

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA

***INFLUÊNCIA DA INTENSIDADE
DE PRECIPITAÇÃO NA PERDA
DE SOLO E NAS
CARACTERÍSTICAS DE
INFILTRAÇÃO DE ÁGUA DE UM
PLANOSSOLO, UTILIZANDO
UM SIMULADOR DE CHUVAS***
RELATÓRIO FINAL

Daniel Fonseca de Carvalho, D.S. – Prof. Adjunto II (COORDENADOR)

SEROPÉDICA – RJ
DEZEMBRO – 2000

RELATORIO FINAL

Este projeto de pesquisa foi submetido à apreciação do comitê de avaliação para bolsas do PIBIC/CNPq/UFRRJ, em abril de 1999. Em julho de 1999, este mesmo projeto foi enviado ao CNPq para solicitação de recursos, o qual foi viabilizado financeiramente e catalogado com o número 420047/99-9. Nesta etapa, o Professor Teodorico Alves Sobrinho, da UFMS-Dourados-MS, participou como colaborador.

A seguir serão descritas as etapas cumpridas para a execução do projeto bem como alguns resultados obtidos, conforme os objetivos do mesmo. Deve ser ressaltado que as etapas previstas no cronograma foram cumpridas e o bolsista participou ativamente de todas as atividades relacionadas, sendo fundamental para a execução deste projeto. Além disso, pela necessidade que demandava os testes no campo, a coleta de dados foi realizada com a ajuda de três estagiários. Apesar disso, todas as etapas previstas foram cumpridas.

1. Revisão Mecânica do Equipamento

No início do período de trabalho foi necessário uma revisão criteriosa do equipamento, pelo fato deste se encontrar há alguns anos em desuso. Conforme Figura 1 apresentada no projeto, o painel de controle eletrônico estava danificado, necessitando de uma revisão em oficina especializada. Além disso, os dois geradores necessários para a alimentação elétrica do painel para uso em campo estavam danificados, não mantendo a tensão estabilizada e por isso, foi realizada uma conversão no painel possibilitando a sua utilização a partir de uma simples tomada 110 V.

Cronograma parcial	
Etapa	Período de execução
Revisão do painel de controle	de outubro a dezembro de 1999

2. Avaliação Hidráulica do Equipamento

Conforme metodologia apresentada no projeto, pelo desconhecimento das condições operacionais e para melhor se caracterizar o equipamento, foi realizada uma avaliação hidráulica completa do mesmo a fim de se ter condições adequadas para se simular chuvas de diferentes intensidades, similares às chuvas naturais. Essa etapa foi realizada em laboratório, onde foram estudadas características como velocidade de impacto, energia cinética das gotas e diâmetro médio das gotas para o simulador equipado com bicos “Vee-Jet” 80.100 e 80.150, produzidos pela Spraying Systems do Brasil, trabalhando sob diferentes condições de funcionamento.

Seguindo a formulação matemática apresentada no projeto (equações de 2 a 6), foi desenvolvido um programa computacional, com a ajuda do Prof. Teodorico Alves Sobrinho (UFMS), utilizando o software DELPHI, em ambiente Windows 95. O programa foi utilizado para determinar a velocidade das gotas da chuva simulada pelos bicos e a energia cinética das chuvas simulada e natural. No anexo 1, está apresentado um trabalho científico sobre o desenvolvimento do programa, que já se encontra pronto para ser enviado para publicação (Revista Engenharia Rural – Piracicaba/SP). A Figura 1 apresenta o formulário de entrada de dados do programa.

Intensidade de precipitação	Tempo de queda da gota
<input type="text"/> mm/h	<input type="text"/> s
Diâmetro médio da gota	Velocidade inicial da gota
<input type="text"/> mm	<input type="text"/> m/s
Pressão de serviço	Velocidade final
<input type="text"/> PSI	<input type="text"/> m/s
Altura do bico	E.C simulada
<input type="text"/> m	<input type="text"/> J/m ²
	E.C Natural
	<input type="text"/> J/m ²
	% E.C simulada/natural
	<input type="text"/> %

Calcular Limpar dados Sair

Figura 1 – Formulário para entrada de dados para o cálculo das variáveis da chuva simulada.

