

ESTUDOS DE PARÂMETROS PARA AVALIAÇÃO DE IRRIGAÇÃO POR SULCOS ABERTOS EM DECLIVE UTILIZANDO UM MODELO ALGÉBRICO¹

Roberto Vieira Pordeus²
Francisco de Souza³

RESUMO

Foi desenvolvida uma análise da irrigação por sulcos aplicando um modelo algébrico, para estudar as relações entre os fatores de forma do perfil superficial e subsuperficial sobre a curva de avanço de água nos sulcos e a influência de recessão sobre a distribuição das lâminas infiltradas, na irrigação por sulcos. O estudo foi realizado com dados de campo obtidos em experimentos realizados anteriormente. O resultado do estudo dos fatores de forma superficial e subsuperficial sobre o avanço da água, e de recessão, foram avaliados pela comparação dos resultados com aqueles obtidos pela aplicação de um modelo mais complexo (modelo hidrodinâmico não linear) e com dados de campo. Tais resultados mostraram a viabilidade do uso de recessão instantâneo inicial na cabeceira do sulco, e da aplicabilidade dos fatores de forma superficial e subsuperficial estimados, no cálculo do avanço da água nos sulcos.

PALAVRAS-CHAVE: Irrigação por sulcos, modelo algébrico.

SUMMARY

This work deals with an application of a furrow irrigation model. Some aspects were analyzed: the relationship between shape factors and advance curve; the influence of recession on ultimate infiltrated profile; and application of a parabolic equation to calculate the wetted perimeter and to verify its influence on furrow irrigation. The study used field data obtained previously. The results were compared to a more advance model

(hydrodynamic model), and with field data, and demonstrate the adequate use of instantaneous recession, and the applicability of shape factors to estimate water advance.

KEY WORDS: Furrow, modeling, irrigation.

INTRODUÇÃO

Na irrigação por superfície decorre um intervalo de tempo para que a água percorra do início até o final da parcela. Na realidade, uma irrigação superficial completa, considerando-se o evento desde o instante da adução até o desaparecimento total da água de sulco ou faixa, é composta de várias fases. Conforme BASSET e FITZSMONS²; STRELKOFF¹³ e SOUZA^{10,11,12}, as fases de irrigação por sulcos são: avanço, armazenamento, depleção e recessão.

Nas últimas décadas vários modelos foram apresentados para simular a irrigação por superfície, sendo classificados em hidrodinâmicos, zero-inércia, onda cinemática, e os mais simplificados, baseados no balanço de volume.

BASSET² apresentou um modelo hidrodinâmico do avanço da água em faixa de irrigação; este autor estendeu esse modelo para todas as demais fases da irrigação. KATOPODES e STRELKOFF⁶ propuseram um modelo hidrodinâmico completo, isto é, representando todas as fases da irrigação por faixa.

1 Parte da Dissertação apresentada pelo primeiro autor no Mestrado em Agronomia - Irrigação e Drenagem no CCA/UFC.

2 Engenheiro Agrícola, Secretaria de Recursos Hídricos do Ceará.

3 Professor do Centro de Ciências Agrárias da UFC.

Segundo SOUZA¹¹ a análise da irrigação por sulcos é mais difícil do que a por faixas devido a complexidade introduzida pela forma de sulco e suas relações com a taxa de infiltração. Segundo este autor, poucas tentativas foram feitas para desenvolver um modelo da irrigação por sulcos.

DAVIS³ e WILKE e SMERDON¹⁴ usaram o enfoque do balanço de volume, com a hipótese da lâmina normal, para determinar o avanço da água em sulcos; WILKE (1968) estudou a hidrodinâmica dos sulcos; SOUZA¹⁰ estabeleceu um modelo hidrodinâmico da irrigação por sulcos, apesar de serem complexos e caros. Os modelos hidrodinâmicos são importantes porque estabelecem um padrão de comparação para os modelos simplificados, isto é, os modelos de balanço de volume e zero inércia.

LEVIEN⁷ desenvolveu um modelo algébrico que simula o processo completo da irrigação por sulcos. Seu modelo pode ser usado para analisar e prever o desempenho de um sistema de irrigação por sulcos em declive com drenagem livre. Utilizou a equação da conservação da massa com a hipótese de que a lâmina de irrigação é a lâmina de fluxo uniforme (lâmina normal). O desempenho do modelo de LEVIEN foi avaliado pelas comparações dos resultados com aqueles obtidos pela aplicação de um modelo matemático mais complexo, modelo hidrodinâmico não linear de SOUZA¹⁰, e com dados de campo. Tais resultados demonstraram a viabilidade da aplicação do modelo, bem como a validade das hipóteses utilizadas para o desenvolvimento do mesmo.

Especificamente, o objetivo deste estudo é aplicar o modelo algébrico simplificado de LEVIEN⁷, bem como, analisar o efeito dos fatores de forma, sobre a curva de avanço da água nos sulcos e o efeito da recessão sobre o perfil de infiltração, e os parâmetros da irrigação por sulcos.

MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia utilizada no presente trabalho propõe-se a analisar a influência dos fatores de forma dos perfis superficial e sub-

superficial no avanço, a influência da recessão sobre a distribuição do perfil de infiltração, e conseqüentemente, na eficiência de aplicação e distribuição da água na irrigação.

I. Fase de Avanço

Segundo SOUZA¹⁰, a equação básica de balanço de volume é expressa por:

$$x_a = \frac{Q \cdot t}{A_0 \cdot r_y + A_{z0} \cdot r_z} \quad (1)$$

onde: x_a = distância para a qual a água avança durante o intervalo de tempo t .

$Q \cdot t$ = volume aplicado, durante o tempo

A_0 = área da seção transversal do fluxo na entrada do sulco.

A_{z0} = volume infiltrado na cabeceira do sulco por unidade de comprimento.

r_y, r_z = fatores de forma dos perfis superficial e subsuperficial; com $r_{y1} = 0,70$ e $r_{y2} = 0,75$; $r_{z1} = 0,75$ e $r_{z2} = 0,80$.

