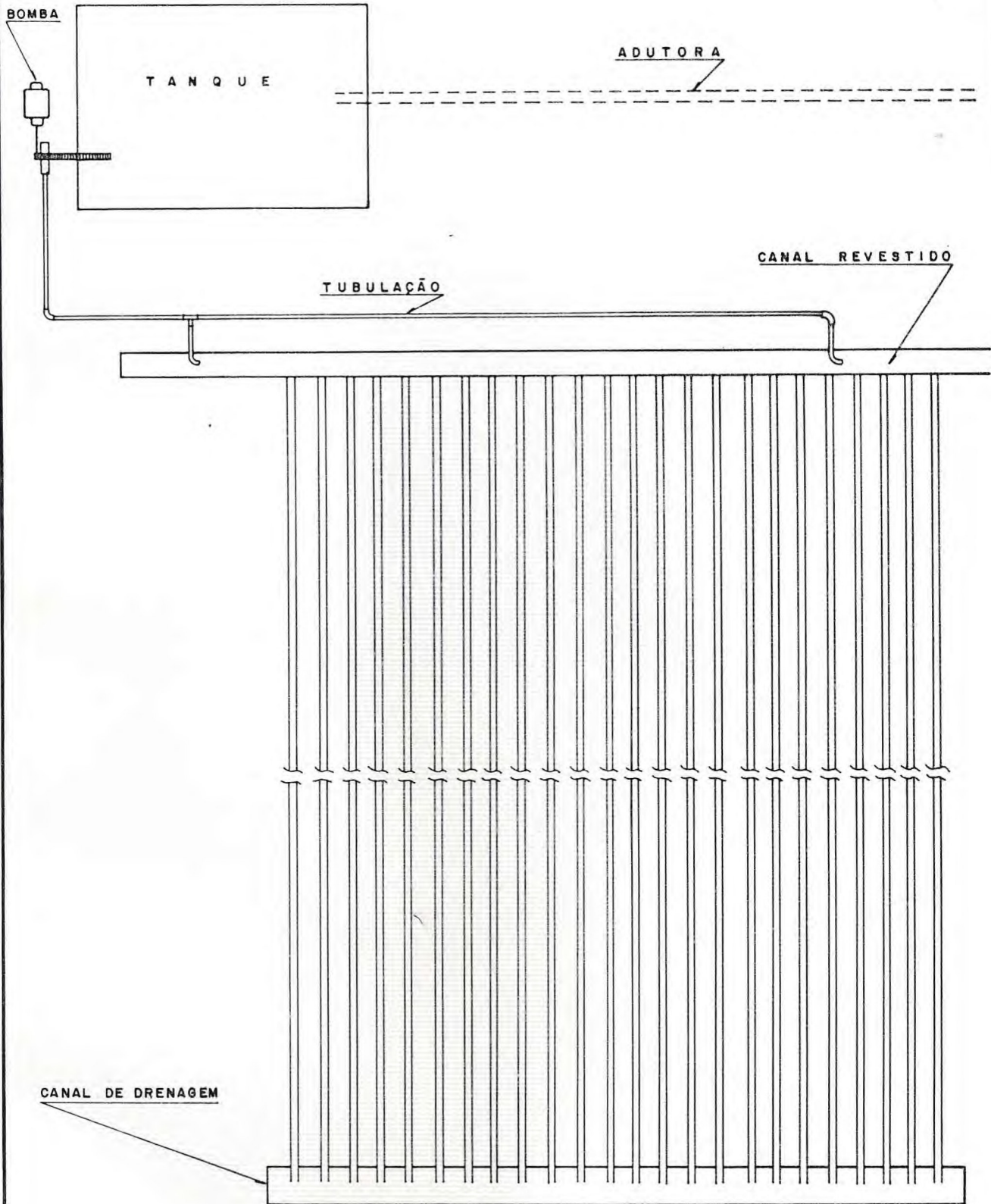
Procedimento de Campo

Coletaram-se amostras de solo da área do experimento em doze pontos e nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 centímetros, para análises químicas e físicas. As amostras foram analisadas no laboratório de solos do Departamento de Engenharia Agrícola e Edafologia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará.

A capacidade de campo foi determinada pelo método de campo onde utilizou-se um retângulo de chapa de ferro de 1,40 metros por 0,70 metro. No campo instalaram-se dois retângulos em dois locais diferentes A e B, e procedeu-se à determinação da umidade das três profundidades citadas anteriormente em cada local e em intervalos de um dia, num total de doze dias. Considerou-se o valor médio das três profundidades no décimo segundo dia, quando a umidade se tornou quase constante.

Os dados para velocidade de infiltração foram determinados pela diferença da vazão de entrada e de saída para o período de tempo de realização do teste, considerando-se a área limitada pelo espaçamento e comprimento do sulco. A determinação da velocidade de infiltração foi feita para todos os grupos utilizando-se quatro sulcos e coletando os dados apenas nos dois centrais, servindo os outros dois de bordadura. No início do sulco, utilizou-se sifão de polietileno preto para medição da vazão e no final mediu-se volumetricamente.

De cada um dos ensaios no campo obtiveram-se os dados da infiltração em litros por segundo por 50 metros de sulco, que através do relacionamento com a área indicada pelo espaçamento e comprimento do sulco foi transformada em milímetros



GRUPO - 3	GRUPO - 5	GRUPO - 4	GRUPO - 1	GRUPO - 2	GRUPO - 6
$h = 32 \text{ cm}$	$h = 19 \text{ cm}$	$h = 14 \text{ cm}$	$h = 15 \text{ cm}$	$h = 25 \text{ cm}$	$h = 25 \text{ cm}$
$Q = 0,65 \text{ l/seg.}$	$Q = 1,17 \text{ l/seg.}$	$Q = 0,95 \text{ l/seg.}$	$Q = 0,43 \text{ l/seg.}$	$Q = 0,57 \text{ l/seg.}$	$Q = 1,44 \text{ l/seg.}$
$\phi = 1''$	$\phi = 1 \frac{1}{2}''$	$\phi = 1 \frac{1}{2}''$	$\phi = 1''$	$\phi = 1''$	$\phi = 1 \frac{1}{2}''$

FIGURA 1. ESQUEMA GERAL DO EXPERIMENTO

ESCALA - 1:200

por hora.

A determinação da equação da velocidade de infiltração (I) e da infiltração acumulada (D) consiste em encontrar os valores de \underline{c} e \underline{m} mediante uma análise dos dados experimentais utilizando o método dos mínimos quadrados, CRIDDLE et al., (6) e MERRIAN (20).

Para o controle do avanço da água no sulco, dividiu-se cada sulco em espaços de 10 metros (Estações), sendo que a primeira estaca (Estação 0) estava a dois metros da cabeceira. A partir do momento em que a água passava pela estaca 0, cronometrava-se o tempo gasto pela mesma para percorrer cada espaço. Assim sendo, nos dois sulcos centrais foram realizadas duas séries de coletas de dados para o avanço de água no sulco, a primeira em sulcos novos e a segunda, depois que toda a área foi molhada uniformemente (sulcos usados).

Os testes foram realizados em terrenos sem culturas, porém com bastantes raízes remanescentes da vegetação limpa dois meses antes do início dos testes.

Procedimento de Gabinete

Pelo método gravimétrico determinou-se a umidade do solo, antes da irrigação e vinte e quatro horas depois das amostras tiradas a 0-20, 20-40 e 40-60 centímetros de profundidade em quatro pontos ao longo dos dois sulcos centrais e em cada grupo.

Foi, ainda, determinada a umidade de cada amostra nas tensões de 0,1; 0,3; 0,7; 1,0; 4,0; 7,0; 10,0 e 15,0 atmosferas, segundo o método descrito por RICHARDS (24). Com base nos dados confeccionou-se a curva de retenção de umidade. Tomou-se a média das doze amostras em cada tensão.

Calculou-se o ponto de murcha permanente pelo mé

todo fisiológico utilizando plantinhas de feijão (Phaseolus vulgaris L.)

Determinou-se a densidade real em doze pontos nas profundidades de 0-20; 20-40 e 40-60 centímetros, usando balão volumétrico e utilizando álcool etílico, completando-se o volume para 50 mililitros. Para a densidade aparente tomou-se em três pontos e nas mesmas profundidades, utilizando o método do frasco de areia, empregando areia de densidade igual a 1,3 gramas por centímetros cúbicos.

No laboratório realizaram-se as seguintes determinações químicas: reação do solo, condutividade elétrica, carbono, nitrogênio, matéria orgânica, fósforo assimilável, porcentagem de sódio trocável, cálcio, magnésio, potássio, enxofre e alumínio. As determinações foram feitas para todas as amostras nas três profundidades.

A reação do solo foi determinada a partir do extrato de saturação do solo mediante um potenciômetro pH meter E 520 - METRHM HERISAN. A condutividade elétrica também a partir desse extrato mediante o emprego de uma ponte de condutividade de Wheatstone.

Achou-se conveniente conhecer os valores da matéria orgânica, já que esta influi diretamente na capacidade de infiltração da água no solo, retenção de umidade e que a área onde foi realizado o experimento nunca foi antes cultivada.

Calculou-se a equação da velocidade de infiltração, segundo a fórmula empírica descrita por KOSTIAKOV.

$$I = cT^m, \text{ sendo } C = 60 \text{ nk e } m=n-1, \text{ onde}$$

I - Velocidade de infiltração instantânea em milímetros por hora

k - Constante igual à velocidade na unidade de tempo T

n - Declividade da reta

T - Tempo de permanência da água no sulco em minutos.

Essa equação é a derivada da equação de infiltração acumulada $D = KT^n$ em milímetros, como uma função do tempo.

Para a determinação dos parâmetros C e m, utilizou-se o método dos mínimos quadrados, conforme CRIDDLE et al (6) e MERRIAN (20), ou seja:

$$m = \frac{\epsilon \log T \cdot \log I - \frac{(\epsilon \log T)(\epsilon \log I)}{N}}{\epsilon (\log T)^2 - \frac{(\epsilon \log T)^2}{N}}$$

$$\log c = \bar{I} - m\bar{T}$$

Em papel di-logarítmico traçaram-se os gráficos da velocidade de infiltração e infiltração acumulada, colocando-se os valores em milímetro por hora e em milímetro, respectivamente, no eixo das ordenadas. O tempo acumulado em minutos no eixo das abscissas.

A partir dos dados de densidade aparente, capacidade de campo e ponto de murcha, determinou-se a quantidade d' água a ser aplicada, através da expressão:

$$h_1 = \frac{(Cc - Pmp)}{100} da.p \quad \text{sendo,}$$

$$h_1 = \text{lâmina líquida (mm)}$$

$$Cc = \text{capacidade de campo (\%)}$$

$$Pmp = \text{ponto de murcha permanente (\%)}$$

$$da = \text{peso específico aparente (g/cm}^3\text{)}$$

$$p = \text{profundidade do solo (mm)}$$

Adotou-se uma freqüência de irrigação de modo que seja utilizado somente 50% do intervalo de água disponível no solo. Então:

$$h_2 = 0,50h$$

Em que h_2 é a lâmina de irrigação armazenada.

Com a lâmina de irrigação (h_2) e curva de infiltração acumulada do sulco, determinou-se o tempo de irrigação para essa lâmina.

O tempo total de irrigação é a soma do tempo de avanço e do tempo de irrigação.

$$T = T_{av} + T_{irr}$$

Com a curva de avanço para sulcos usados (2º irrigação), tirou-se o tempo de irrigação necessário para a água alcançar o final do sulco.

Utilizando a curva de infiltração e com base no tempo em que a água permaneceu na cabeceira e no final do sulco, calculou-se a eficiência de distribuição, como uma relação entre a lâmina mínima infiltrada no solo e a lâmina média aplicada, assim:

$$E_d = \frac{L_{min}}{\frac{L_b + L_{min}}{2}} 100$$

Onde,

E_d = Eficiência de distribuição.

