

AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA DE DRENAGEM E TRATAMENTOS MECÂNICOS
NA RECUPERAÇÃO DE UM SOLO SÓDICO NO VALE DO CURU-CE.

RAIMUNDO NONATO TÁVORA COSTA

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À COORDENAÇÃO DO CURSO DE
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA COM ÁREA DE CONCENTRAÇÃO
EM IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, COMO REQUISITO PARCIAL PARA A
OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

FORTALEZA - 1988

Esta dissertação foi submetida como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Agronomia, Área de Concentração em Irrigação e Drenagem, outorgado pela Universidade Federal do Ceará, e encontra-se à disposição dos interessados na Biblioteca Central da referida Universidade.

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

Raimundo Nonato Távora Costa

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 14/08/1988.

Prof. Luís Carlos Uchôa Saunders, Dr.
Orientador

Prof. Fernando Felipe Ferreyra Hernandez, Dr.
Conselheiro

Prof. José Osório Costa, M.S.
Conselheiro

Aos meus pais LUIZ e CARMENSITA,
pelo exemplo de vida.

Aos meus irmãos,
SOCORRO, JOSÉ ROCHA e DOMINGOS
SÁVIO.

D E D I C O

AGRADECIMENTOS

À DEUS, pelas forças espirituais sempre presentes.

À Universidade Federal do Ceará, pela oportunidade concedida para a realização desse Curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pela bolsa de estudo concedida durante o Curso.

Ao Programa de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - PDCT-Ce(02), pela vinculação da pesquisa a nível de campo.

Ao professor Luís Carlos Uchôa Saunders, pela orientação dada durante a realização deste trabalho.

Aos professores Fernando Felipe Ferreyra Hernandez e José Osório Costa, pelas sugestões e críticas apresentadas.

Ao professor Francisco Marcus Lima Bezerra por suas sugestões.

À todos os professores do Curso de Mestrado, particularmente àqueles do Departamento de Engenharia Agrícola, pelos ensinamentos transmitidos.

Aos colegas de curso, pela amizade e pelo convívio durante esses anos.

Enfim, a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS	
LISTA DE FIGURAS	
RESUMO	
SUMMARY	
1 - <u>INTRODUÇÃO</u>	1
2 - <u>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</u>	3
2.1 - <u>Condutividade Hidráulica</u>	3
2.2 - <u>Profundidade, Espaçamento e Eficiência de Drenos Subterrâneos</u>	5
2.3 - <u>Lavagem de Sais Solúveis e Aplicação de Gesso</u>	11
3 - <u>MATERIAL E MÉTODOS</u>	15
3.1 - <u>Caracterização da Área Experimental</u>	15
3.2 - <u>Determinação das Características Físico-Hídricas do Solo</u>	17
3.3 - <u>Instalação do Experimento</u>	20
3.3.1 - <u>Instalação dos drenos parcelares</u>	20
3.3.2 - <u>Instalação das baterias de poços de observação</u>	23
3.4 - <u>Elementos Básicos de Irrigação</u>	24
3.5 - <u>Leitura dos Poços de Observação e Descarga dos Drenos Parcelares</u>	26
3.6 - <u>Cálculo da Quantidade de Gesso Requerida</u>	28
3.7 - <u>Análise Química das Águas de Irrigação, dos Poços de Observação e Drenos Parcelares</u>	30

3.8 - <u>Determinação da Condutividade Hidráulica Saturada</u>	30
3.9 - <u>Procedimento Experimental</u>	32
3.10 - <u>Espaçamento da Rede de Drenagem Subsuperficial</u>	32
3.11 - <u>Rendimento do Sistema de Drenagem</u>	41
3.11 - <u>Condução do Experimento no Campo</u>	42
4 - <u>RESULTADOS E DISCUSSÃO</u>	46
4.1 - <u>Resultados Analíticos das Águas</u>	46
4.2 - <u>Análise das Características Químicas do Solo</u>	48
4.3 - <u>Condutividade Hidráulica Saturada</u>	53
4.4 - <u>Análise das Equações de Drenagem Subsuperficial</u>	55
4.5 - <u>Mapas de Isohypsas</u>	56
4.6 - <u>Análise da Eficiência do Sistema de Drenagem Subsuperficial</u>	56
4.7 - <u>Análise da Produção</u>	61
5 - <u>CONCLUSÕES</u>	63
6 - <u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	65
<u>APÊNDICE</u>	69