Esta equação será utilizada para estimar o avanço da água nos sulcos.

a) Cálculo dos fatores de forma segundo SOUZA¹⁰

No modelo hidrodinâmico SOUZA^{10,12} considera que as equações seguintes podem ser utilizadas para calcular os fatores r_y e r_z para a célula situada na extremidade de frente de avanço da água nos sulcos.

$$r_{y3} = \frac{1}{B(M + 1) + 1} \quad (2)$$

$$r_{z3} = \frac{1}{BM + a + 1} \quad (3)$$

onde: B = constante = 3/7.

M = expoente da equação da forma do sulco.

a = expoente da equação de infiltração de Kostiakov.

Estes fatores de forma, neste trabalho, são assumidos para toda frente de avanço da água nos sulcos.

b) Cálculo dos fatores de forma segundo FOK-BISHOP⁴

FOK E BISHOP⁴, usaram em sua técnica de balanço de volume para estimar a taxa de avanço em faixa e sulcos, as seguintes equações para os fatores de forma dos perfis superficial e subsuperficial.

$$r_{y4} = \frac{F}{1 + h} \quad (4)$$

$$r_{z4} = \frac{F}{a + 1} = h \left[\frac{1}{h} - \frac{a}{1 + h} + \frac{a(a - 1)}{(2 + h) 2!} + \frac{a(a - 1)(a - 2)}{(3 + h) 3!} \right] \quad (5)$$

onde: h = e^{-0,6a} (constante empírica da equação de FOK e BISHOP).

F = valor obtido do monograma de KIEFFER.

No presente trabalho, os valores obtidos com estas equações são utilizados para avaliar sua influência sobre o avanço da água nos sulcos.

c) Área da Seção Transversal do Fluxo

Para sulcos de irrigação de forma parabólica, a área da seção transversal, A₀, é dada pela expressão:

$$A_0 = \frac{B \cdot Y_n}{(M + 1)} \quad (6)$$

em que: B = C · Y_n^M

onde: B = largura da superfície livre da água; C e M = constante.

Y_n = lâmina normal na cabeceira do sulco.

A lâmina normal, Y_n, que para dado sulco é função de vazão Q, ou seja, Y₀ = Y_n (Q₀).

II. Fase de Recessão

Nos itens seguintes apresentam-se as três hipóteses utilizadas para o cálculo da recessão.

a) Tempo de Recessão Igual ao Tempo de Aplicação da Água (Hipótese I)

Considera-se o tempo de recessão é igual ao tempo de aplicação da água, o que significa que a curva de recessão é uma reta paralela ao eixo das abscissas.

Nesta situação:

$$T_r = T_{co} \quad (7)$$

b) Tempo de Recessão Superior ao Tempo de Aplicação (Hipótese II)

LEVIEN⁷ obteve a seguinte expressão para o cálculo do início da recessão:

$$t_r = t_{co} + \frac{A_0}{(M + 2)} \frac{L}{Q_0} \quad (8)$$

onde: A₀ = área da seção transversal do sulco.

L = comprimento do sulco.

M = constante

Q₀ = vazão aplicada ao sulco.

Esta é a equação que determina o início da recessão, ou seja, a recessão na cabeceira do sulco, e é considerada neste trabalho como a segunda maneira de estimar a recessão, admitindo que graficamente a recessão é uma reta paralela ao eixo das abscissas.

c) Curva de Recessão (Hipótese III)

A seguinte equação foi desenvolvida por LEVIEN⁷, para a determinação da curva de recessão, é dada por:

$$S_y = \{ [3 G^{3/2} \cdot L]^{1/3} - 3 \text{ ATN} (G^{3/2} \cdot L)^{1/3} - [3(G^{3/2} \cdot l)^{1/3} - 3 \text{ ATN} (G^{3/2} \cdot l)^{1/3}] \} \quad (9)$$

Sendo: = tempo no qual a água desapareceu no ponto xr.

L = comprimento do sulco.

t_r = tempo de início da recessão

S_y = declividade da superfície da água.

= taxa de infiltração média.

$$\frac{l(t_r) + l(t_r - t_{av})}{2} \quad (10)$$

= porção inundada da faixa.

G = constante.

$$\frac{C_u S_o^{1/2} \cdot S_y^{5/3}}{n} \quad (11)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para analisar o efeito dos fatores de forma do perfil superficial (r_{y1} , r_{y2} , r_{y3} , r_{y4}) e subsuperficial (r_{z1} , r_{z2} , r_{z3} , r_{z4}) e da curva de recessão sobre a *performance* de um sistema de irrigação por sulcos abertos em declive, foram utilizados dados de cam-

po obtidos em experimentos realizados por Ramsey e KARMELI¹⁵ em três diferentes localidades (Horticultura, Stieben e Benson). Estes dados foram escolhidos pela acuracidade com que foram obtidos e por representarem condições diversas em relação aos vários parâmetros. (TABELA 1).

Efeitos dos Fatores de Forma do Perfil Superficial e Subsuperficial Sobre o Avanço.

Para estudar a influência dos fatores sobre a curva de avanço foram utilizados valores estimados e calculados, os quais são apresentados na TABELA 2. Os fatores de forma estimados são constantes para os quatro exemplos analisados, isto é, $r_{y1} = 0,70$; $r_{z1} = 0,75$; $r_{y2} = 0,75$ e $r_{z2} = 0,80$.

Os fatores de forma calculados r_{y3} e r_{z3} apresentavam valores semelhantes para os diferentes exemplos. Neste caso, r_{y3} variou entre 0,60 e 0,66, enquanto r_{z3} variou entre 0,48 e 0,61. (TABELA 2).

Os fatores r_{y4} e r_{z4} (propostos por FOK e BISHOP⁴ apresentam valores aproximados nos quatro exemplos, para perfil superficial, r_{y4} , porém muito inferior aos valores estimados. No entanto, os valores do perfil subsuperficial, r_{z4} tendem a ser comparáveis aos valores estimados. Há uma exceção para o exemplo 3 Stieben. Neste caso r_{y4} variou entre 0,51 e 0,57, enquanto r_{z4} variou entre 0,57 e 0,77.