L_{min} = Lâmina mínima infiltrada.

L_b = Lâmina total.

A eficiência de aplicação diz quanto da lâmina total aplicada estará em disponibilidade para as plantas, para tanto, precisou-se considerar o tempo de funcionamento da irrigação, vazão utilizada e área do sulco.

A eficiência de aplicação é, então, dada pela relação entre a lâmina incorporada em disponibilidade para as

plantas e lâmina total aplicada.

$$Ea = \frac{Ltd}{Lta} 100$$

A lâmina total aplicada é dada por,

$$Lta = \frac{T \cdot Q}{L \cdot E}$$

Onde,

T = Tempo total de irrigação em minutos.

Q = Vazão em litros por minuto.

L = Comprimento do sulco em metros.

E = Espaçamento do sulco em metros.

Lta = Lâmina total aplicada em milímetros ou li
tros por metro quadrado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo resultados e discussão são apresentados em três diferentes tópicos: Propriedades físico-químicas do solo, lâmina de irrigação, eficiência de irrigação.

Propriedades Físico-Químicas do Solo

Distribuição do tamanho das partículas, classificação textural, densidade e caracterização química apresentam-se nos QUADROS 5 a 8 do APÊNDICE A.

As porcentagens médias de argila, silte e areia, nesta ordem, 46,5; 32,5 e 20,8% para a profundidade de 0-20 metros; 53,4; 25,7 e 16,4% para 20-40 metros e 66,4; 20,0 e 13,6%, dão uma classificação textural do solo como argila, argila e argila pesada, respectivamente. Segundo LEMOS e SANTOS (16).

As características deste solo apresentadas nos QUADROS 5 a 8 do APÊNDICE A demonstram que há baixa toxidez de alumínio, são fortemente ácidos e a percentagem média de saturação de bases (V) é baixa, isto é, menor que 50%, demonstrando alta lixiviação de bases. Apresentam um baixo valor da soma das bases trocáveis (S) e baixa capacidade de troca de cations (T), ou seja, menor que 24mE por 100g de argila, o que indica uma baixa atividade das argilas. Baseando nos parâmetros definidos pelo BOLETIM TÉCNICO Nº 53 do SNLCS (8).

Com base nas afirmações de REICHARDT (25), e considerando que o processo de medição direta da capacidade de campo é o que se afigura ser mais preciso, optou-se por esse método. Considerou-se como limite superior de água que o solo pode reter, o valor médio de 34,5% com relação ao peso do solo seco, no momento em que a umidade se apresentava quase constante, co-

mo pode ser observada na FIGURA 2 do APÊNDICE B. Como limite inferior de água disponível no solo, (Ponto de murcha permanente) tomou-se o valor médio 24%, também, com base o peso de solo seco.

Observando-se os valores das umidades, ver FIGURA 3 do APÊNDICE B, obtidos em laboratório, quando as amostras foram submetidas às tensões de 0,1 e 0,3 atmosfera, nota-se que os dados obtidos no campo se aproximaram dos dados obtidos no laboratório na tensão de 0,1 atmosfera e diferindo com relação a tensão de 0,3 atmosfera, nas três profundidades. Determinando-se o valor médio da umidade na tensão de 0,1 atmosfera para as três profundidades, encontra-se o valor 34,3% que é muito próximo do valor médio obtido no campo.

Com relação à densidade aparente os resultados para as profundidades experimentadas foram respectivamente: 0,95; 0,84 e 0,92 gramas por centímetro cúbico. Foi excluída a profundidade de 40-60 centímetros em um dos locais por apresentar concreções de óxido de ferro (sesquióxidos). Para os cálculos utilizou-se o valor médio das três profundidades e dos três locais, igual a 0,9 gramas por centímetros cúbicos. Segundo LINSLEY e FRANZINI (19) e ISRAELSEN (14) este valor é baixo para solos argilosos, o que indica um solo de alta percentagem de porosidade total, explicado, talvez, pela presença de sesquióxidos dispersos na área experimental.

Nas FIGURAS 4 e 5 do APÊNDICE B são mostradas as curvas da velocidade de avanço da água nos sulcos novos (1a. irrigação) e sulcos usados (2a. irrigação) para as seis vazões experimentadas. Observando-se a FIGURA 4 do APÊNDICE B, vê-se que o fluxo demorou um pouco mais que seis horas para atingir 40 metros de sulcos, com a vazão de 0,43 litros por segundo, quase o mesmo tempo foi encontrado com a vazão de 0,57 litros por segundo para atingir 50 metros de sulcos. Com a vazão de 0,65 litros por segundos foram necessários, quase quatro horas para o fluxo atingir 60 metros de sulcos. Já na segunda irrigação, ver

FIGURA 5 do APÊNDICE B, esse tempo baixou para aproximadamente duas horas nos dois primeiros casos e uma hora no segundo, para percorrer as mesmas distâncias. O que indica uma velocidade média de 0,6 centímetros por segundo para aquelas duas primeiras vazões e 1,7 centímetros por segundo para a terceira vazão, velocidades que não causaram erosão. Deduzindo, portanto, a vazão máxima não erosiva como sendo 0,65 litros por segundo. As demais vazões, causaram grandes erosões ao longo dos sulcos.

Os índices encontrados das velocidades de avanço estão de acordo com os resultados da equipe do CPAC (7) é bem mais baixo que aqueles encontrados por BARRETO (3).

Os dados da velocidade de infiltração coletados no campo, ver QUADROS 9 a 14 do APÊNDICE A, quando plotados em papel milimetrado, seguem uma curva que segundo KOSTIAKOV apresenta uma equação empírica da forma $I = CT^m$. Aplicando-se logaritmo a esta equação, obtém-se uma equação da reta.

Partindo-se, então, da equação na forma linear e aplicando-se as fórmulas dos mínimos quadrados, obteve-se as equações da velocidade de infiltração e em função desta, as equações da infiltração acumulada, apresentadas no QUADRO 2. Os cálculos estão no APÊNDICE C.

QUADRO 2 - Equações da velocidade de infiltração e infiltração acumulada em função da vazão

Vazão (e/s)	Velocidade de Infiltração (mm/h)	Infiltração Acumulada (mm)
0,43	$I = 49,82968T^{-0,0463448}$	$D = 0,8708542T^{0,9536552}$
0,57	$I = 50,60302T^{-0,038648}$	$D = 0,8772891T^{0,961352}$
0,65	$I = 57,44931T^{-0,0383254}$	$D = 0,9956475T^{0,09616741}$
0,95	$I = 94,47864T^{-0,2449967}$	$D = 2,085612T^{0,8357672}$
1,17	$I = 98,86525T^{-0,1642328}$	$D = 1,9715468T^{0,8357672}$
1,44	$I = 111,8989T^{-0,2204194}$	$D = 2,4349395T^{0,7795806}$

Essas equações foram traçadas em papel log-log , FIGURAS 6 a 11 do APÊNDICE B, que comparando com os valores da velocidade de infiltração determinados no campo, observou-se uma uniformidade dos dados. Exceções para as curvas, relativas às vazões 0,95 e 1,44 litros por segundo, que apresentaram grandes variações após 10 minutos de teste. Após esse tempo a frente de molhamento tem atingido os primeiros 20 centímetros de profundidade do solo que em alguns locais da área apresentaram concreções nessa profundidade.

À vista das equações calculadas viu-se que nas condições em que foram determinadas, a infiltração não diferiu dos valores calculados pela equipe da EMBRAPA - CPAC (7). Quando utilizou-se uma vazão de 0,43 litros por segundo e 4,2% de declividade, o solo absorveu uma lâmina de 41,1 milímetro de água após 60 minutos de aplicação, enquanto que o solo observado nos experimentos do CPAC , absorveu 50,1 milímetros após 60 minutos de aplicação, em declividade menor que a considerada em nossos experimentos.

O Latossolo Vermelho Amarelo estudado possui alta percentagem de argila, conforme QUADROS 7 a 8 , do APÊNDICE A, onde a argila floculada forma agregados altamente estáveis devido a presença maciça de matéria orgânica e hidróxido de ferro presentes nesses solos, dando assim condições físicas propícias a altos valores da infiltração e conseqüentemente menores velocidades de avanço, diminuindo, então, os perigos de erosão.

Lâmina de Irrigação

É importante o cálculo da capacidade de água que o solo pode reter, ou seja, a diferença entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente, pois a altura da lâmina de

água que é aplicada em cada irrigação e o intervalo entre cada duas irrigações consecutivas são conseqüências da capacidade de retenção da água no solo.

A irrigação por corrugação é utilizada em culturas extensivas como pastagens, arroz, trigo e outras, plantadas em alta densidade por unidade de área. A maioria dessas culturas apresenta um sistema radicular relativamente superficial, em média com 50 centímetros de profundidade. Neste trabalho, para o cálculo da quantidade d'água a ser aplicada, tomou-se essa profundidade.

Com base nos dados da capacidade de água que o solo pode reter, densidade aparente e profundidade média do sistema radicular, calculou-se a altura da lâmina a ser aplicada, 47,25 milímetros de água. Utilizou-se somente 50% do intervalo de água disponível no solo para as plantas, ou seja, 23,63 milímetros.

Eficiência de Irrigação

Os resultados obtidos da seqüência de todas essas determinações físicas mais lâmina de irrigação, proporcionaram subsídios para a escolha da vazão máxima não erosiva e comprimento do sulco para uma maior eficiência de irrigação, principal objeto deste trabalho.

Os parâmetros para avaliação do sistema de irrigação por sulcos são os seguintes: eficiência de distribuição, eficiência de aplicação e eficiência de irrigação, MERRIAM (17).

A irrigação ideal é aquela em que se consegue molhar toda área uniformemente em toda zona do sistema radicular das culturas. Assim conseguimos economizar água e evitamos o perigo de salinidade que poderia causar, em regiões áridas, o ex-

cesso d'água perdido por percolação profunda.

Com o valor da lâmina d'água, ou seja, 23,63 milímetros, na curva de infiltração acumulada para a vazão de 0,43 ℓ/s , FIGURA 6 do APÊNDICE B, encontrou-se o tempo de irrigação para incorporar essa lâmina igual a 31,8 milímetros. Em função da FIGURA 5 do APÊNDICE B, determinou-se o tempo necessário para a água alcançar o final do sulco, ou seja, 116,5 minutos. Adicionando-se o tempo de irrigação com o tempo de avanço, determinou-se o tempo total de irrigação que pela FIGURA 6 do APÊNDICE B, encontrou-se a lâmina d'água que se infiltrou no início do sulco, igual a 102,4 minutos.

Seguindo a mesma metodologia determinou-se esse parâmetro para todas as vazões experimentadas, conforme o QUADRO 3.

QUADRO 3 - Lâmina d'água infiltrada no início do sulco em função da vazão e tempo total de irrigação.

Vazão (ℓ/s)	Tempo de Irrigação (min)	Tempo de avanço (min)	Tempo Total (min)	Lâmina Infiltrada (mm)
0,43	31,8	116,5	148,3	102,4
0,57	30,7	102,0	132,7	96,4
0,65	26,9	52,5	79,4	66,9
0,95	24,9	47,0	71,9	52,6
1,17	19,5	15,0	34,5	38,0
1,44	18,4	8,0	26,4	31,2

Em função desses dados, determinou-se a eficiência de distribuição e de aplicação, conforme mostra o QUADRO 4.

QUADRO 4 - Eficiência de distribuição e aplicação em função da vazão.

Vazão (l/seg)	Eficiência (%)	
	Distribuição	Aplicação
0,43	38	20
0,57	39	25
0,65	52	37
0,95	62	32
1,17	76	78
1,44	86	83

Como a eficiência de irrigação é função da espécie cultural, pois é a relação entre a água de irrigação consumida pelas culturas de uma fazenda irrigada durante o período de crescimento e a água desviada da fonte de abastecimento para os canais do sistema de irrigação durante o mesmo período de tempo, ISRAELSEN (13), não foi calculada, já que trabalhamos com terreno sem cultura.