LISTA DE TABELAS

TABELA		Página
01	Dados climáticos da estação agrometeorológica da FEVC durante o experimento.	16
02	Características físicas do solo aluvial vértico halomórfico da área do experimento.	18
03	Características químicas do solo aluvial vértico halomórfico da área no início do experimento.	21
04	Lâminas d'água aplicadas por tratamento (mm) para a cultura do feijão-de-corda <i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.	27
05	Vazão dos drenos parcelares em mm/dia para a cultura do feijão-de-corda <i>Vigna unguiculata</i> , (L.) Walp.	29
06	Características da água de irrigação, poços de observação e drenos parcelares durante a cultura do feijão-de-corda.	47
07	Características químicas do solo antes e após o experimento.	51
08	Valores médios da condutividade hidráulica saturada do solo antes e após o experimento.	54
09	Eficiência do sistema de drenagem para cada tratamento.	60
10	Rendimentos médios (kg/ha) de arroz em casca nos tratamentos aplicados.	62

LISTA DE FIGURAS

FIGURA		Página														
01	Curvas características de umidade do solo aluvial vértice halomórfico da área do <u>ex</u> perimento.	19														
02	Geometria do sistema de drenagem em duplo nível.	22														
03	Mapa topográfico da área do <u>ex</u> perimento mostrando a distribuição dos poços de <u>ob</u> servação.	25														
04	Detalhes de um poço de observação.	31														
05	Croqui de campo da área do <u>ex</u> perimento mos <tr><td>06</td><td>Diagrama para o cálculo do espaçamento de drenos utilizando-se a fórmula de HOOGHOUTT para fluxo estacionário.</td><td style="text-align: right;">36</td></tr> <tr><td>07</td><td>Diagrama para o cálculo do espaçamento de drenos utilizando-se a fórmula de ERNST para fluxo estacionário.</td><td style="text-align: right;">37</td></tr> <tr><td>08</td><td>Diagrama para o cálculo do espaçamento de drenos utilizando-se a fórmula de DUPUIT - FORCHHERIMER para fluxo estacionário.</td><td style="text-align: right;">39</td></tr> <tr><td>09</td><td>Diagrama para o cálculo do espaçamento de drenos utilizando-se a fórmula de GLOVER-DUMM para fluxo não estacionário.</td><td style="text-align: right;">40</td></tr> <tr><td>10</td><td>Variação da concentração, em função do <u>tem</u>po, de Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+} e K^+ na água de <u>ir</u>rigação (I), poços de observação (P) e dre<u>nos</u> parcelares (D).</td><td style="text-align: right;">49</td></tr>	06	Diagrama para o cálculo do espaçamento de drenos utilizando-se a fórmula de HOOGHOUTT para fluxo estacionário.	36	07	Diagrama para o cálculo do espaçamento de drenos utilizando-se a fórmula de ERNST para fluxo estacionário.	37	08	Diagrama para o cálculo do espaçamento de drenos utilizando-se a fórmula de DUPUIT - FORCHHERIMER para fluxo estacionário.	39	09	Diagrama para o cálculo do espaçamento de drenos utilizando-se a fórmula de GLOVER-DUMM para fluxo não estacionário.	40	10	Variação da concentração, em função do <u>tem</u> po, de Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ na água de <u>ir</u> rigação (I), poços de observação (P) e dre <u>nos</u> parcelares (D).	49
06	Diagrama para o cálculo do espaçamento de drenos utilizando-se a fórmula de HOOGHOUTT para fluxo estacionário.	36														
07	Diagrama para o cálculo do espaçamento de drenos utilizando-se a fórmula de ERNST para fluxo estacionário.	37														
08	Diagrama para o cálculo do espaçamento de drenos utilizando-se a fórmula de DUPUIT - FORCHHERIMER para fluxo estacionário.	39														
09	Diagrama para o cálculo do espaçamento de drenos utilizando-se a fórmula de GLOVER-DUMM para fluxo não estacionário.	40														
10	Variação da concentração, em função do <u>tem</u> po, de Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ na água de <u>ir</u> rigação (I), poços de observação (P) e dre <u>nos</u> parcelares (D).	49														