O fator de forma r_y representa a relação entre a área (ou volume de água) do perfil superficial e o respectivo retângulo circunscrito, enquanto que o fator de forma r_z é a relação entre a água (volume infiltrado) do perfil subsuperficial e o retângulo circunscrito. Desse modo, um valor de r_y igual a 0,50, por exemplo, representaria uma forma triangular para o avanço da água, enquanto se r_y fosse igual a 1,0m o avanço seria retangular, o que é fisicamente impossível.

Da TABELA 2, observa-se que os valores de r_{y3} e r_{z3} obtidos segundo SOUZA¹⁰ para o exemplo 3 Stieben, são, respectivamente, 0,60 e 0,48. Isto indica que a utilização da equação 2 para calcular r_{y3} , implica em que o avanço apresenta uma for-

TABELA 1 - Dados de Campo Utilizados na Análise da Irrigação por Sulcos.

Parâmetros	E X E M P L O S			
	No. 1 Ramsey	No. 2 Horticulture	No. 3 Stieben	No. 4 Benson
Qo (L/s)	1,33	0,81	0,59	1,61
So (m/m)	0,001032	0,0036	0,0098	0,0045
L (m)	100	175	350	625
tco(min)	208	202	696	698
K(cm/mina)	0,98	0,77	8,17 x 10-3	0,39
a	0,50	0,55	0,87	0,44
n	0,022	0,020	0,15	0,25
E (m)	1,0	1,12	1,12	1,54
C	1,091	0,61	1,9087	1,307
M	0,4539	0,22	0,5445	0,4498

TABELA 2 - Fatores de forma superficial (ry) e subsuperficial (rz) estimados, e encontrados com a equação de SOUZA, e com a equação de FOK-BISHOP.

Exemplos	ESTIMADOS				(SOUZA10)		(FOK-BISHOP4)	
	ry1	rz1	ry2	rz2	ry3	rz3	ry4	rz4
1-Ramsey	0,70	0,75	0,75	0,80	0,61	0,59	0,54	0,77
2-Horticulture	0,70	0,75	0,75	0,80	0,66	0,61	0,57	0,74
3-Stieben	0,70	0,75	0,75	0,80	0,60	0,48	0,53	0,57
4-Benson	0,70	0,75	0,75	0,80	0,62	0,61	0,51	0,71

TABELA 3 - Valores dos tempos de recessão (min) encontrados com as três hipóteses, e os dados de campo.

Exemplos	Hipótese Sulco		Hipótese II Sulco		Hipótese III Sulco		Campo Sulco	
	início	final	início	final	início	final	início	final
1-Ramsey	208	208	213	213	213	233	215	235
2-Horticulture	202	202	209	209	209	224	202	222
3-Stieben	696	696	734	734	734	914	698	731
4-Benson	698	698	789	789	789	1.165	699	747

ma próxima a triangular. A consequência fundamental deste resultado é que as distâncias de avanço calculadas pelo modelo de LEVIEN⁷, com r_{y3} e r_{z3} , deverão ser muito maiores considerando o mesmo tempo, quando comparados com aqueles calculados com os valores estimados, r_{y1} e r_{z1} . Este fato baseia-se no princípio do balanço de volume, que é fundamento do modelo algébrico (LEVIEN⁷).

É importante observar que as equações 2 e 3, propostas por SOUZA¹⁰, para calcular os fatores de forma para a célula na extremidade da frente de avanço de um modelo hidrodinâmico estão sendo utilizados para todo o perfil de um avanço em um tempo relativamente grande.

A aplicação da equação 4 para o cálculo de r_{y4} mostra que o perfil superficial é, aproximadamente, triangular. No entanto, a equação 5 apresenta uma melhor estimativa para a forma do perfil infiltrado. Apenas no caso do exemplo N^o.3 Stieben obteve-se $r_{z4} = 0,57$, o perfil infiltrado se aproxima da forma triangular (TABELA 2).

É importante observar que os valores de r_{y3} e r_{y4} , r_{z3} e r_{z4} , calculados para os vários exemplos são menores do que os valores estimados ($r_{y1} = 0,70$ e $r_{z1} = 0,75$; $r_{y2} = 0,75$ e $r_{z2} = 0,80$) adotados pelo autor. Isto implica em distâncias de avanço maiores, para o mesmo tempo, devido ao princípio de balanço de volume.

As FIGURAS 1,2,3 e 4 apresentam as curvas de avanço medidas no campo e calculadas para os quatro exemplos estudados, e servem para mostrar o efeito dos fatores de forma do perfil superficial (r_{y1} , r_{y2} , r_{y3} e r_{y4}) e subsuperficial (r_{z1} , r_{z2} , r_{z3} e r_{z4}) sobre a distância de avanço da água nos sulcos abertos em declive.

Observando-se estas figuras nota-se que o tempo final de avanço tende a superestimar os dados de campo, quando se utiliza a equação da distância de avanço de LEVIEN⁷, com os fatores estimados, r_{y1} , r_{z1} e r_{y2} , r_{z2} . Entretanto, nota-se que essa diferença diminui gradualmente com a redução da distância.

Com relação a distância de avanço calculada com r_{y3} e r_{z3} , nota-se nas FIGU-

RAS 1,2,3 e 4 que o tempo do avanço é subestimado quando comparado aos dados obtidos em campo. Observa-se que à medida que se aproxima da cabeceira do sulco essa diferença decresce mas sempre com valores subestimados do tempo para uma mesma distância.

No caso dos exemplos 1 e 2 pode-se observar que o tempo final do avanço calculado com r_{y4} e r_{z4} , propostos por FOK-BISHOP⁴ é subestimado em 8,6% e 5,7%, respectivamente. Enquanto que nos exemplos 3 e 4 o tempo final do avanço é subestimado em aproximadamente 39% e 15%, respectivamente.

Com relação as quatro curvas de avanço calculadas com o modelo de LEVIEN⁷, para os quatro exemplos estudados as que mais se aproximam aos dados de campo são as obtidas com os fatores de forma estimados ($r_{y1} = 0,70$; $r_{z1} = 0,75$; $r_{y2} = 0,75$ e $r_{z2} = 0,80$).