Podemos observar no QUADRO 4 que maiores eficiências se conseguiram com maiores vazões, pois teremos menos tempo para que a água se infiltre no início do sulco. Esse resultado concorda com as observações feitas por RESENDE (23).

O baixo resultado de 20% na eficiência de aplicação deve-se à pequena lâmina aplicada. Nos trabalhos de ISRAELSEN (14) a pequena lâmina d'água aplicada levou esta eficiência a valores abaixo de 20%.

Outro motivo pelo qual grandes vazões implicaram em altas eficiências de aplicação deve-se, principalmente, ao fato de diminuir as influências da micro-topografia do terreno em função da maior velocidade de avanço pelas maiores vazões ,

enquanto que vazões menores tenderam a se acumular nas pequenas depressões decorrentes de um nivelamento imperfeito.

A FIGURA 12 do APÊNDICE B mostra esquematicamente o perfil de distribuição da umidade do solo para todas as vazões testadas, como uma relação entre o tempo de irrigação e lâmina d'água.

Com o objetivo de se acompanhar a lâmina aplicada determinou-se antes de cada teste e vinte e quatro horas depois a umidade do solo, pelo método padrão da estufa (método gravimétrico), segundo amostras tiradas a 0-20; 20-40 e 40-60 centímetros de profundidade em quatro pontos ao longo dos dois sulcos centrais e em cada grupo. O QUADRO 15 do APÊNDICE A mostra os resultados.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Considerando-se os resultados apresentados e discutidos, pode-se chegar às seguintes conclusões e recomendações:

1. Maiores eficiências se conseguiram com maiores vazões, entretanto, essas vazões provocaram grandes erosões ao longo do sulco.
2. Vazões maiores que 0,65 litros por segundo, para as condições do experimento são desaconselháveis, pois, embora com maiores eficiências causaram grande erosão.
3. A decisão final com relação a vazão a se tomar está no grau de erosão que o técnico considerar prejudicial, isso em função das condições locais.
4. As vazões de 0,43; 0,57 e 0,65 ℓ/s não apresentaram variações na velocidade de infiltração, esta se manteve quase constante, enquanto que nas vazões de 0,95; 1,17 e 1,44 ℓ/s houve grande variação, devido, talvez, pelo fato de que grandes fluxos carregam maior quantidade de material fechando os macroporos do solo.
5. Constatou-se uma diminuição da velocidade de infiltração da primeira para a segunda irrigação.
6. As observações indicaram que comprimento de sulco entre 60 e 80 metros são aconselháveis para as condições do experimento.

7. Recomenda-se frequência de irrigação com intervalos menores de seis dias, isso para as condições de Cerrados, mesmo que a retenção de umidade permita maiores frequências, pois assim manteremos um solo mais agregado e com menos riscos de erosão.
8. Os parâmetros físicos determinados para Latossolos Vermelhos Amarelos não diferiram dos parâmetros determinados pelo Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados - CPAC, em Latossolos Vermelhos Escuros.

O método de irrigação por corrugação é uma prática viável para o Planalto Central, isso considerando-se sua topografia relativamente plana e fontes hídricas geralmente em lugares altos, dando condições à irrigação por gravidade.

Seria importante o aperfeiçoamento e ou a continuação desta pesquisa em Latossolos Vermelho Escuro em região de Cerrados e em outras declividades, aumentando assim subsídios que permitam planejar uma irrigação eficiente.

LITERATURA CITADA

- 1) ALVIN, P. de T. e ARAUJO, W.A. - El suelo como factor ecológico en el desarrollo de la vegetation en el centro-oeste del Brasil. Turrialba (Costa Rica), 2(4): 153-160.
- 2) AZEVEDO, H.M. - Características da infiltração em sulcos abertos e fechados. Campina Grande (PB). Universidade Federal da Paraíba, 1975. Tese de mestrado. 56 p.
- 3) BARRETO, G.B. - Avanço da água e intensidade de infiltração em sulcos de irrigação. Campinas (SP). Universidade de São Paulo, 1971. Tese de doutorado. 96 p.
- 4) BOOHER, L.J. - El reigo superficial. Roma. FAO. 1974. P. 140-144.
- 5) CARMO, G.F. do - Efeito de três tipos de cobertura vegetal sobre a velocidade de infiltração básica (VIB). Viçosa (MG). Universidade Federal de Viçosa, 1976. Tese de Mestrado. 29 p.
- 6) CRIDLLE, W.D.; DAVIS, S.; PAIR, C.H. e SHOCKLEY, D.G. - Méthods for evaluating irrigation systems. Washington. Soil Conservation Service, U.S.D.A., 1956. 23p. (Agriculture Handbook nº 82).
- 7) EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - Projeto aproveitamento dos recursos de solo/clima/planta nos cerrados. Relatório Técnico Anual do C.P.A.C., 1976-1977, Planaltina (DF), 2:97-105. 1978.
- 8) EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - Levantamento de reconhecimento dos solos do Distrito Federal. Rio de

Janeiro. SNLCS, 1978. p. 58, 160. (Boletim Técnico nº 53)

- 9) FERNANDEZ, P.C.; LUQUE, J.A. e PAOLONI, J.D. - Analisis de la infiltracion y su aplicacion para diseños de riego en el valle inferior del Rio Colorado. Rev. de Investigaciones Agropecuarias, INTA. Buenos Aires. 8(1): _____ - _____ .1971.
- 10) FERRI, M.G. - Ecologia dos Cerrados. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 4. São Paulo, 1977. p. 15-36.
- 11) FRANZ, P.R.F. - Balanço hídrico na bacia de Serra Azul MG. visando ao desenvolvimento agropecuário em cerrados. Porto Alegre. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1977, Tese de Mestrado. 150p.
- 12) FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - Estrutura da exploração agropecuária. Anuário Estatístico do Brasil, Rio de Janeiro, 39:323-340. 1978.
- 13) HILLEL, D. - Solo e água: fenômenos e princípios físicos. Porto Alegre. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1970. p. 114-129.
- 14) ISRAELSEN, O.W. - Principios y practica del riego. Barcelona - Buenos Aires-México, Editorial Reverté S.A., 1963. p. 192-193.
- 15) KELLER, J. e MAC CULLOCH, A.W. - Ames imigation handbook. California. W.R. Company. 1962. Section II.
- 16) LEMOS, R.C. de, e SANTOS, R.D. dos - Manual de Métodos de Trabalho de campo. São Paulo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 1976. 36p.

- 17) LIBARDI, P.L. - Infiltração da água do solo: uma generalização. Piracicaba (SP). Universidade de São Paulo, _____. Tese de Mestrado. 45p.
- 18) LINDERMAN, C.L. e STEGMAN, E.C. - Seasonal variation of hydraulic parameters and their influence upon surface irrigation application efficiency. Transactions of the ASAE. Michigan, 14 (5): 914-918, 1971.
- 19) LINSLEY, R.K. e FRAZINI, J.B. - Engenharia de recursos hídricos. São Paulo. Editora da Universidade de São Paulo. 1978, p. 467-470.
- 20) MERRIAN, J.L. - Irrigation system evaluation and improvement. Califórnia, Blake Printery, 1968. 57p.
- 21) OLITA, A.F.L. - Estudo de infiltração da água em sulcos de irrigação: variação de características hidráulicas com o crescimento de plantas. Piracicaba (SP). Universidade de São Paulo, 1970. Tese de doutorado. 75p.
- 22) OLIVEIRA, M.M.G. e LIMA, L.C.R. - Análise da velocidade de infiltração em solo Latossolo Vermelho Amarelo sob condições diversas de manejo. Brasília. 1980. 27p (Não publicado).
- 23) RESENDE, M. - Eficiência de irrigação em sulco com variação da vazão inicial. Porto Alegre (RS). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1972. Tese de mestrado. 56p.
- 24) RICHARDS, L.A. - Pressure-membrane apparatus construction and use. Agr. Engin. Illus. 28:451-454, 460, 1947.
- 25) REICHARDT, K. - Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera. São Paulo. Fundação CARGILL/CENA/UPS.

1976. 286p.

- 26) SILVA, A.R. da e ANDRADE, J.M.V. - A cultura do trigo nas várzeas de Minas Gerais: possibilidades e dificuldades. Brasília. EMBRAPA/CPAC. 1979. (Circular Técnica nº 2).
- 27) WILLARDSON, L.S. - Attainable irrigation efficiencies. Journal of Irrig. and Lren. ASCE. New York, 98 (IR2):239-246. 1972.
- 28) WITHERS, B. e VIPON, S. - Irrigação: projeto e prática. São Paulo. Editora Pedagógica e Universitária Ltda. 1977. p. 68.
- 29) ZIMMERMAN, J.P. - El riego. México. Compañia Editorial Continental S.A. 1970. p. 139-165.

A P Ê N D I C E A

QUADRO 5 - Análise física e química do solo

PROPRIEDADE	Unidade	A m o s t r a N º		
		550	551	552
		P r o f u n d i d a d e (cm)		
		0 - 20	20 - 40	40 - 60
* Granulometria	%	9,2-12,4-38,6-39,8	5,8-8,5-23,4-62,3	4,1-7,5-19,3-69,1
C. Textural	-	Franco Argilosa	Argila Pesada	Argila Pesada
D. Real	g/cm ³	2,44	2,45	2,52
** Umidade	%	31,7 - 24,0	29,3 - 24,6	31,7 - 24,8
pH na Água	-	5,80	5,20	4,90
CE a 25°C	mmhos/cm	0,15	0,15	0,10
Carbono	%	2,62	1,75	1,41
Nitrogênio	"	0,12	0,08	0,06
Matéria Orgânica	"	4,51	3,02	2,43
Sódio	"	0,31	0,30	0,24
Relação C/N	-	21,00	25,00	22,00
Fósforo Assimilável	mg/100g	0,00	0,03	0,00
Ca ⁺⁺	mE/100g	3,00	1,40	1,10
Mg ⁺⁺	"	2,60	1,70	1,30
K ⁺	"	0,07	0,05	0,03
Na ⁺	"	0,04	0,03	0,02
SOMA (S)	"	5,71	3,18	2,45
H ⁺ + Al ³⁺	"	7,26	6,76	5,77
TOTAL (T)	"	12,97	9,94	8,22
Al ³⁺	"	0,04	0,11	0,06
100 S/T = V	%	44,00	32,00	30,00

* Areia Grossa, Areia Fina, Silte e Argila

** 1/3 Atmosfera e 15 Atmosfera

QUADRO 6 - Análise física e química do solo

PROPRIEDADE	Umidade	A m o s t r a N°		
		553	554	555
		P r o f u n d i d a d e (cm)		
		0 - 2 0	20 - 40	40 - 60
* Granulometria	%	6,4-10,3-30,2-53,1	8,1-11,8-33,0-47,1	7,4-9,0-24,0-59,6
C. Textural	- ³	Argila	Argila	Argila
D. Real	g/cm ³	2,57	2,51	2,57
** Umidade	%	32,5 - 23,8	29,3 - 23,3	34,1 - 24,7
pH na Água	-	4,80	4,70	4,70
CE a 25°C	mmhos/cm	0,15	0,20	0,10
Carbono	%	2,56	2,19	1,38
Nitrogênio	u	0,12	0,08	0,06
Matéria Orgânica	u	4,42	3,79	2,38
Sódio	u	0,24	0,22	0,24
Relação C/N	-	20,00	28,00	23,00
Fósforo Assimilável	mg/100g	0,04	0,13	0,00
Ca ++	mE/100g	1,20	1,00	1,20
Mg ++	u	1,80	1,10	1,00
K +	u	0,09	0,06	0,04
Na+	u	0,03	0,02	0,02
SOMA (S)	u	3,12	2,18	2,26
H ⁺ + Al ³⁺	u	9,24	6,76	5,94
TOTAL (T)	u	12,36	8,94	8,20
Al ³⁺	u	0,24	0,10	0,04
100 S/T = v	%	25,00	24,00	28,00