Das variáveis de entrada, o diâmetro médio da gota foi estimado utilizando o método da farinha, segundo metodologia apresentada no projeto. Os testes foram realizados com os bicos submetidos às pressões de, aproximadamente 14,2 kPa, 28,4 kPa, e 35,6 kPa, para regulagens do relógio de ciclo de 1,5 seg. ciclo⁻¹, 2,0 seg. ciclo⁻¹, 2,5 seg. ciclo⁻¹ e 3,0 seg. ciclo⁻¹. A pressão foi medida a 0,10 m da saída do bocal, utilizando-se um manômetro antivibrante com saída angular, provido de mostrador de 63 mm e escala de 0 a 100 kPa. Para cada determinação, foram utilizadas três bandejas com farinha de trigo, as quais foram passadas sob jato de gotas pulverizadas pelo bico, a 0,20 m da superfície do solo para evitar respingos. As bandejas ficaram expostas à precipitação durante um período de 3 a 4 segundos aproximadamente. Após secos ao ar por um período de 24 horas, os grânulos foram separados por peneiramento, utilizando as peneiras 4; 2; 1; 0,5; 0,25 e 0,105 mm, e depois secos em estufa por 24 horas (105°-110°) sendo, então, pesados em balança eletrônica, obtendo-se a massa média dos grânulos. Seguindo a formulação matemática, foram determinados os diâmetros médios de gotas para as diferentes pressões de serviço e diâmetro de bico. No anexo 2 é apresentado um trabalho científico descrevendo a avaliação hidráulica do equipamento, o qual foi apresentado no XXIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA, realizado em Fortaleza, em julho de 2000, e posteriormente enviado para publicação na Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, estando catalogado com número 053/2000.

Cronograma parcial	
Etapa	Período de execução
Elaboração do programa computacional	de novembro de 1999 a janeiro de 2000
Determinação do diâmetro médio de gotas	de dezembro a fevereiro de 2000
Elaboração do trabalho científico	março de 2000

3. Testes preliminares

Antes de se instalar o experimento propriamente, foram realizados testes preliminares com o objetivo de se estudar o comportamento do solo às intensidades de precipitação previstas bem como verificar o desempenho do equipamento, submetido às condições de campo. Entretanto, o único jogo de calhas de coleta existente estava danificado e por isso, antes de se iniciarem os testes no campo, foi necessário se construir um novo conjunto. Esta fase foi realizada na Central de Apoio do Instituto de Tecnologia. Também foi necessária a instalação de uma linha de transmissão bifásica, de aproximadamente 150 m, para a alimentação elétrica do equipamento.

Cronograma parcial	
Etapa	Período de execução
Construção da calha	de abril a maio de 2000
Construção da linha elétrica	Maio de 2000
Testes preliminares	Junho de 2000

4. Instalação do experimento

Ao contrário do que foi citado no projeto, todo experimento foi conduzido em uma área localizada no SIPA – Sistema de produção agro-ecológico – EMBRAPA/UFRRJ/PESAGRO, cujo o solo é classificado como Podzólico vermelho-amarelo, Tb distrófico, A moderado e textura média/argilosa. Essa mudança do local da instalação do experimento e do tipo de solo previstos não comprometeu a execução do projeto, uma vez que, o mais importante no momento, era se utilizar da metodologia para uma dada condição, não importando o tipo de solo. A Tabela 1 apresenta algumas características físicas e químicas do solo utilizado, sendo sua declividade média em torno de 8,0%.

Em função da avaliação preliminar feita no equipamento, com relação ao tipo de bico, pressão de serviço e velocidade de ciclo, foi selecionado o bico “*Vee-Jet*” 80.150,

submetido à pressão de 34,0 kPa (5 PSI) (trabalho do Anexo 2). Trabalhando com esta combinação de bico e pressão, o equipamento foi regulado a fim de aplicar as intensidades de precipitação previstas em cada estimativa. A Figura 2 apresenta o resultado da regulagem do painel de controle e as respectivas intensidades de precipitação obtidas. Com a utilização desta Figura, foram selecionados os tempos de 4,01s, 2,8s, 2,1s, 1,65s e 1,35s para precipitações de 30, 40, 50, 60 e 70 mm/h, respectivamente.