Efeitos da Recessão Sobre o Perfil de Infiltração da Irrigação por Sulcos.

Os valores dos tempos de recessão no início e no final do sulco segundo as três hipóteses analisadas e os valores obtidos em campo constam na TABELA 3.

Nas FIGURAS 5, 6, 7 e 8 traçaram-se as curvas de avanço, recessão e perfil de infiltração segundo as três hipóteses de recessão e dados de campo.

A recessão igual ao tempo de aplicação, R_1 , apresenta valores inferiores aos de campo nos diferentes exemplos estudados. Nos exemplos 3 Stieben e 4 Benson recessão no início do sulco aproxima-se dos dados de campo (FIGURAS 7 e 8), no entanto, à medida que se distancia da cabeceira essa diferença cresce. Com a recessão R_1 , o perfil de infiltração é subestimado nos quatro exemplos estudados.

A recessão na cabeceira, R_2 , obtida com a equação 8, apresenta valor inferior ao de campo nos exemplos 1 Ramsey e 2 Horticulture e os valores superiores ao de campo nos exemplos 3 Stieben e 4 Benson no entanto, a medida que se aproxima do final do sulco, a diferença desta recessão, para os dados de campo decresce.

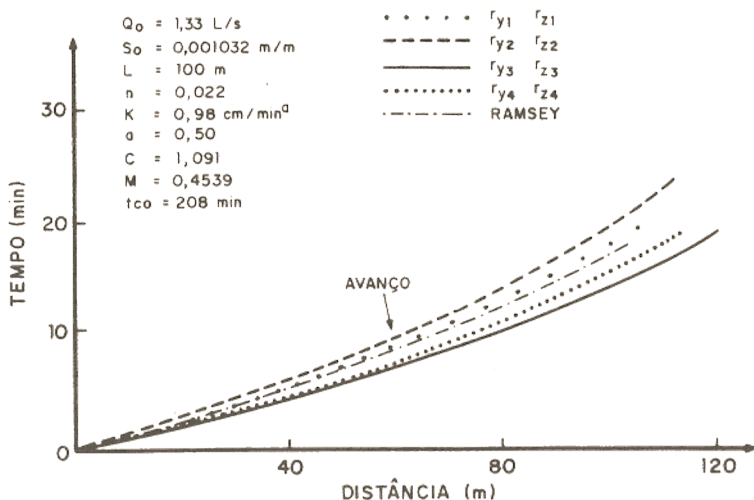


FIGURA 1

Curvas de avanço calculadas pelo modelo algébrico, com fatores de forma variados comparados com dados observados (dados de Ramsey), sulco com comprimento de 100m.

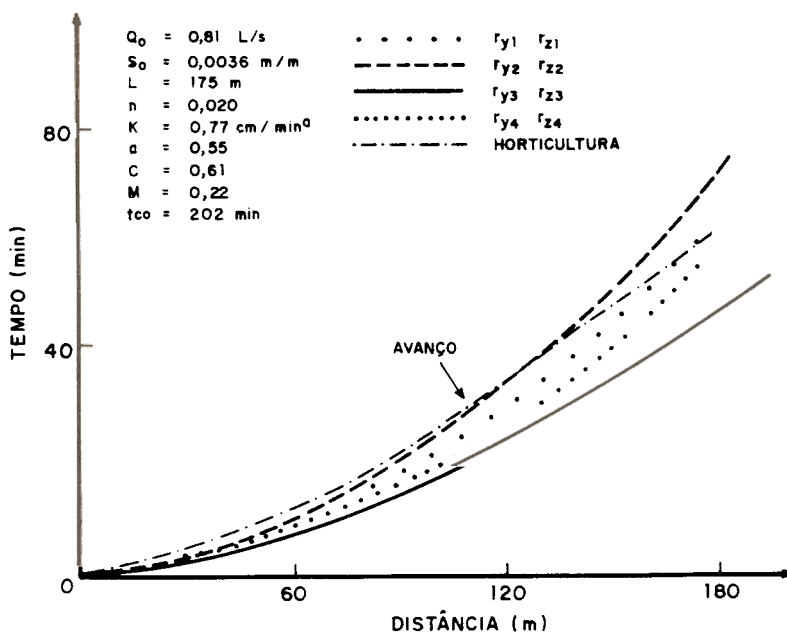


FIGURA 2

Curvas de avanço calculadas pelo modelo algébrico, com fatores de forma variados, comparados com dados observados (dados de Horticulture), sulco com comprimento de 175m

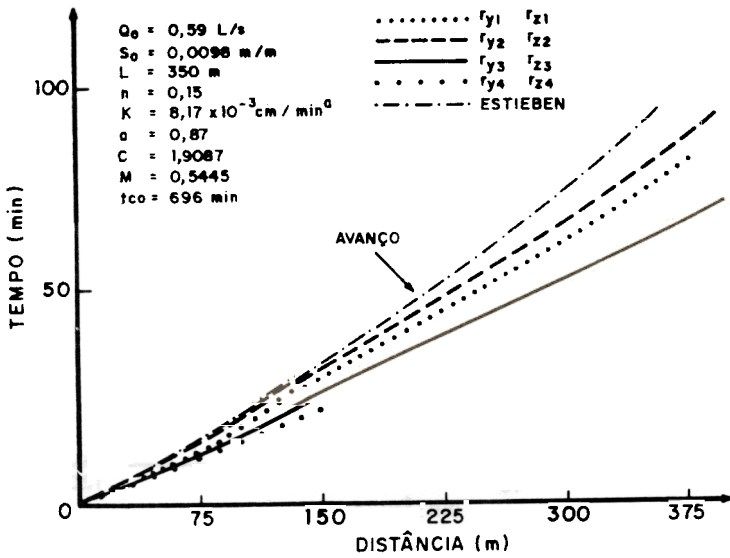


FIGURA 3

Curvas de avanço calculadas pelo modelo algébrico com fatores de forma variados comparados com dados observados (dados de Stieben), sulcos com comprimento de 350m