* Areia Grossa, Areia Fina, Silte e Argila

** 1/3 Atmosfera e 15 Atmosfera.

QUADRO 7 - Análise física e química do solo

PROPRIEDADE	Unidade	A m o s t r a N.º		
		556	557	558
		P r o f u n d i d a d e s (cm)		
		0 - 20	20 - 40	40 - 60
* Granulometria	%	7,7-9,1-26,6-56,6	5,9-7,5-19,4-67,2	4,4-7,8-17,4-70,4
C. Textural	-	Argila	Argila Pesada	Argila Pesada
D. Real	g/cm ³	2,53	2,51	2,51
** Umidade	%	31,6 - 23,8	29,1 - 24,1	31,5 - 24,9
pH na Água	-	4,60	4,50	4,70
CE a 25°C	mmhos/cm	0,15	0,20	0,05
Carbono	%	2,46	1,63	1,29
Nitrogênio	"	0,12	0,07	0,06
Matéria Orgânica	"	4,24	2,81	2,22
Sódio	"	0,34	0,33	0,53
Relação C/N	-	20,00	21,00	21,00
Fósforo Assimilável	mg/100g	0,04	0,13	0,04
Ca ⁺⁺	mE/100g	1,10	1,20	1,00
Mg ⁺⁺	"	1,20	1,20	1,00
K ⁺	"	0,08	0,06	0,04
Na ⁺	"	0,04	0,03	0,04
SOMA (S)	"	2,42	2,49	2,08
H ⁺ + Al ³⁺	"	9,40	6,60	5,44
TOTAL (T)	"	11,82	9,09	7,52
Al ³⁺	"	0,38	0,10	0,06
100 S/T = V	%	20,00	27,00	28,00

* Areia Grossa, Areia Fina, Silte e Argila

** 1/3 Atmosfera e 15 Atmosfera

QUADRO 8 - Análise física e química do solo

PROPRIEDADE	Unidade	A m o s t r a N°		
		559	560	561
		P r o f u n d i d a d e (cm)		
		0 - 20	20 - 40	40 - 60
* Granulometria	%	13,4-14,8-34,7-37,1	8,6-9,3-26,9-55,2	6,2-7,9-19,2-66,7
C. Textural	-	Franco Argiloso	Argila	Argila Pesada
D. Real	g/cm ³	2,58	2,50	2,54
** Umidade	%	31,7 - 23,6	28,8 - 24,0	29,9 - 24,2
pH na Água	-	4,70	4,50	4,80
CE a 25°C	mmhos/cm	0,15	0,15	0,10
Carbono	%	2,21	1,77	1,48
Nitrogênio	"	0,12	0,09	0,06
Matéria Orgânica	"	3,81	3,05	2,55
Sódio	"	0,25	0,31	0,51
Relação C/N	-	19,00	20,00	25,00
Fósforo Assimilável	mg/100g	0,26	0,00	0,00
Ca	mE/100g	1,30	0,90	1,00
Mg	"	1,20	1,00	1,00
K	"	0,09	0,08	0,05
Na	"	0,03	0,03	0,04
SOMA (S)	"	2,67	2,01	2,09
H + Al ³⁺	"	9,24	7,59	5,77
TOTAL (T)	"	11,91	9,60	7,86
Al ³⁺	"	0,31	0,15	0,06
100 S/T = V	%	22,00	21,00	27,00

* Areia Grossa, Areia Fina, Silte e Argila

** 1/3 Atmosfera e 15 Atmosfera

QUADRO 9 - Velocidade de Infiltração

Local: F.A.L.

Altura Manometrica: h = 15cm

Comp. Sulco: 40m

Sifão Ø = 1"

Data: 01/09/78

Espaç. Sulco: 0,80m

Medições: Estaca 0, com sifão

Vazão: $Q_1 = 0,43$ l/s

Cond. Sulco: Novos

Estaca 5, volumetricamente

Declividade = 4,2%

G R U P O Nº 1

Sulco A						Sulco B					
HORA	Tempo Acumu lado. (min)	Estação 0	Estação 5	Infiltração		HORA	Tempo Acumu lado. (min)	Estação 0	Estação 5	Infiltração	
		vazão l/s	vazão l/s	l/s/40m	mm/hora			vazão l/s	vazão l/s	l/s/40 m	mm/hora
8:50	-		-	-	-	13:45	-		-	-	-
8:53	3	Vazão Média: 0,43	0,01	0,42	47,2	13:48	3	Vazão Média: $Q = 0,43$	0,01	0,42	47,2
8:56	6		0,02	0,41	46,1	13:51	6		0,02	0,41	46,1
8:59	9		0,02	0,41	46,1	13:54	9		0,04	0,39	43,9
9:04	14		0,03	0,40	45,0	13:59	14		0,05	0,38	42,7
9:09	19		0,04	0,39	43,9	14:04	19		0,05	0,38	42,7
9:19	29		0,04	0,39	43,9	14:14	29		0,05	0,38	42,7
9:29	39		0,05	0,38	42,7	14:24	39		0,07	0,36	40,5
9:44	54		0,05	0,38	42,7	14:39	54		0,07	0,36	40,5
9:59	69		0,06	0,37	41,6	14:54	69		0,07	0,36	40,5
10:29	99		0,07	0,36	40,5	15:24	99		0,08	0,35	39,4
10:59	129	0,07	0,36	40,5	15:54	129	0,08	0,35	39,4		

QUADRO 11 - Velocidade de Infiltração

Local: F.A.L.

Altura Manometrica h = 32cm

Data: 06/09/78

Comp. Sulco 50m

Sifão $\varnothing = 1''$

Vazão: $Q_3 = 0,65$ l/s

Espaçamento: 0,80m

Medições: Estaca 0, com sifão

Declividade = 4,2%

Cond. Sulco: Novos

Estaca 5, volumetricamnete

G R U P O Nº 3

Sulco A					Sulco B						
HORA	Tempo Acumulado (min)	Estação 0	Estação 5	Infiltração		HORA	Tempo Acumulado (min)	Estação 0+00	Estação 5	Infiltração	
		vazão l/s	vazão l/s	l/s/50 m	mm/hora			vazão l/s	vazão l/s	l/s/50 m	mm/hora
9:20	-		-	-	-	14:05	-		-	-	-
9:32	3		0,03	0,62	55,8	14:08	3	0,05	0,60	54,0	
9:35	6		0,05	0,60	54,0	14:11	6	0,06	0,59	53,1	
9:38	9	Vazão Média 0,65	0,07	0,58	52,2	14:14	9	0,06	0,59	53,1	
9:43	14		0,07	0,58	52,2	14:19	14	0,07	0,58	52,2	
9:48	19		0,08	0,57	51,3	14:24	19	0,08	0,57	51,3	
9:58	29		0,09	0,56	50,4	14:34	29	0,08	0,57	51,3	
9:08	39		0,09	0,56	50,4	14:44	39	0,09	0,56	50,4	
9:23	54		0,10	0,55	49,5	14:59	54	0,11	0,54	48,6	
9:38	69		0,10	0,55	49,5	15:14	69	0,11	0,54	48,6	
10:08	99		0,11	0,54	48,6	15:44	99	0,12	0,53	47,7	
10:38	129		0,12	0,53	47,7	16:14	129	0,13	0,52	46,8	

QUADRO 12 - Velocidade de Infiltração

Local: F.A.L.
 Comp. Sulco 50m
 Espaçamento: 0,80m
 Cond. Sulco: Novos

Altura Manométrica: h = 14 cm
 Sifão $\varnothing = 1 \frac{1}{2}$ "
 Medição : Estaca 0, com sifão
 Estaca 5, volumetricamente

Data : 13/09/78
 Vazão: $Q_4 = 0,95 \text{ l/s}$
 Declividade = 4,2%

G R U P O Nº 4

Sulco A					Sulco B						
HORA	Tempo Acumulado (min)	Estação 0	Estação 5	Infiltração		HORA	Tempo Acumulado (min)	Estação 0	Estação 5	Infiltração	
		vazão l/s	vazão l/s	l/s/50 m	mm/hora			vazão l/seg.	vazão l/seg.	l/s/50 m	mm/hora
9:50	-		-	-	-	15:59	-		-	-	-
9:53	3		0,19	0,76	68,4	16:02	3	0,17	0,78	70,2	
9:56	6		0,31	0,64	57,6	16:05	6	0,19	0,76	68,4	
9:59	9	Vazão Média: 0,95	0,35	0,60	54,0	16:08	9	0,33	0,62	55,8	
10:04	14		0,42	0,53	47,7	16:13	14	0,36	0,59	53,1	
10:09	19		0,43	0,52	46,8	16:18	19	0,41	0,54	48,6	
10:19	29		0,49	0,46	41,4	16:28	29	0,43	0,52	46,8	
10:29	39		0,55	0,40	36,0	16:38	39	0,53	0,42	37,8	
10:44	54		0,59	0,36	32,4	16:53	54	0,59	0,36	32,4	
10:59	69		0,59	0,36	32,4	17:08	69	0,59	0,36	32,4	
11:29	99		0,60	0,35	31,5	17:38	99	0,60	0,35	31,5	
11:59	129	0,62	0,33	29,7	18:08	129	0,62	0,33	29,7		

QUADRO 13 - Velocidade de Infiltração

Local: F.A.L.

Altura Manométrica = h = 19cm

Comp. Sulco: 50m

Sifão Ø = 1 1/2"

Data: 12/09/78

Espaçamento: 0,80m

Medições= Estaca 0, com sifão

Vazão: Q₅ 1,17 l/s

Cond. Sulco: Novos

Estaca 5, volumetricamente

Declividade = 4,2%

G R U P O Nº 5

Sulco A					Sulco B						
HORA	Tempo Acumulado (min)	Estação 0	Estação 5	Infiltração		HORA	Tempo Acumulado (min)	Estação 0	Estação 5	Infiltração	
		vazão l/s	vazão l/seg.	l/s/50 m	mm/hora			vazão l/s	vazão l/s	l/s/50m	mm/hora
9:30	-		-	-	-	14:44	-		-		
9:33	3		0,18	0,99	89,1	14:47	3		0,22	0,95	85,5
9:36	6		0,35	0,82	73,8	14:50	6		0,38	0,79	71,1
9:39	9	Vazão Média: 1,17	0,38	0,79	71,1	14:53	9	Vazão Média: 1,17	0,46	0,71	63,9
9:44	14		0,42	0,75	67,5	14:58	14		0,52	0,65	58,5
9:49	19		0,44	0,73	65,7	15:03	19		0,50	0,67	60,3
9:59	29		0,52	0,65	58,5	15:13	29		0,58	0,59	53,1
10:09	39		0,60	0,57	51,3	15:23	39		0,61	0,56	50,4
10:24	54		0,63	0,54	48,6	15:38	54		0,60	0,57	51,3
10:39	69		0,63	0,54	48,6	15:53	69		0,62	0,55	49,5
11:09	99		0,65	0,52	46,8	16:23	99		0,63	0,54	48,6
11:39	129		0,66	0,51	45,9	16:53	129		0,63	0,54	48,6

QUADRO 14 - Velocidade de Infiltração

Local: F.A.L.
 Comp. Sulco: 50m
 Espaçamento: 0,80 m
 Cond. Sulco: Novos

Altura Manométrica: h = 25 cm
 Sifão $\varnothing = 1\ 1/2"$
 Medições: Estaca 0, com sifão
 Estaca 5, volumetricamente

Data : 08/09/78
 Vazão: Q_6 1,44 l/s
 Declividade = 4,2%

G R U P O Nº 6

Sulco A					Sulco B						
HORA	Tempo Acumu lado. (min)	Estação 0	Estação 5	Infiltração		HORA	Tempo Acumu lado. (min)	Estação 0	Estação 5	Infiltração	
		vazão l/s	vazão l/s	l/s/50 m	mm/hora			vazão l/s	vazão l/s	l/s/50 m	mm/hora
9:02	-	-	-	-	-	14:28	-	-	-	-	-
9:05	3		0,30	1,14	102,6	14:31	3	0,22	1,22	109,8	
9:08	6		0,69	0,75	67,5	14:34	6	0,51	0,93	83,7	
9:11	9	Valor Médio 1,44	0,68	0,76	68,4	14:37	9	0,62	0,82	73,8	
9:16	14		0,82	0,62	55,8	14:42	14	0,81	0,63	56,7	
9:21	19		0,86	0,58	52,2	14:47	19	0,83	0,61	54,9	
9:31	29		0,86	0,58	52,2	14:57	29	0,88	0,56	50,4	
9:41	39		0,89	0,55	49,5	15:07	39	0,92	0,52	46,8	
9:56	54		0,93	0,51	45,9	15:22	54	0,95	0,49	44,1	
10:11	69		0,92	0,52	46,8	15:37	69	0,94	0,50	45,0	
10:41	99		0,93	0,51	45,9	16:07	99	0,96	0,48	43,2	
11:11	129	0,94	0,50	45,0	16:37	129	0,96	0,48	43,2		

QUADRO 15 - Unidade do solo. Antes e 24 horas após a irrigação. Porcentagem com relação ao peso de solo seco

Local: F.A.L.