FIGURA

Página

11	Variação da concentração, em função do tempo de Cl^- , HCO_3^- , CO_3^{2-} e SO_4^{2-} na água de irrigação (I), poços de observação (P), drenos parcelares (D).	50
12	Percentagem de sódio trocável (PST) no perfil do solo após o experimento.	52
13	Isohypsas do mês de outubro/87.	57
14	Isohypsas do mês de novembro/87.	58
15	Isohypsas do mês de dezembro/87.	59

RESUMO

O presente trabalho foi conduzido durante o período de julho/1986 a dezembro/1987, na Fazenda Experimental do Vale do Curu, Pentecoste-CE, em solo Aluvial Vértico Halo mórfico (sódico), objetivando estudar o efeito de tratamentos mecânicos, químico e vegetativo na recuperação de uma área com solo aluvial sódico, bem como analisar a eficiência de operação e avaliar o espaçamento de uma rede de drenos subsuperficiais instalada em duplo nível sobre uma base alternada.

O sistema de drenagem subsuperficial era constituído de manilhas de barro, apresentando um espaçamento de 17,50m entre linhas e profundidades médias de 1,20m e 0,70m, com gradiente de 0,3%. Para fins de determinar a posição do lençol, a área foi instalada com sete baterias de oito poços de observação cada. A vazão dos drenos parcelares era determinada por meio de cronômetro e balde de volume conhecido em dias de irrigação. A condutividade hidráulica saturada foi determinada pelo método do poço e a porosidade drenável em laboratório.

As equações avaliadas para condições de fluxo estacionário foram as de Hooghoudt, Ernst e Dupuit-Forchheimer, enquanto que para condições de fluxo não estacionário a equação avaliada foi a de Glover-Dumm.

Os tratamentos I e II, que continham a subsolagem, apresentaram melhores rendimentos médios (kg/ha) de arroz em casca, enquanto o tratamento que recebeu somente gradagem apresentou a menor produtividade.

A água de irrigação não apresentou variação em suas características químicas durante a condução do experimento, fato esse que não ocorreu com as águas extraídas dos poços de observação e colhidas nos drenos parcelares, onde verificou-se um incremento acompanhado em seguida de um decréscimo.

mo nos valores da RAS, bem como nas concentrações de Na^+ , Cl^- e CE.

As análises das amostras de solo, coletadas no início e ao final do experimento, revelaram modificações em suas características químicas.

Os valores do pH apresentaram uma ligeira tendência para decréscimo em todos os tratamentos, sobretudo nas camadas superficiais. A PST apresentou redução em todas as camadas amostradas, proporcionalmente com maiores reduções na camada superficial. A CE apresentou ao final do experimento um ligeiro incremento em quase todas as camadas.

O rendimento do sistema de drenagem avaliado para cada um dos tratamentos, apresentou resultados de eficiência que se situa de regular a bom, do ponto de vista de critério agrônomo, tendo em vista a baixa permeabilidade do solo.

SUMMARY

A field experiment was conducted from July/1986 to december/1987, at the "Fazenda Experimental do Vale do Curu". Pentecoste, Ceará, Brazil, in an aluvial halomorphic vertisoil, to study the combined effects of mechanical, chemical and vegetative treatments in reclaiming the soil and analyze the efficiency and spacing of a subsurface drainage system.

The drainage system was made of lines of tile pipes, spaced 17,50m and installed at 1,20m and 0,70m depths, with a 0,3% slope. The water table was monitored through seven batteries of eight observation wells. The discharge of the subsurface drains was measured during the irrigations. Saturated hydraulic conductivity was determined in situ by the single auger hole method and the drainable porosity was determined in laboratory.

For equilibrium conditions, the equations of Hooghoudt, Ernst and Dupuit-Forchheimer were evaluated. For non-equilibrium conditions, the equation of Glover-Dumm was tested.

The treatments I and II, with soil subsoling, gave better average rice production and the treatment with only harrowing gave the lowest production.

The SAR, the CE and the concentrations of Na^+ , Cl^- of the drainage water, increased at beginning of the experiment and decreased at the end of the work. The irrigation water had almost constant characteristics during the experimental period.