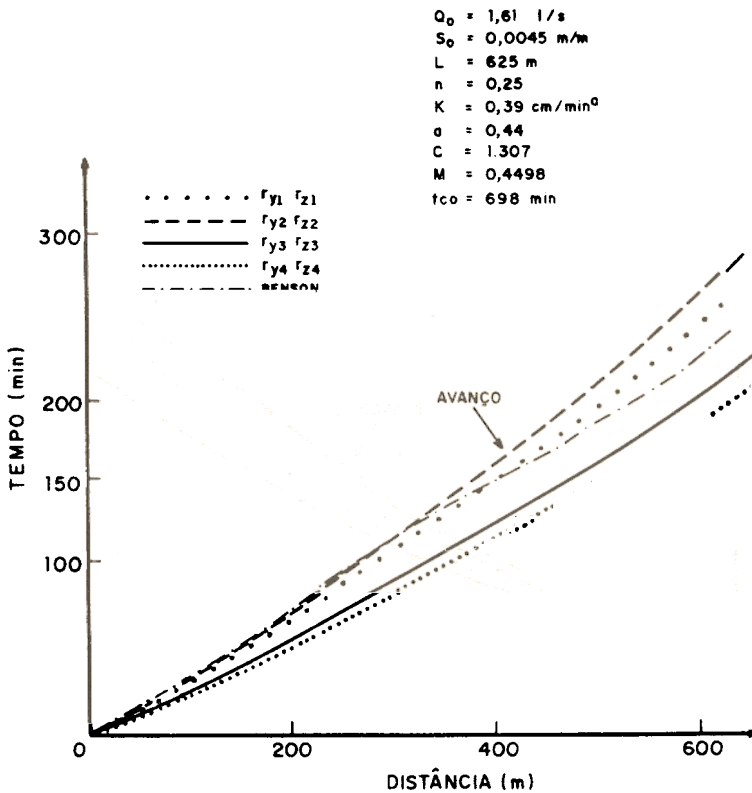


FIGURA 4

Curvas de avanço calculadas pelo modelo algébrico com fatores de forma variados comparados com dados observados (dados de Benson), sulcos com comprimento de 625m

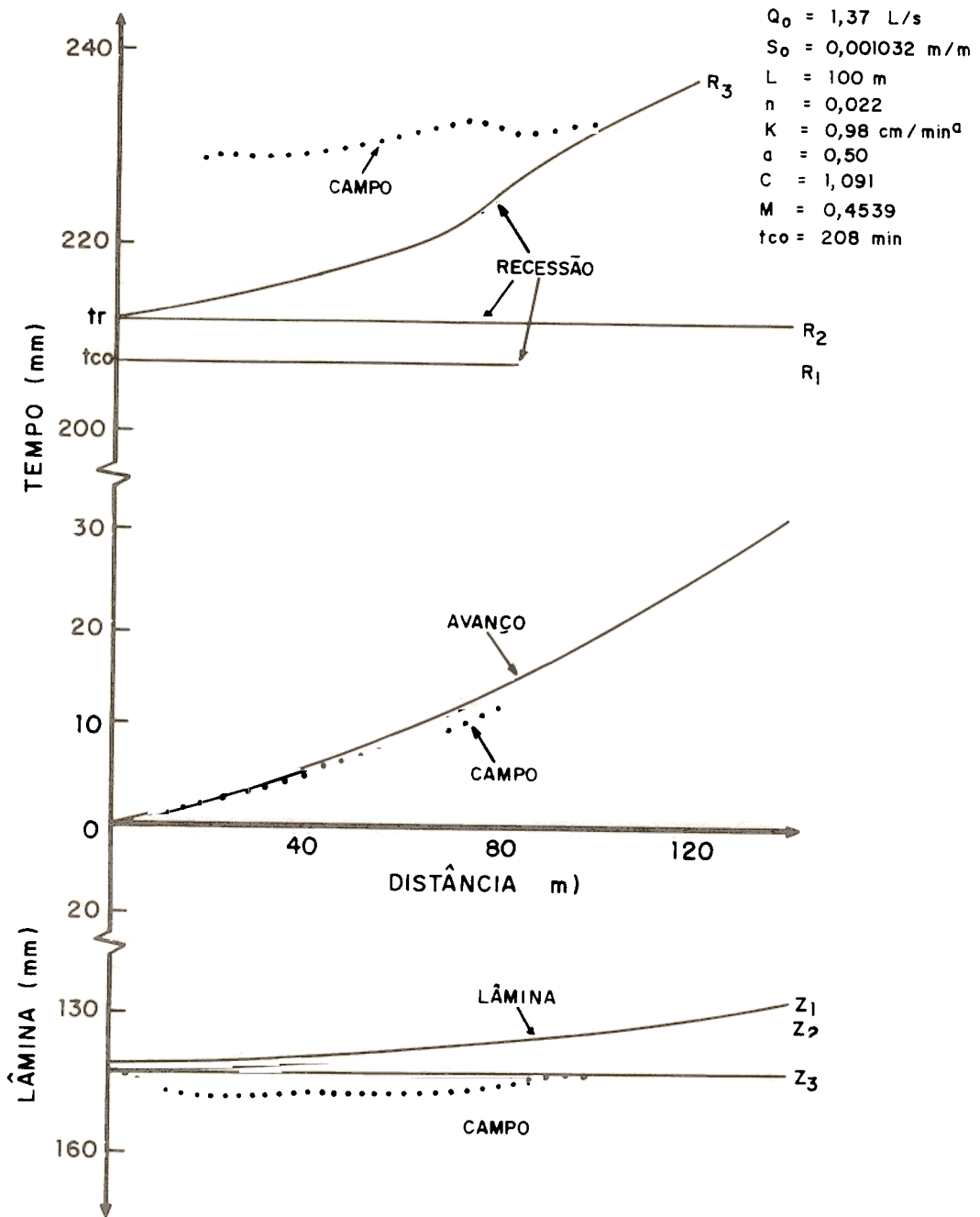


FIGURA 5

Curvas de avanço, recessão e perfil de infiltração calculadas pelo modelo algébrico considerando três casos de recessão, comparados com dados observados (dados de Ramsey), sulcos com comprimento de 100m