Cond. Sulco: Usados (2ª irrigação)

D A T A	H O R A	GRUPO	VAZÃO l/s	ANTES DA IRRIGAÇÃO												24 HORAS APÓS											
				Local												Local											
				Cabeceira			Meio			Meio			Final			Cabeceira			Meio			Meio			Final		
				Profundidade												Profundidade											
				0-20	20-40	40-60	0-20	20-40	40-60	0-20	20-40	40-60	0-20	20-40	40-60	0-20	20-40	40-60	0-20	20-40	40-60	0-20	20-40	40-60	0-20	20-40	40-60
03/10/78	13:00	1	0,43	28,6	29,8	28,0	30,3	32,4	31,5	30,6	31,8	30,8	32,0	32,4	32,3	34,8	34,8	32,0	34,0	36,8	35,4	34,4	33,6	34,4	36,4	36,2	36,2
29/09/78	13:10	2	0,57	30,6	30,4	31,0	30,2	31,0	30,0	31,3	31,8	31,4	30,4	30,8	30,0	37,2	36,4	36,4	36,4	37,6	35,5	35,8	36,8	36,2	36,2	36,4	35,3
03/10/78	8:00	3	0,65	31,8	31,4	30,3	31,2	31,4	31,6	31,4	31,5	32,1	30,8	32,0	30,0	36,8	37,6	36,8	37,6	37,6	35,4	36,0	36,4	35,6	36,6	36,4	35,8
29/09/78	8:05	4	0,95	31,4	31,2	31,0	31,6	31,6	31,3	31,0	31,0	31,6	30,4	32,4	31,2	37,6	38,0	37,6	37,4	37,1	36,0	34,8	38,4	37,4	37,2	36,4	35,6
27/09/78	8:00	5	1,17	30,2	31,0	30,0	30,4	32,8	30,0	31,3	31,1	31,8	30,8	31,2	29,3	36,0	36,2	35,8	35,2	36,0	35,6	36,0	35,6	35,0	36,8	36,2	36,0
27/09/78	13:30	6	1,44	30,8	30,8	31,2	30,8	32,0	31,2	31,4	31,3	31,2	32,0	31,6	32,4	36,8	36,2	36,4	36,8	36,8	36,4	36,0	36,0	35,8	35,2	36,2	34,6

A P Ê N D I C E B

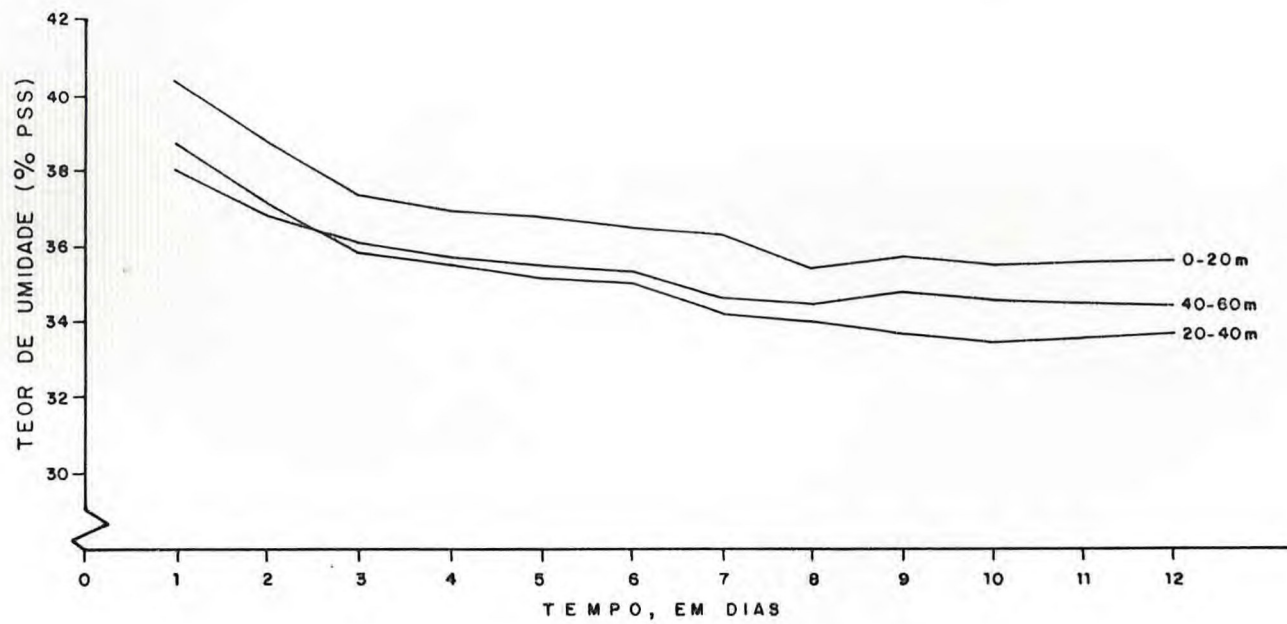


FIGURA 2. MARCHA DIÁRIA DA UMIDADE DO SOLO PARA TRES PROFUNDIDADES.
MÉDIA DE DUAS OBSERVAÇÕES.