Tabela 1 – Algumas características físicas e químicas do solo utilizado

Horizonte	Profundidade (cm)	Composição granulométrica da Terra fina (g/kg)			
		Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila
Ap	0 - 20	460	83	172	85
Bt2	80-100	210	51	141	598

Horizonte	Profundidade (cm)	Complexo Sortivo (cmol _e /kg)					
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ²⁺	Al ³⁺	H ⁺
Ap	0 - 20	2,5	2,2	0,26	0,04	0	3,3
Bt2	80 - 100	0,3	1,3	0,04	0,07	0,9	1,8

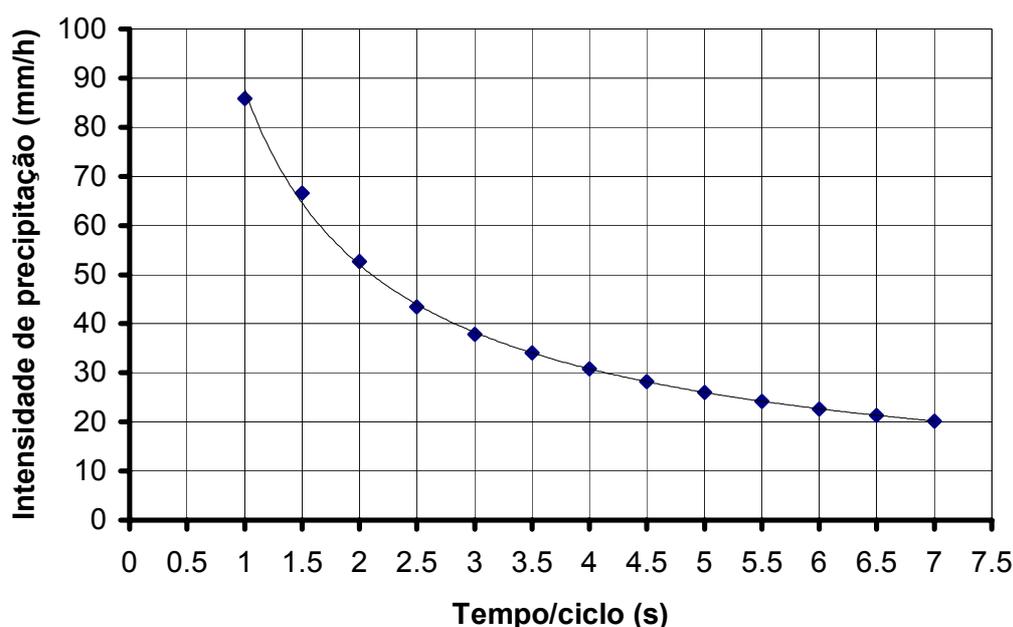


Figura 2 – Regulagens do relógio de ciclo em função da intensidade de precipitação

4.1 Preparo do terreno

A área utilizada estava sendo cultivada com feijão de porco, que foi cortado e mantido como cobertura. Os testes de perda de solo e água foram realizados nesta condição. Para os testes de infiltração, o terreno foi uniformizado e regularizado com a utilização de uma grade aradora.

4.2 Estimativa da perda de solo e água

Para cada intensidade e duração especificadas, o simulador foi regulado para aplicar uma chuva em uma área útil de 0,80 m², que foi definida pelas dimensões da calha, cravada no solo a 15 centímetros de profundidade. A calha foi ligada a um dispositivo, tipo funil, direcionado no sentido da declividade do terreno, de modo a permitir a coleta da água e solo arrastados pela chuva.

Foi utilizado um delineamento casualizado, com 5 tratamentos e 4 repetições. As intensidades de precipitação (tratamentos) aplicadas foram de 30, 40, 50 60 e 70 mm/h. Estes valores variaram em torno da média aritmética das 8 maiores chuvas acima de 25 mm/h, que foi de 55 mm/h. As durações foram fixadas em 5, 10, 15, 20, 25, 30 e 35 min. Antes de se iniciar a coleta dos dados para as intensidades e durações especificadas, as parcelas sofreram um pré-molhamento com o objetivo de oferecer condições de umidade uniformes a todas as parcelas, durante um tempo suficiente para saturar o solo, sem que houvesse escoamento superficial e conseqüentemente carreamento de solo para a calha coletora.

O teste teve início com a coleta de sete amostras em cada parcela, em recipientes de 1 litro, em intervalos de 5 min entre cada amostra. A metodologia seguida foi apresentada com detalhes no projeto de pesquisa.