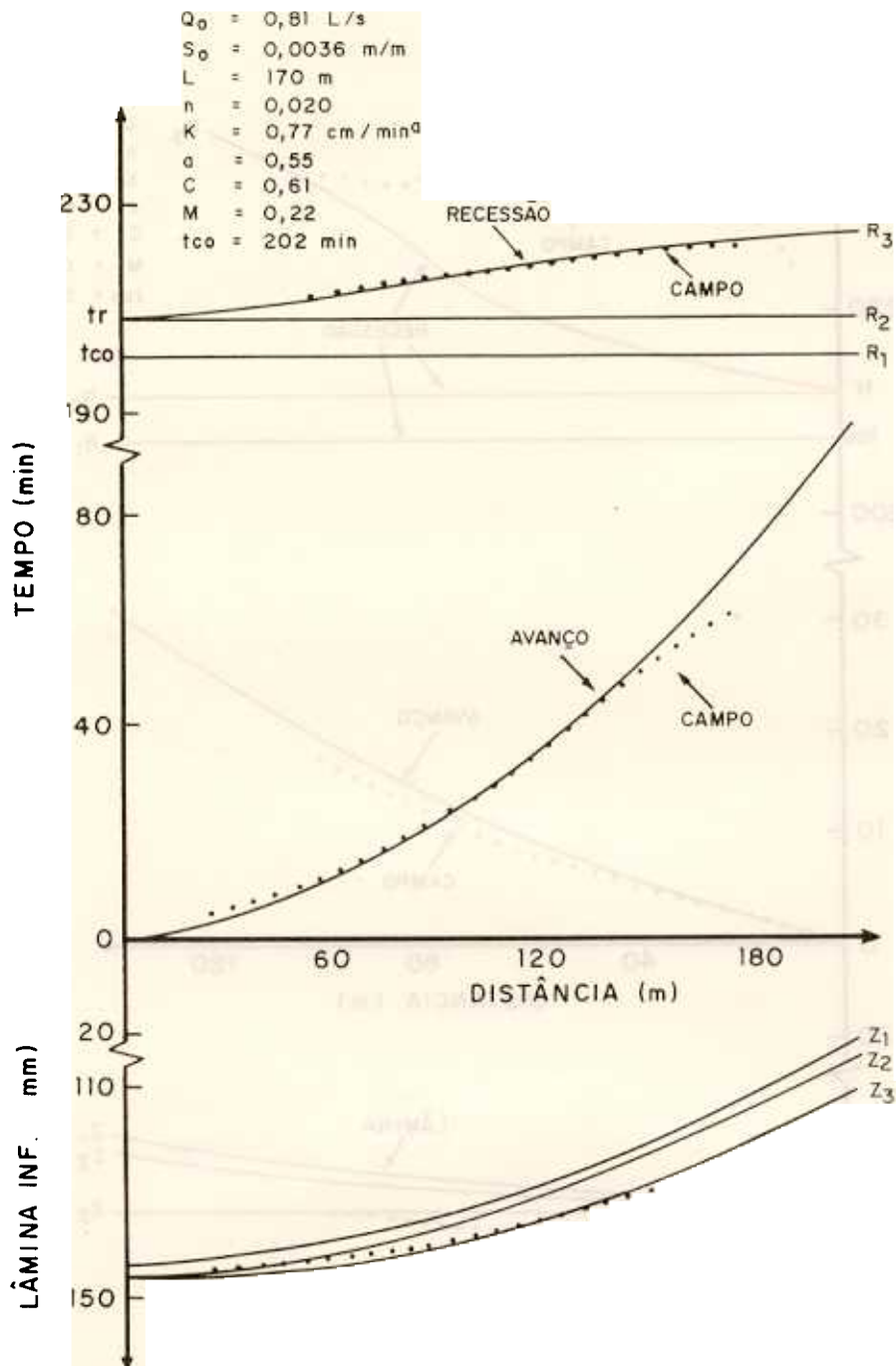


FIGURA 6

Curvas, recessão e perfil de infiltração calculados pelo modelo algébrico considerando três casos de recessão, comparados com dados observados (dados de Horticulture), sulcos com comprimento de 175m