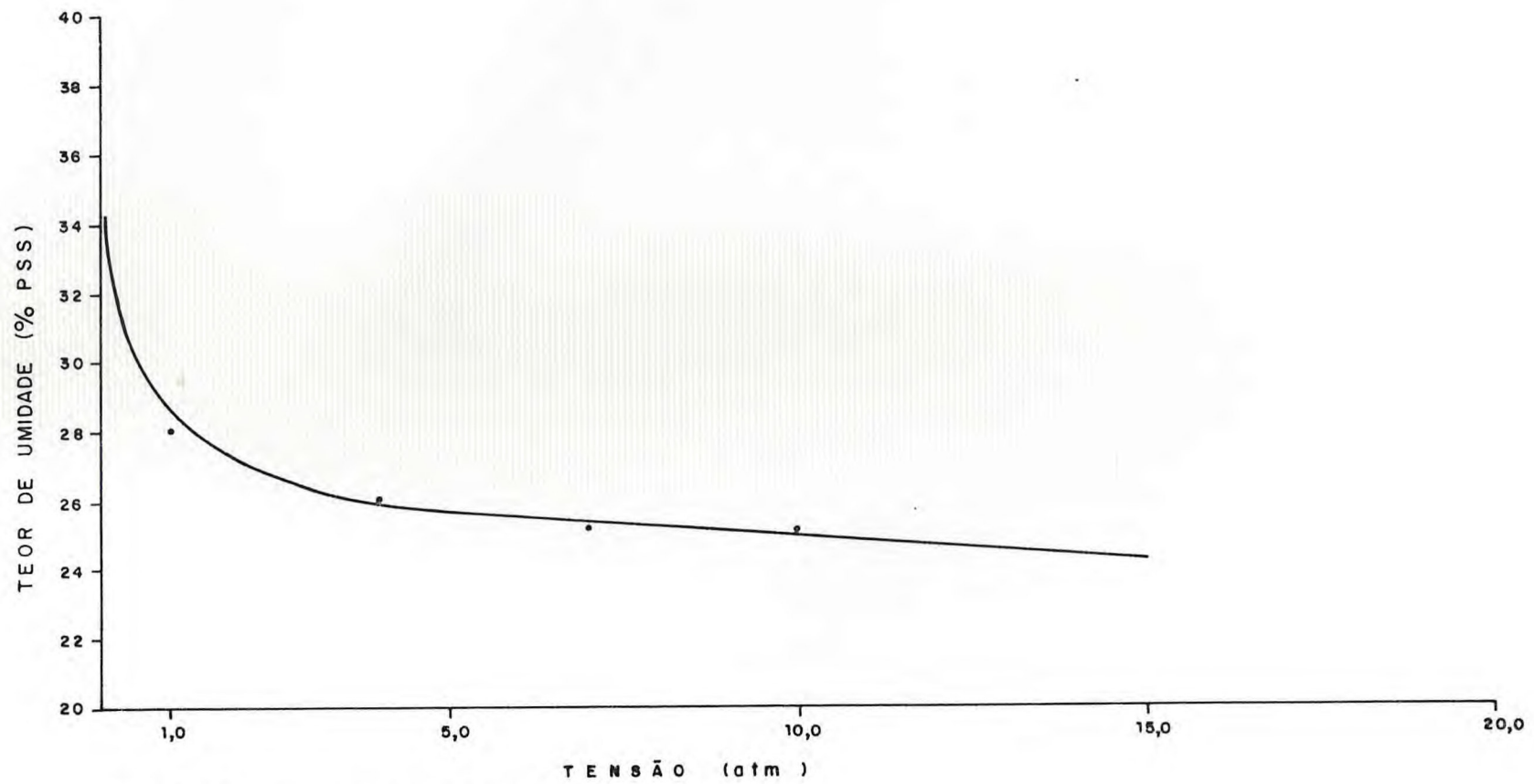


FIGURA 3. CURVA DE RETENÇÃO DE UMIDADE

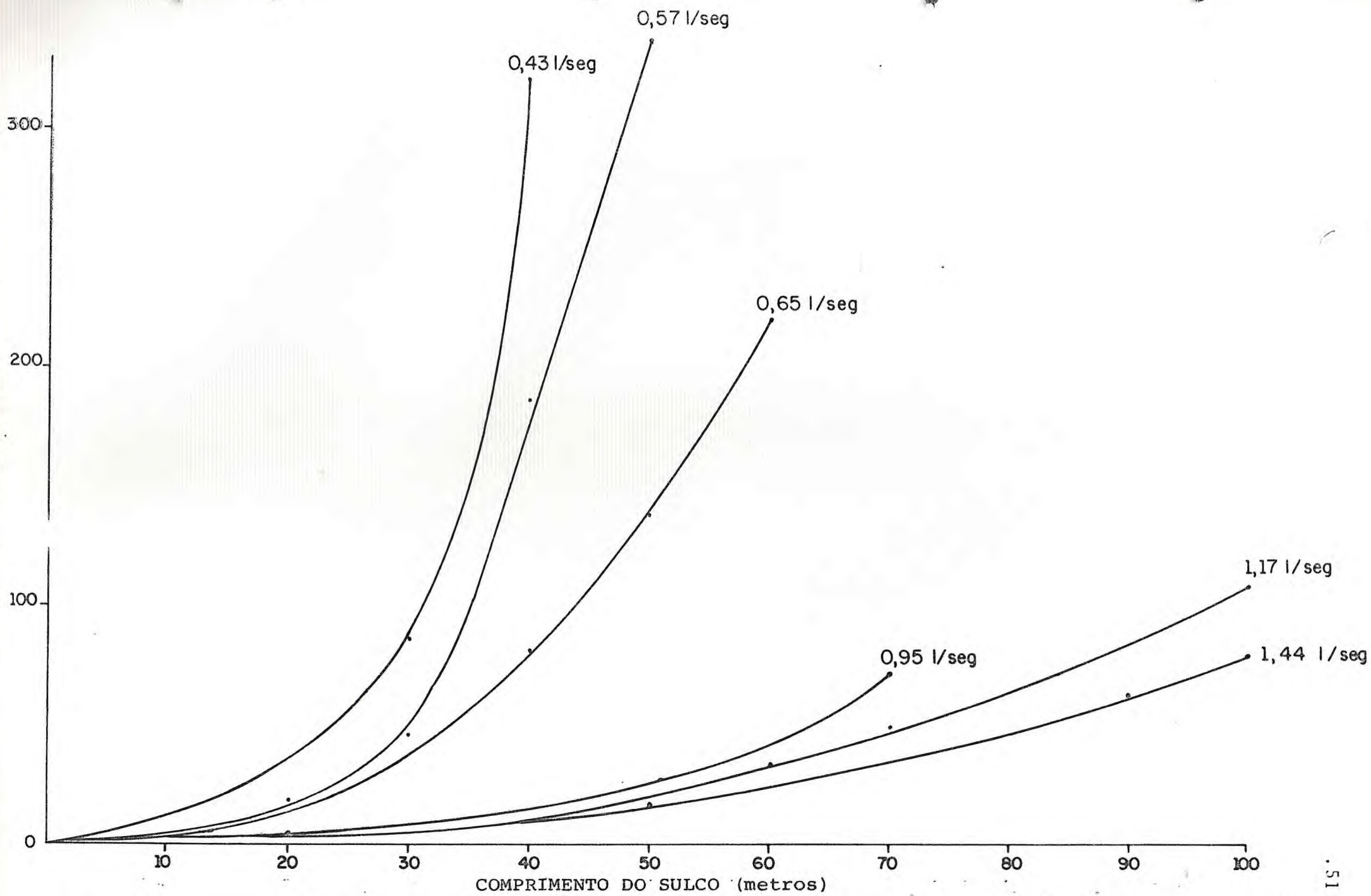


FIGURA 4 - Avanço da água em sulcos de corrugação na primeira irrigação

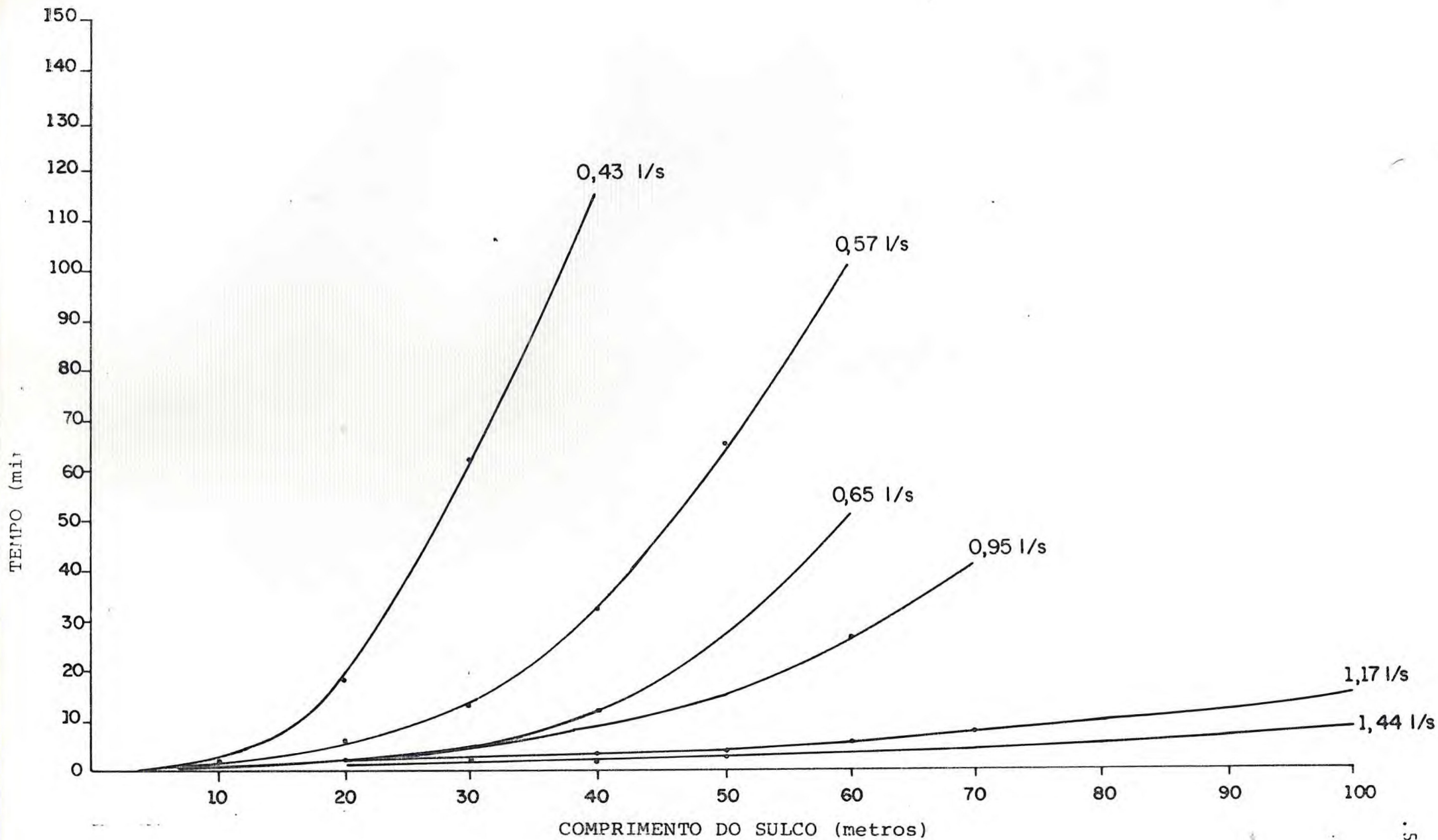
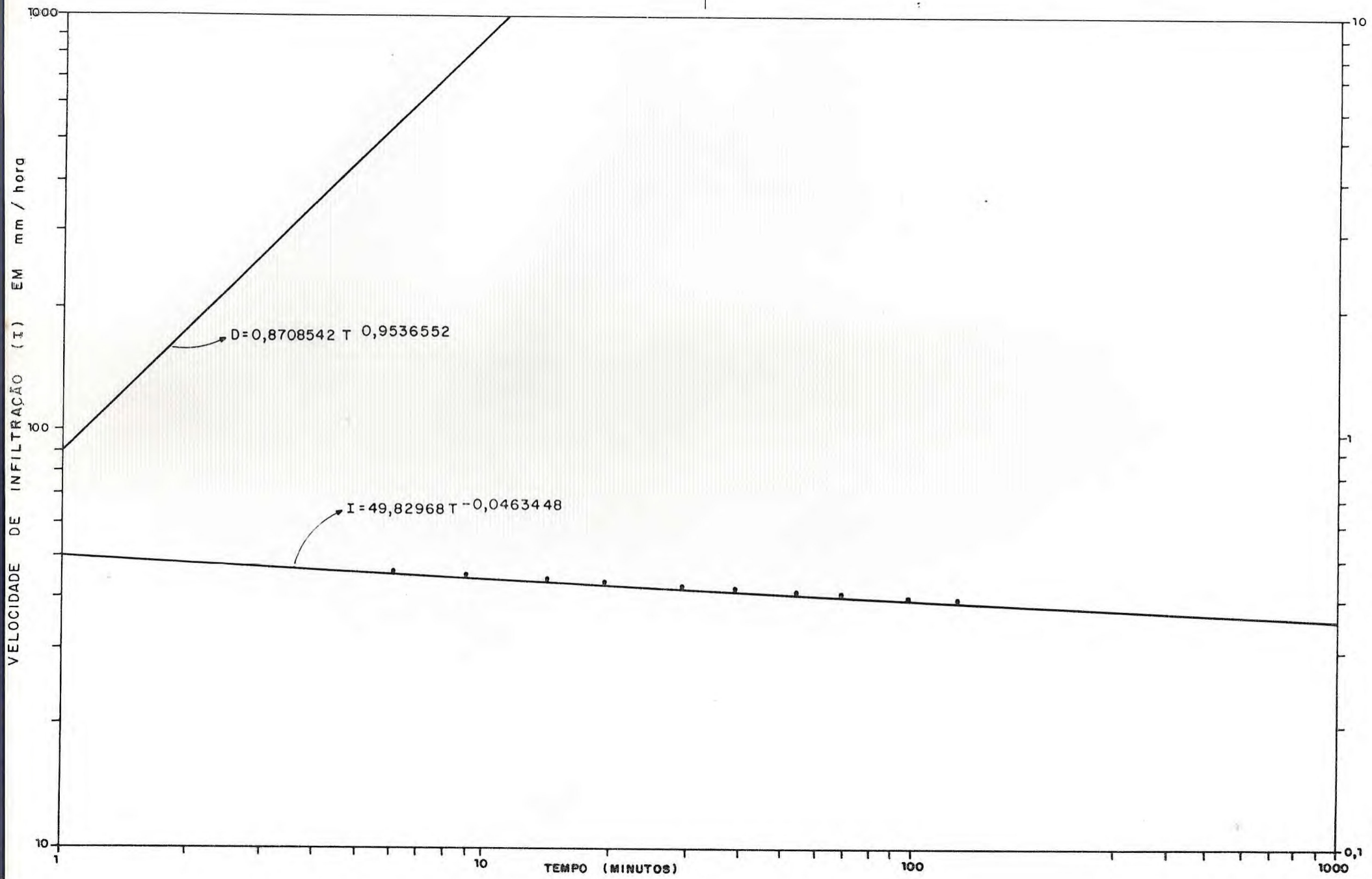
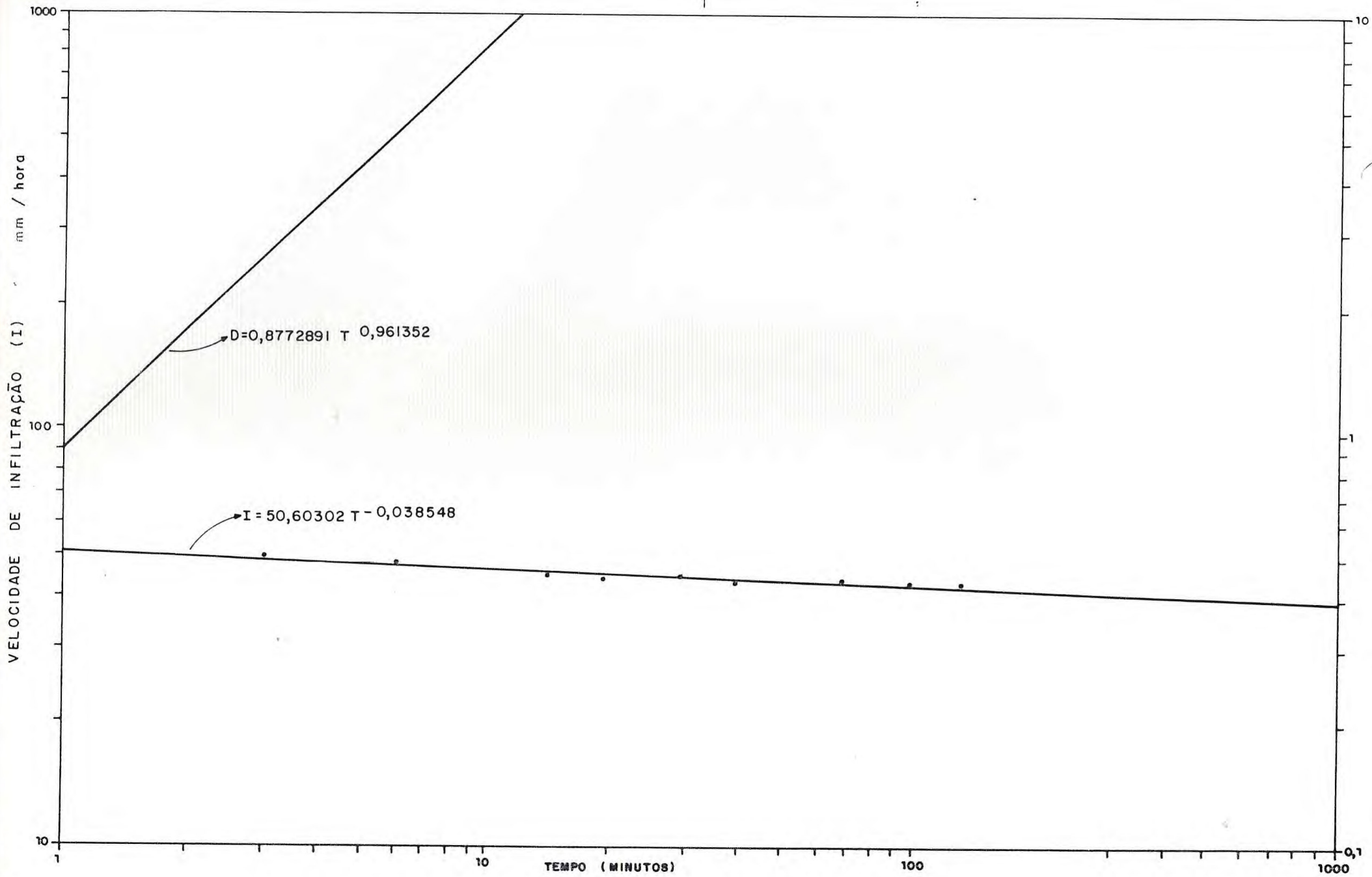