No final de cada teste, as amostras foram encaminhadas ao laboratório para a determinação da quantidade de solo presente no escoamento superficial. Este procedimento foi realizado no laboratório de Gênese e Classificação do Solo do Instituto de Agronomia da UFRRJ, onde as amostras foram colocadas em becker de 1 (um) litro sobre manta elétrica, para a água se evaporar parcialmente. Em seguida, as

amostras foram colocadas em estufa, numa temperatura de 105 °C por um período de 24 horas, visando a completa evaporação da água contidas nas mesmas. Os resultados destes testes estão apresentados na Tabela 2.

Nesta análise, equações de regressão foram ajustadas para melhor representarem a variação da perda de solo e água em função da intensidade de aplicação da chuva. No Anexo 3, está apresentado o trabalho encaminhado à Jornada de Iniciação Científica da UFRRJ.

4.3 Estimativa da velocidade de infiltração

Os testes de infiltração foram realizados na mesma área utilizada no teste anterior. Entretanto, o terreno foi preparado e uniformizado com a utilização de uma grade aradora. Para a estimativa da velocidade de infiltração, os seguintes tratamentos foram considerados: quatro intensidades de precipitação (30, 40, 50, 60 mm/h) aplicadas com o simulador de chuvas (infiltrômetro de aspersão) e pelo infiltrômetro de anel, em um delineamento casualizado com quatro repetições. Para a aplicação correta em cada intensidade, o simulador foi calibrado conforme procedimento descrito anteriormente.

Antes de cada teste de infiltração, foram coletadas amostras de solo para a determinação da umidade, a 0,20 m das parcelas, nas camadas de 0 a 0,20 e 0,20 a 0,40.

No método de infiltrômetro de aspersão, a coleta de água escoada foi realizada na calha, conforme procedimento utilizado no item anterior. Foram considerados os intervalos de tempo de 1, 2, 5, 10 e 15 minutos, com 5 repetições em cada intervalo, até que o escoamento superficial se tornasse constante em cada parcela. Em cada intervalo de tempo considerado, foi coletado um volume de escoamento superficial durante 1 minuto. O mesmo posteriormente era colocado em uma proveta de 1000 ml para a determinação do volume coletado. A lâmina infiltrada é obtida por diferença, uma vez que se conhece a lâmina precipitada.

A estimativa da velocidade de infiltração com o infiltrômetro de anel foi realizada fazendo-se leitura da lâmina de água no tanque de abastecimento em

Tabela 2 – Volumes de volume de água e massa de solo coletados com o infiltrômetro para diferentes intensidades de precipitação e tempo