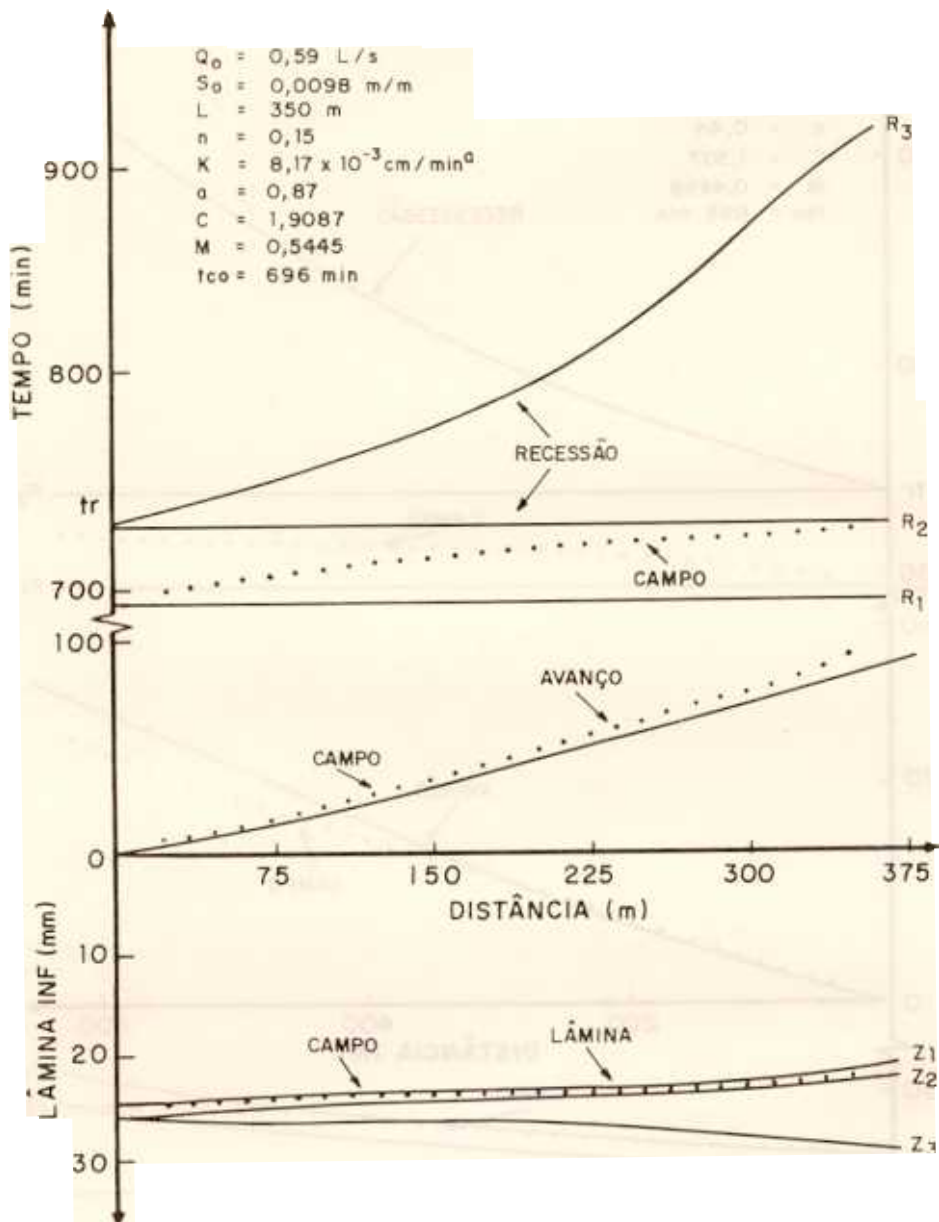


FIGURA 7

Curvas de avanço, recessão e perfil de infiltração calculadas pelo modelo algébrico considerando três casos de recessão, comparados com dados observados (dados de Stieben), sulcos com comprimento de 350m

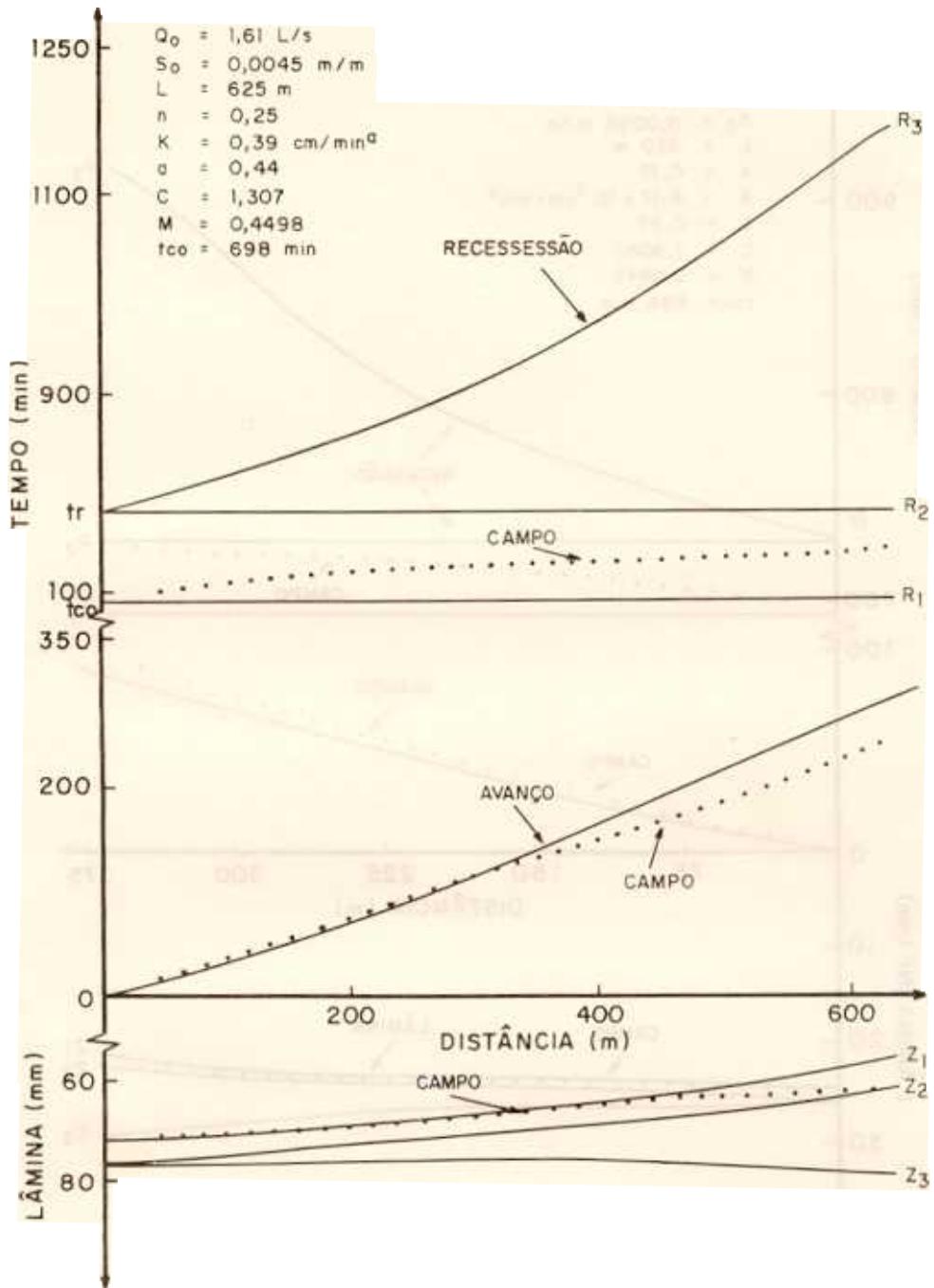


FIGURA 8

Curvas de avanço, recessão e perfil de infiltração calculadas pelo modelo algébrico considerando três casos de recessão, comparados com dados observados (dados de Benson), sulcos com comprimento de 625m

No caso da hipótese 3, em que a recessão é uma curva, R_3 , os resultados aproximam-se aos de campo nos exemplos 1 Ramsey e 2 Horticulture, no entanto, nos exemplos 3 Stieben e 4 Benson a curva de recessão apresenta grande diferença para os valores de campo.