For soil samples, taken at the beginning and the end of the experiment, the pH decreased somewhat mainly for the surface layer, the ESP was reduced in all the soil layers, mainly in the surface layer, and the EC increased slightly in all soil layers.

Considering the low soil permeability, the efficiency of the drainage system can be considered from regular to good (from an agronomic stand-point) for all the treatments tested.

1 - INTRODUÇÃO

Solos com problemas de salinidade, em decorrência do elevado teor de sais solúveis, sodicidade, face a elevadas percentagens de sódio trocável, ou ambos, salino-sódicos, apresentam-se em torno de 25% em áreas irrigadas no mundo, de acordo com a Comissão Internacional de Irrigação e Drenagem, em estimativa realizada em 1970. No Nordeste do Brasil entre 20 a 25% da área sob regime de irrigação, apresentam problemas de salinidade, sendo verificada também a ocorrência de solos sódicos e salino-sódicos, onde extensas áreas estão fora de operação por apresentarem condições adversas ao desenvolvimento e produção rentável das culturas, necessitando por conseguinte serem recuperadas e reincorporadas ao processo produtivo. Os problemas de drenagem e salinidade no Nordeste são decorrentes das condições de clima, relevo e solos intensificados pelo uso da irrigação.

Os solos aluviais, às margens dos cursos d'água, onde são localizados os perímetros de irrigação, estão situados em cotas baixas apresentando sérios riscos de inundação e/ou lençol freático elevado. Os problemas de drenagem e salinidade nessas áreas são agravados pela contribuição de águas provenientes de áreas circunvizinhas de topografia mais elevada e drenagem superficial mais rápida. As características dos solos contribuem acentuadamente para as condições adversas de drenagem e salinidade de grande parte dessas áreas. São solos de granulometria variável predominando as texturas argilosas e siltosas, de perfil pouco desenvolvido, caracterizando-se pela disposição indiscriminada de camadas de diferentes classes texturais resultantes de deposições sucessivas. A maioria desses solos apresenta conteúdo de argila superior a 40%, com predomínio de argilo-minerais do grupo 2:1, com características de contração e expansão que dificultam o manejo do solo e interferem no movimen

to da água através do perfil. A drenagem interna é deficiente e/ou nula dependendo do teor de sódio trocável existente. A grande variabilidade espacial das características do solo decorrentes de seu processo de formação, dificulta ainda mais o manejo dessas áreas e a aplicação de medidas preventivas da salinização e sodificação. Além de apresentarem uma grande variabilidade textural e química e uma baixa permeabilidade, os solos aluviais ainda apresentam como característica indesejável, do ponto de vista de sua adequabilidade para irrigação, um desnível relativamente muito pequeno entre os terrenos a serem irrigados e o leito do desaguadouro natural.

A recuperação das áreas com problemas de salinidade, sodicidade, ou ambas, assume uma importância relevante como um recurso para a expansão da fronteira agrícola, exigindo portanto a aplicação criteriosa de recursos materiais associada ao emprego de tecnologia própria desenvolvida para as condições peculiares da região.

O presente trabalho foi conduzido visando a consecução dos seguintes objetivos: estudar o efeito de tratamentos mecânicos, químico e vegetativo na recuperação de uma área com solo aluvional sódico; analisar a eficiência de operação e avaliar o espaçamento de uma rede de drenagem subsuperficial instalada em duplo nível sobre uma base alternada.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - Condutividade Hidráulica

LUTHIN & ROBINSON (1968), pesquisando uma profundidade ideal de drenagem em áreas irrigadas, determinaram que além da ascensão capilar e do lençol d'água esta profundidade é influenciada pela taxa de infiltração, estratificação do solo, salinização da água de irrigação, modelo de colheita, prática de irrigação e condutividade hidráulica. Os mesmos autores determinaram que os solos de pequena para moderada condutividade hidráulica, a ascensão capilar pode ser um fator mínimo na acumulação de sais na zona radicular da planta. O fator principal é que a pequena condutividade hidráulica torna impossível ou dificulta a aplicação de água em quantidade suficiente para satisfazer o requerimento de lixiviação.