FIGURA 5 - Avanço da água em sulcos de corrugação após uma pré-irrigação





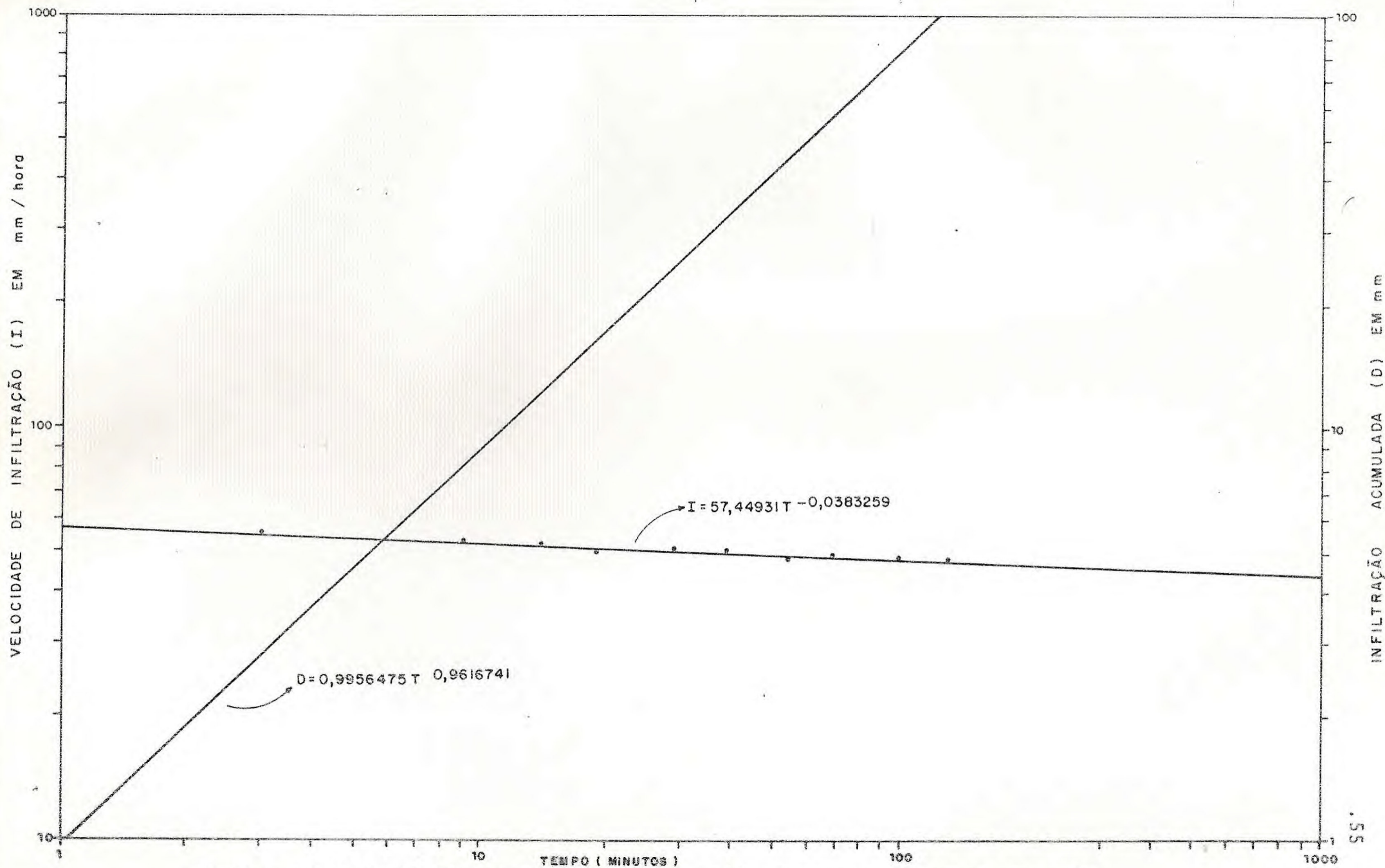
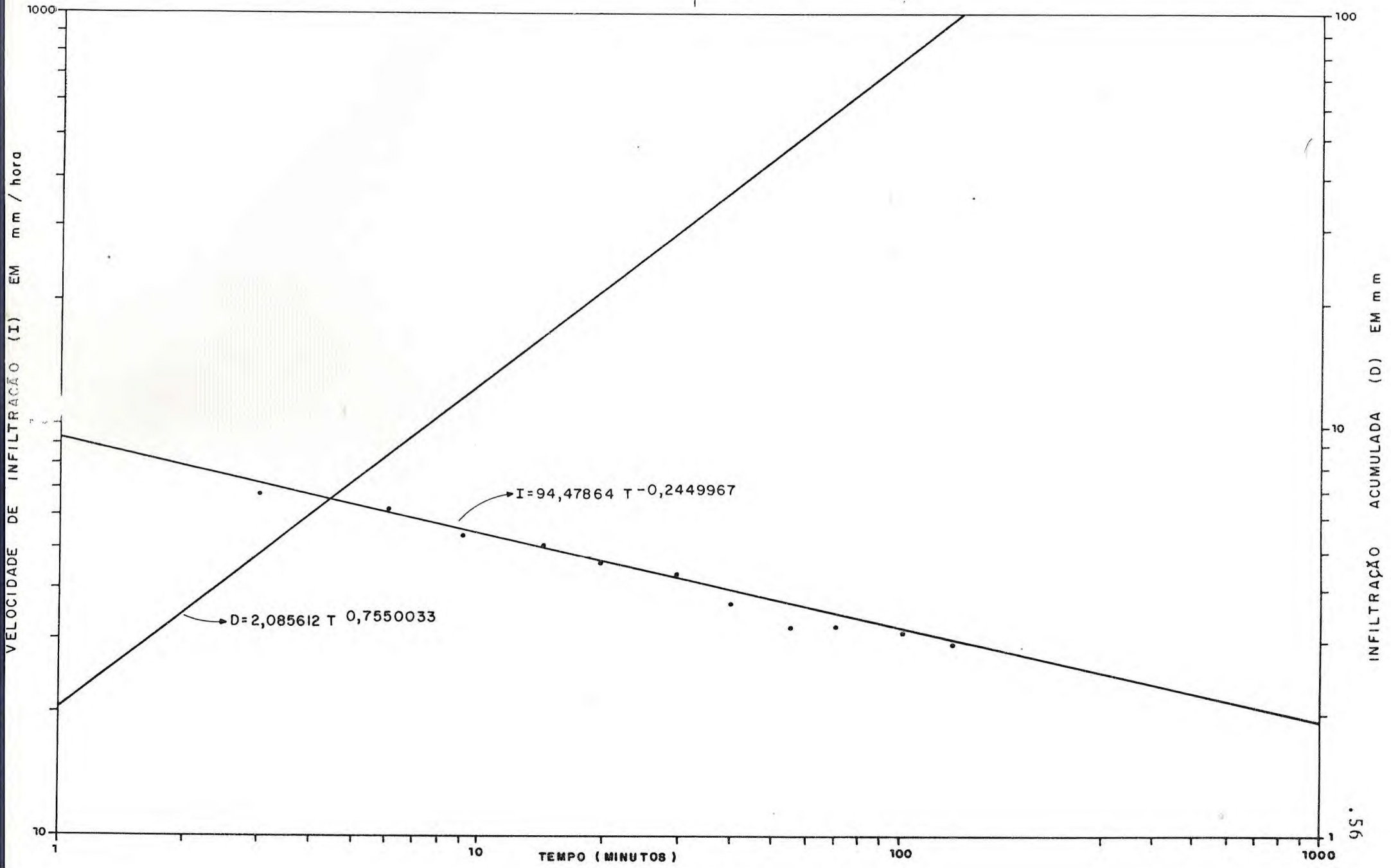
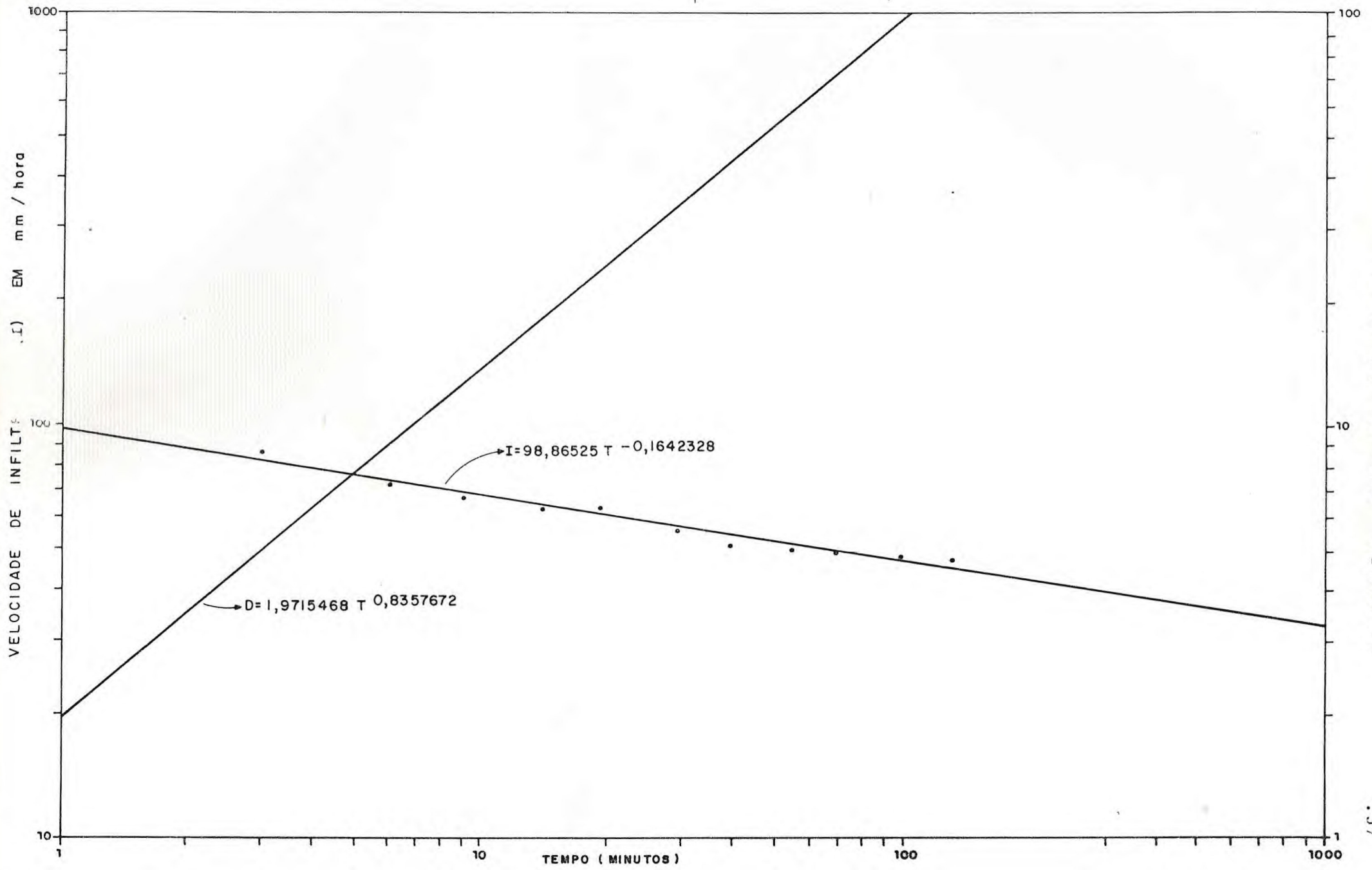
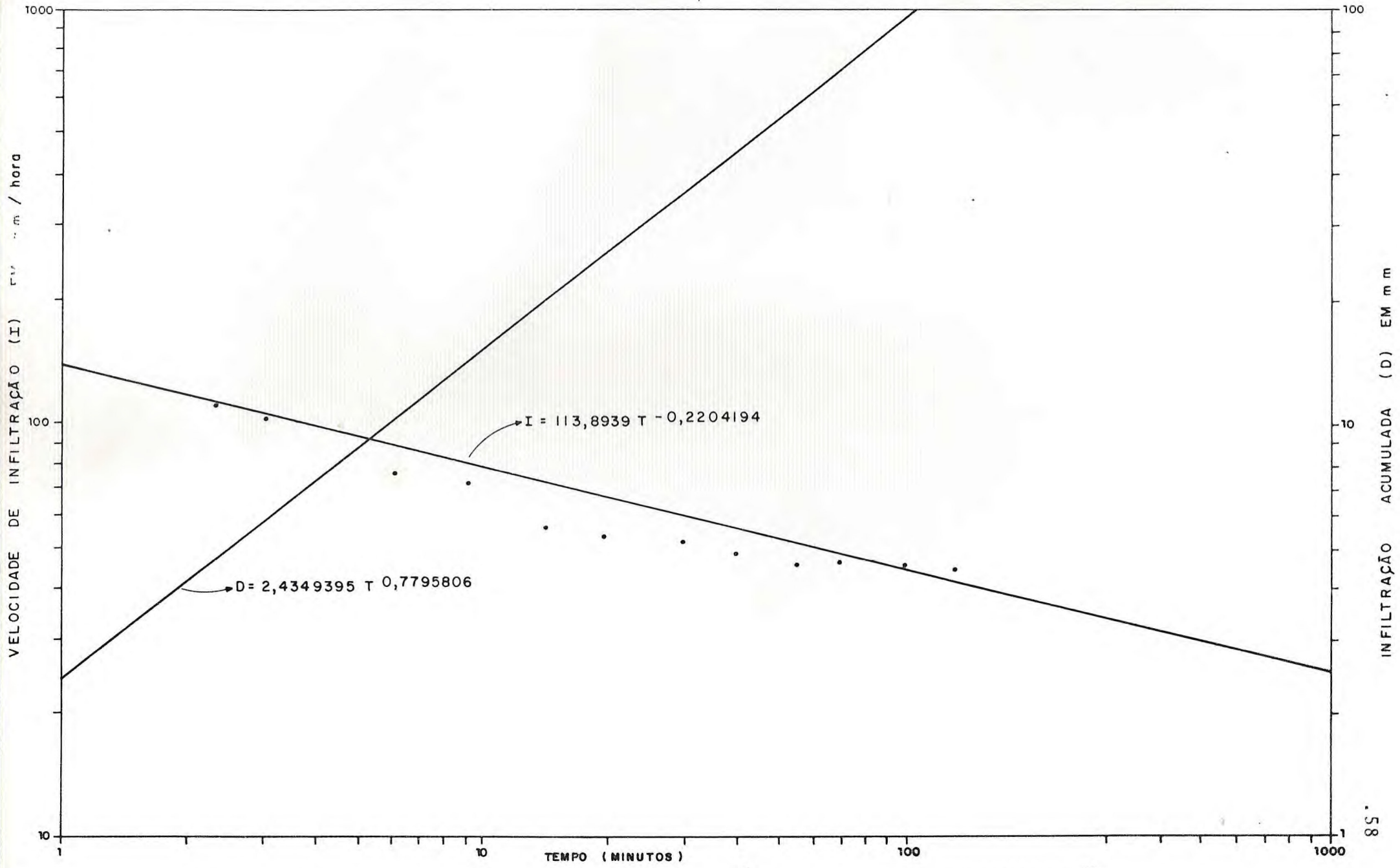