Rep. 1	Intensidade de precipitação									
	30 mm/h		40 mm/h		50 mm/h		60 mm/h		70 mm/h	
Tempo (min)	Vol. (ml)	Massa (g)	Vol. (ml)	Massa (g)	Vol. (ml)	Massa (g)	Vol. (ml)	Massa (g)	Vol. (ml)	Massa (g)
5	250	0,2800	150	0,1778	420	0,8317	180	0,2809	470	0,6190
10	390	0,4718	370	0,2866	630	1,1600	420	0,4242	700	0,9300
15	375	0,6172	540	0,3612	740	0,9949	570	0,6797	835	1,3630
20	315	0,3868	590	0,5018	890	1,4471	840	0,8792	960	2,3955
25	350	0,3968	540	0,2630	950	1,4527	910	1,0396	970	2,1506
30	470	0,5911	840	0,6371	1000	1,5246	960	0,9772	1000	2,0484
35	550	0,5585	780	0,4013	1000	1,4353	980	0,9414	1000	2,1122
Rep. 2	30 mm/h		40 mm/h		50 mm/h		60 mm/h		70 mm/h	
Tempo (min)	Vol. (ml)	Massa (g)	Vol. (ml)	Massa (g)	Vol. (ml)	Massa (g)	Vol. (ml)	Massa (g)	Vol. (ml)	Massa (g)
5	60	0,0219	110	0,0849	400	0,7498	90	0,0510	640	1,3269
10	70	0,0626	84	0,0722	450	0,6932	100	0,0520	995	1,9035
15	90	0,0405	122	0,1378	490	0,7180	150	0,0934	985	2,2620
20	80	0,0538	233	0,2511	525	0,7927	160	0,0817	990	1,6769
25	105	0,0654	330	0,3291	605	0,7981	235	0,1298	995	2,8162
30	100	0,0651	380	0,8364	670	0,6916	250	0,1182	980	2,3086
35	110	0,0919	580	0,5172	755	0,8600	205	0,1862	985	2,3249
Rep. 3	30 mm/h		40 mm/h		50 mm/h		60 mm/h		70 mm/h	
Tempo (min)	Vol. (ml)	Massa (g)	Vol. (ml)	Massa (g)	Vol. (ml)	Massa (g)	Vol. (ml)	Massa (g)	Vol. (ml)	Massa (g)
5	180	0,1989	630	1,3381	340	0,7601	320	0,2732	780	1,8587
10	200	0,2426	880	1,4216	760	1,5532	320	0,2716	950	2,1351
15	250	0,4484	985	1,3760	980	0,7520	530	0,4901	950	2,3919
20	125	0,0871	990	1,1300	980	1,3553	930	1,1325	950	1,8650
25	250	0,3586	980	1,1618	975	2,2519	1000	1,1630	960	8,5568
30	320	0,5055	995	1,1189	985	1,2335	980	1,2652	960	2,6727
35	330	0,3107	1000	1,0433	980	1,1106	1000	?	990	1,8278
Rep. 4	30 mm/h		40 mm/h		50 mm/h		60 mm/h		70 mm/h	
Tempo (min)	Vol. (ml)	Massa (g)	Vol. (ml)	Massa (g)	Vol. (ml)	Massa (g)	Vol. (ml)	Massa (g)	Vol. (ml)	Massa (g)
5	94	2,2247	830	?	540	0,7464	245	0,1989	230	0,3637
10	81	0,0201	980	1,2598	550	0,7324	430	0,2604	210	0,3257
15	92	0,5276	965	1,1174	590	0,6887	390	0,4888	200	0,2543
20	122	0,0751	980	1,1115	700	0,6808	615	0,9298	180	0,2064
25	160	0,1115	990	1,0897	650	0,5445	690	0,9868	230	0,2156
30	181	0,1484	990	0,6117	655	0,4628	810	1,1155	195	0,5894
35	220	0,2023	990	0,9893	680	0,4922	980	1,1559	270	0,2347

intervalos de 1, 2, 3 e 4 min, até que a variação de leitura permanecesse constante no intervalo de tempo.

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos com o infiltrômetro de anel. Os volumes escoados superficialmente obtidos com o infiltrômetro de aspersão são apresentados nas Tabela 4, 5, 6 e 7, para as intensidades de 40, 50, 60 e 70 mm/h, respectivamente. A quarta repetição do teste com infiltrômetro de aspersão, para todas as intensidades de precipitação, ainda estão sendo realizadas.

Tabela 3 – Dados de infiltração obtidos com o infiltrômetro de anel

Teste 1		Teste 2		Teste 3		Teste 4	
Tempo (min)	Leitura						
1	78	1	76,8	1	80,0	1	73,2
2	75	2	76,5	2	76,5	2	73,1
3	74	3	76,2	3	76,0	3	72,8
5	72,8	4	75,9	5	75,8	4	72,5
7	72,4	5	75,7	7	75,7	5	72,3
9	72,0	7	75,5	9	75,5	7	72,0
11	71,6	9	75,4	11	75,4	9	71,6
13	71,3	11	75,1	13	75,3	11	71,1
18	70,8	13	75,0	18	75,2	13	70,7
23	70,0	18	74,4	23	74,9	18	70,0
28	69,3	23	74,0	28	74,6	23	69,1
33	68,5	28	73,6	33	74,2	28	68,3
43	67,2	33	73,2	43	73,8	33	67,4
53	66,0	43	72,4	53	73,4	38	66,5
63	64,8	53	71,7	63	73,0	48	65,0
73	63,4	63	70,0			58	63,5
83	62,1	73	70,3			68	62,1
93	61,0	83	69,6			78	60,7
108	59,3	93	69,0			88	59,2
123	57,6						
138	55,9						
143	54,3						
158	52,7						