Trabalhando com métodos de determinação da condutividade hidráulica, PERRIER et alii (1971), concluíram que os valores de condutividade hidráulica obtidos para os casos de fluxo permanente (Equação de HOOGHOUDT) e fluxo não-permanente (Equação de VAN SCHILFGAARDE) foram aproximadamente iguais, as soluções para o caso de fluxo não-permanente tendem a elevar a condutividade hidráulica observada, à medida que os dados de tempo demonstraram as condições anisotrópicas do campo. O método Piezométrico apresentou valores mais baixos para condutividade hidráulica, através do perfil do solo, do que a equação de tubos de drenagem. As perturbações do solo causadas pela ação mecânica da trada gem pode ter sido a causa desses pequenos valores. O método do duplo-tubo para a determinação da condutividade hidráulica na ausência do lençol d'água e o método de laboratório usando amostras indeformadas de solo, não foram usadas por razões similares.

CLIFFOED (1973), citado por REICHARDT et alii (1980), determinou que os erros na variação do conteúdo de água são significativos quando a drenagem é lenta. Concluiu também que, em condições próximas à saturação, o erro apresentado pela condutividade hidráulica varia de 20 a 30%.

Pesquisando sobre a problemática da caracterização de solos aluviais para fins de drenagem subterrânea, MILLAR & GOMES (1978), deduziram que os métodos para determinação da condutividade hidráulica, especialmente do poço e do piezômetro, poderiam ser usados em solos aluviais, desde que sujeitos a algumas restrições. Em primeiro lugar, o número de determinações por área deverá ser bem maior e estar mais bem distribuídas que no caso de solos normais, especialmente no caso do piezômetro que gera informação de uma camada restrita do solo. Quando se tem conhecimento prévio da profundidade de instalação dos drenos subterrâneos, a determinação de K através do piezômetro naquela profundidade poderá dar melhor caracterização do fluxo. Contudo, o método do poço, pelas suas características de simplicidade, facilidade de instalação e rapidez nas determinações, é o mais indicado, porque, além dessas características, dá uma média das condições de transmissão da água numa camada de solo bem maior que no caso do piezômetro. Dada a sua rapidez de determinação, permite obter maior número de dados numa área por igual tempo, em relação aos outros métodos.

SAUNDERS et alii (1978), em estudos de condutividade hidráulica em condições de campo, justificam tal processo em função da maior aproximação das condições reais, pois em condições de laboratório utilizam-se simples amostras de solo, que podem concluir a grandes erros ocasionados pela alteração das condições naturais do solo.

FAUSEY et alii (1980), estudando os efeitos de aterro permeável na remoção de água através de drenos subsuperficiais em solos argilosos, concluíram que a água retirada de solos lentamente permeáveis pode ser muito elevada pelo uso de aterro permeável. Aplicações práticas existem nos casos de solos altamente argilosos que são lentamente permeáveis.

veis e nos casos de água superficial empoçada durante períodos longos em áreas de depressão. As conexões hidráulicas entre os drenos subsuperficiais e o solo permeável da parte superior, geralmente reduziria muito a acumulação da água da superfície e conduziria a maior uniformidade na secagem da área.

2.2 - Profundidade, Espaçamento e Eficiência de Drenos Subterrâneos

Em observações de campo no desempenho de drenagem de manilha, PILLSBURY (1967), conclui que um critério básico para eficiência de um sistema de drenagem é sua habilidade de providenciar uma zona da raiz livre de sais. Todavia um projeto de drenagem de manilha para obter a condição de sejada de salinidade na zona da raiz não é sempre simples. Isto em parte é por causa da interação entre eficácia de dreno e prática de manejo.

Para um estudo de performance de drenos de manilha, RAPP & LALIBERT (1968), instalaram dois drenos interceptores e três de alívio. Os autores constataram que os drenos de interceptação foram altamente eficientes na remoção do excesso de água e sais do solo. Esses mesmos drenos mantiveram o lençol d'água a um nível excelente para as condições de cultivo. A drenagem produzida pelos três drenos de alívio foi altamente variável, presumivelmente devido às condições do solo e às influências do manejo. Os efeitos corretivos dos três drenos de alívio são de eficiência discutível, visto que a salinidade não decresceu significativamente com o tempo. Os drenos de alívio foram efetivos no rebaixamento do lençol d'água durante a estação de irrigação, embora algum decréscimo neste efeito, devido a falta de manutenção do escoadouro, foi anotado.