FIGURA 8. CURVA DA VELOCIDADE DE INFILTRAÇÃO E INFILTRAÇÃO ACUMULADA EM SULCOS DE CORRUGAÇÃO
 VAZÃO CONSTANTE DE 0,25 LITROS / SEGUNDO

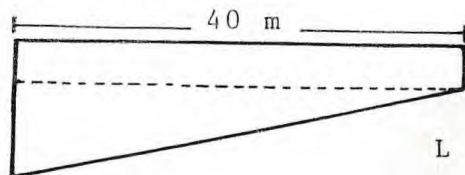






T = 148,3 min

T = 31,8 min



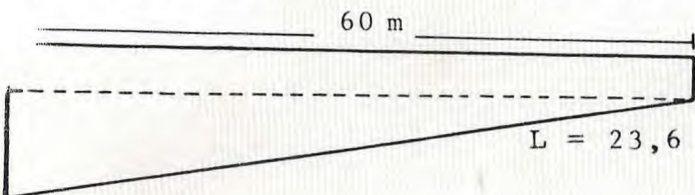
L = 23,6 mm

L = 102,5 mm

a) Esquema para $Q_1 = 0,43$ l/seg.

T = 132,7 min

T = 30,7 min



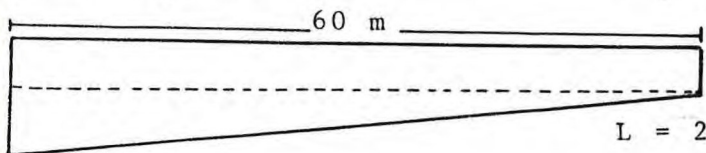
L = 23,6 mm

L = 96,4 mm

b) Esquema para $Q_2 = 0,57$ l/seg.

T = 79,4 min

T = 26,9 min



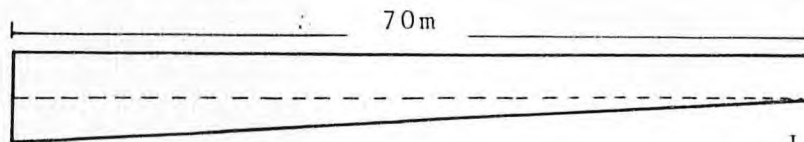
L = 23,6 mm

L = 66,8 mm

c) Esquema para $Q_3 = 0,65$ l/seg.

T = 71,9 min

T = 24,9 min



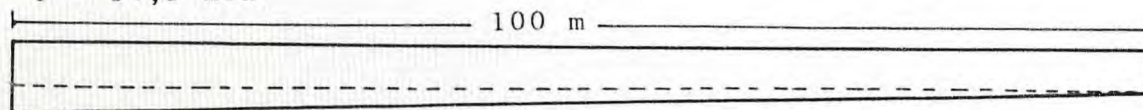
L = 23,6 mm

L = 52,6 mm

d) Esquema para $Q_4 = 0,95$ l/seg.

T = 34,5 min

T = 23,6 min



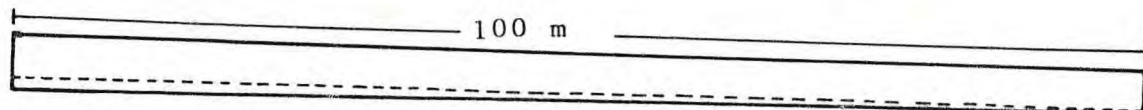
L = 38,1 mm

L = 23,6 mm

e) Esquema para $Q_5 = 1,17$ l/seg.

T = 26,4 min

T = 18,4 min



L = 31,3 mm

L = 23,6 mm

f) Esquema para $Q_6 = 1,44$ l/seg.

FIGURA 12- Relação entre o tempo de Irrigação e lâmina d'água em sulcos de corrugação

A P Ê N D I C E C

QUADRO 16 - Valores médios de T e de I com os respectivos logarítmos, para a vazão de 0,43 litros por segundo.

Tempo T (min)	Infil- tração I mm/hora	log T	log I	log T. log I	(log T) ²
3	47,2	0,477122	1,673942	0,7986745	0,2276454
6	46,1	0,778151	1,663701	1,2946105	0,6055189
9	45,0	0,954243	1,653213	1,5775669	0,9105797
14	43,9	1,146128	1,642465	1,8824751	1,3136093
19	43,3	1,278753	1,636488	2,0926639	1,6352092
29	43,3	1,462398	1,636488	2,3931967	2,1386079
39	41,6	1,591065	1,619094	2,5760837	2,5314878
54	41,6	1,732394	1,619094	2,8049087	3,0011889
69	41,7	1,838849	1,613842	2,9676117	3,3813656
99	39,9	1,995635	1,600973	3,1949577	3,9825590
129	39,9	2,110590	1,600973	3,3789976	4,4545901
Σ		15,365328	17,960273	24,9617430	24,1823610

$$N = 11$$

$$\bar{T} = 1,396848$$

$$\bar{I} = 1,632752$$

$$(\Sigma \log T)^2 = 236,0933$$

$$m = \frac{24,9617430 - \frac{(15,365328 \cdot 17,960273)}{11}}{24,1823610 - \frac{236,09333}{11}}$$

$$m = -0,0463448$$

$$\log c = \bar{I} - m\bar{T}$$

$$\log c = 1,632752 - (-0,0463448)(1,396848)$$

$$\log c = 1,6974886 \longrightarrow c = 49,82968$$

Sabe-se que a equação da velocidade de infiltração se apresenta na forma:

$$I = cT^m, \quad \text{logo } I = 49,82968T^{-0,0463448}$$

Sendo T em minutos e I em milímetros por hora.

Sabendo-se que $C = 60nk$ e $m = n-1$, determinou-se o valor de n e k para a equação de infiltração acumulada (D).

$$m = n-1 \quad \therefore \quad n = 1 + m$$

$$n = 1 + (-0,0463448) \quad \therefore \quad n = 0,9536552$$

$$c = 60nk \quad \therefore \quad k = \frac{c}{60n}$$

$$k = \frac{49,82968}{60 \cdot 0,9536552} \quad \therefore \quad k = 0,8708542$$

Sabe-se que a equação da infiltração acumulada se apresenta na forma:

$$D = kT^n, \quad \text{logo } D = 0,87085T^{0,9536552}$$

Sendo T em minutos e D em milímetros.

Seguindo a mesma metodologia determinou-se a equação da velocidade de infiltração e infiltração acumulada para todos os grupos experimentados.