Na TABELA 3, bem como nas FIGURAS 5, 6, 7 e 8 pode-se verificar que, R_1 , recessão igual ao tempo de aplicação, nos quatro exemplos estudados subestima o início da recessão com valores entre 0,29 a 3,3% e o final com 4,8% a 11,1%. Conseqüentemente, o perfil de infiltração é subestimado nos quatro exemplos.

Para a recessão igual a recessão na cabeceira do sulco, R_2 , na TABELA 3, bem como nas FIGURAS 5, 6, 7 e 8 observa-se que o início da recessão é subestimado com valor máximo de aproximadamente 13%, enquanto que, o final da recessão é subestimado com valor de até 9,2% e superestimado com valor de aproximadamente 5,7%, com relação aos dados de campo. No entanto, o perfil de infiltração obtida admitindo R_2 , é subestimado, nos exemplos 1 Ramsey e 2 Horticulture, e nos exemplos 3 Stieben e 4 Benson apresenta valores que expressam os dados de campo.

Com a recessão uma curva, R_3 , observa-se na TABELA 3 e, portanto, nas FIGURAS 5, 6, 7 e 8, que a recessão nos exemplos estudados apresenta diferença dos valores de campo, sendo, da seguinte forma; com o início sendo subestimado em, aproximadamente, 1,14% e superestimado em 13%, enquanto que, o final é subestimado em menos de meio por cento e superestimado em cerca de 56% aproximadamente. Com essa variação na recessão, pode-se observar na FIGURA 5, 6, 7 e 8, seus efeitos no perfil de infiltração.

Com relação às três maneiras de calcular, a recessão neste trabalho, R_1 , R_2 e R_3 , pode-se observar que, para sulcos pequenos, menores de 200m (Ramsey e Horticulture) os melhores resultados são para a hipótese R_3 , em que a curva de recessão é dada pela equação 9, do modelo de LEVIEN⁷. Para sulcos mais longos, é aparente que a melhor representação da re-

cessão e a hipótese R_2 , na qual a recessão na cabeceira do sulco é dada pela equação 8 e o resultado da curva é uma reta paralela ao eixo das abscissas.

CONCLUSÕES

1 - Os fatores de forma dos perfis superficiais e subsuperficiais são bem representados por valores já consagrados na literatura, tais como, $r_y = 0,70$ e $r_z = 0,75$;

2 - Nos sulcos menores de 200m, a melhor representação para a curva de recessão é a hipótese na qual a recessão na cabeceira do sulco é dada pela equação 9 de LEVIEN⁷ e representada graficamente como uma curva;

3 - Nos sulcos longos, a melhor representação para a curva de recessão é a hipótese na qual a recessão na cabeceira do sulco é dada pela equação 8, e o resultado é uma reta paralela ao eixo das abscissas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BASSET, D.L. A mathematical Model of Water advance in Border Irrigation. **Transactions of the ASCE.** 15(5):992-995. 1972.
2. BASSET, D.L. & FITZSMONS, D.E. Simulating Overland flow in Border Irrigations. **Transactions of the ASCE.** 19(4):674-680. 1973.
3. DAVIS, J.R. Estimating rate of advance for Irrigation Furrows. In: Proceedings of the ARS-SCS, Workshop in Hydraulics of surface Irr., Denver, 1960, p.67-86.
4. FOK, Y.S. and BISHOP, A.A. Analysis of water advance in surface irrigation - J. of the Irr. and Drain. Div. 91(IR1):263-265. 1965.
5. KARMELI, D. Assessing the Spatial Variability of Irrigation Water Applications. Department of Agricultural and Chemical Engineering. Colorado State University, Fort Collins, 1979, 201 p.

6. KATOPODES, N.D. & STRELKOFF, T. Hydrodynamics of Border Irrigation - Complete Model. J. of the Irri. and Drain. Div., ASCE, 103(IR3):309-324. 1977.
7. LEVIEN, S.L.A. Desenvolvimento de Modelo Matemático Simplificado da Irrigação Superficial por Sulcos Abertos em Declive. Fortaleza, UFC, 1985. 91p. (Dissertação de Mestrado).
8. RAMSEY, M.K. Intake characteristics and flow resistance in irrigations furrows. University of Arizona. 1976. (Tese de Mestrado).
9. SAKKAS, J.G. & STRELKOFF, T. Hydrodynamics of surface Irrigations. Advance Phase. J. of the Irri. and Drain. Div. ASCE, 100(IR1):31-48. 1974.
10. SOUZA, F. de. Nonlinear Hydrodynamic Model of Furrow Irrigation. University of California, Davis, 172p. 1981. (Tese de Doutorado).
11. SOUZA, F. de. Hidráulica da Irrigação por Superfície. DENA/CCA/UFC, 54p. 1983. (mimeografado).
12. SOUZA, F. de. Modelo Matemático da Irrigação por Sulcos. Pesq. Agropec. Bras. 19(9):1135-1143. 1984.
13. STRELKOFF, T. Algebraic Computation of Flow in Border Irrigation. J. of the Irri. and Drain. Div. ASCE. 103(IR3):357-377. 1977.
14. WILKE, O.C. and SMERDON, E.T. A Solution of the Irrigation advance problem. J. of the Irri. and Drain. Div. 91:23-34. 1965.
15. WILKE, O.C. "A hydrodynamic Study of Flow in Irrigation Furrows". Texas A & M University, Water Resources Institute. 1968. (Tech. Report No. 13).