Tabela 4 – Volume escoado obtido com o infiltrômetro de aspersão para 40 mm/h

Teste 1		Teste 2		Teste 3	
Tempo (min)	Volume (ml)	Tempo (min)	Volume (ml)	Tempo (min)	Volume (ml)
1	30	1	85	1	260
3	100	3	110	3	310
5	130	5	110	5	335
7	200	7	130	7	380
9	230	9	150	9	410
12	270	12	150	12	450
15	310	15	160	15	480
18	245	18	185	18	500
21	290	21	190	21	520
24	290	24	180	24	50
30	310	30	215	30	550
36	330	36	230	36	590
42	360	42	245	42	590
48	380	48	240	48	605
54	390	54	240	54	600
65	400	65	285	65	600
76	400	76	320	76	600
87	420	87	290	87	600
98	420	98	330		
109	420	109	60		
		125	390		
		141	390		
		157	390		

Tabela 5 – Volume escoado obtido com o infiltrômetro de aspersão para 50 mm/h

Teste 1		Teste 2		Teste 3	
Tempo (min)	Volume (ml)	Tempo (min)	Volume (ml)	Tempo (min)	Volume (ml)
1	10	1	255	1	100
3	580	3	270	3	180
5	630	5	280	5	290
7	620	7	310	7	460
9	650	9	330	9	540
12	635	12	350	12	670
15	650	15	390	15	685
18	665	18	420	18	720
21	700	21	450	21	730
24	650	24	465	24	740
30	665	30	510	30	755
36	710	36	545	36	770
42	690	42	680	42	750
48	700	48	620	48	790
54	690	54	630	54	770
65	735	65	650	65	790
76	700	76	660	76	775
87	675	87	675	87	760
98	660	98	670	98	760
109	660	109	700	109	760
125	660	125	740		
141	660	141	745		
		157	740		
		173	745		
		189	745		

Tabela 6 – Volume escoado obtido com o infiltrômetro de aspersão para 60 mm/h

Teste 1		Teste 2		Teste 3	
Tempo (min)	Volume (ml)	Tempo (min)	Volume (ml)	Tempo (min)	Volume (ml)
1	190	1	195	1	310
3	325	3	280	3	430
5	410	5	335	5	500
7	465	7	385	7	550
9	535	9	410	9	630
12	560	12	400	12	700
15	585	15	420	15	750
18	630	18	410	18	820
21	655	21	440	21	880
24	685	24	480	24	910
30	720	30	500	30	920
36	720	36	500	36	990
42	710	42	550	42	970
48	720	48	630	48	970
54	720	54	550	54	995
65	735	65	500	65	1025
76	760	76	535	76	1020
87	760	87	630	87	1000
98	760	98	650	98	1000
109	760	109	640	109	1000
		125	680	125	1000
		141	680		
		157	680		

Tabela 7 – Volume escoado obtido com o infiltrômetro de aspersão para 70 mm/h

Teste 1		Teste 2		Teste 3	
Tempo (min)	Volume (ml)	Tempo (min)	Volume (ml)	Tempo (min)	Volume (ml)
1	320	1	310	1	100
3	520	3	440	3	145
5	680	5	615	5	215
7	750	7	720	7	290
9	770	9	705	9	330
12	800	12	710	12	310
15	840	15	740	15	450
18	870	18	710	18	435
21	890	21	730	21	500
24	865	24	740	24	485
30	895	30	700	30	545
36	920	36	785	36	530
42	910	42	745	42	385
48	900	48	785	48	560
54	90	54	800	54	520
65	950	65	800	65	560
76	1000	76	810	76	610
87	1000	87	820	87	610
98	1040	98	850	98	650
109	1040	109	885	109	650
125	1040	125	895	125	650
		141	910		
		157	985		
		173	945		
		189	940		
		205	960		
		221	1010		
		242	960		
		263	820		
		284	960		
		305	960		
		326	960		

Com os resultados obtidos, foi confeccionado um trabalho científico que foi encaminhado ao Congresso Internacional de Engenharia Agrícola, a ser realizado no Chile no período de 9 a 11 de maio de 2001(Anexo 4).

Cronograma parcial	
Etapa	Período de execução
Estimativa das perdas de solo e água	de julho a agosto de 2000
Estimativa da velocidade de infiltração	de agosto a outubro de 2000

ANEXO 1

ANEXO 2

ANEXO 3

ANEXO 4