HERMSMEIER (1969), estudando a performance de drenos rasos em solos pesados, determinou que esses foram capa

zes de remover de 7,2 a 12% dos sais adicionados pela água de irrigação, durante quatro estações de cultivo em um período de dois anos e meio, esta pequena quantidade de sais removida, quando combinada com a remoção de sais do solo pela drenagem natural, foi suficiente para manter favorável o balanço de sais.

Uma técnica empírica foi desenvolvida por MILLETTE & RAPP (1974) para classificação de lençol d'água em áreas irrigadas, objetivando avaliar a praticabilidade de drenagem. Esta classificação envolve quatro fatores a serem avaliados: (1) O grau de flutuação anual; (2) a menor profundidade do lençol d'água ocorrida durante a estação de crescimento; (3) o tempo no qual ocorreu a menor profundidade do lençol d'água; (4) o fator especial de modificação que considera o número de leituras que ocorrem dentro de determinados intervalos definidos.

As áreas onde o lençol d'água permanecia a uma profundidade aproximada de 61cm foram classificadas áreas com problemas de drenagem. Áreas onde o lençol d'água permanecia a uma profundidade de 122cm boa parte do ano, foram classificados como pobre, um problema de drenagem pode resultar no futuro.

Duas soluções analíticas são tiradas de uma situação de drenagem subsuperficial em duplo nível, onde os níveis de drenos estão localizados em duas profundidades sobre uma base alternada (CHU *et alii*, 1975). A primeira solução descreve a situação de estado estável, enquanto a segunda é aplicável a situação de queda do lençol d'água. Ambas soluções estão baseadas na validade das suposições de DUPUIT-FORCHHEIMER.

DEBOER & CHU (1976), fazendo avaliação de campo e laboratorial da teoria da drenagem de duplo nível, que refere-se ao sistema de drenagem subterrânea, onde os drenos estão em duas diferentes profundidades em uma base alternada, desenvolveram modelo adequado para descrever a queda da máxima elevação do lençol d'água sob condições de drenagem de duplo nível.

FAUSEY & BREHM (1976), conduzindo estudos para investigar a performance hidrológica e estrutural de um sistema de drenagem subsuperficial rasa, concluíram depois de cinco anos de estudos que os drenos superficiais e convencionais removeram volumes similares de água. Escavações para inspeções feitas em 3 a 5 anos depois da instalação, para avaliar as condições estruturais dos tubos de drenagem, mostraram que a tubulação de drenagem plástica rasa não foi avariada estruturalmente pelas operações normais da fazenda.

MILLAR & GOMES (1978), determinando as propriedades hidráulicas de solos aluviais através da descarga de drenos subterrâneos, deduziu que o método dá informação valiosa das condições de fluxo de água para os mesmos. Contudo, observa-se que sua aplicação no caso de solos aluviais muito estratificados apresenta várias inconsistências com os dados obtidos sendo necessário realizar estudos mais detalhados, a fim de obter informações sob diferentes condições de fluxo permanente e não permanente para definir as características da descarga e assim definir também a metodologia mais apropriada para a análise dos resultados. Além dos trabalhos em condições de campo, pode ser de utilidade fazer pesquisas em condições controladas, usando modelos reduzidos.

Algumas observações mais recentes demonstraram que o comportamento do reenchimento de valas influencia na performance de sistemas de drenagem subsuperficial. FAUSEY & HUNDAL (1979), concluíram que:

(1) Análises teóricas sempre mostraram que a permeabilidade do reenchimento de valas aumenta a velocidade do fluxo de drenagem e a velocidade de rebaixamento do lençol d'água.

(2) A permeabilidade do reenchimento de valas promove a remoção da água superficial e da água da camada cultivada do solo. Esta remoção pode ter breve duração, dependendo do subsequente manejo do solo.

(3) A permeabilidade do reenchimento de valas tem pequeno efeito no ponto médio da velocidade de rebaixamento do lençol d'água em solos uniformes.

(4) A reposição do solo natural com agregados de solo estabilizados, areia grossa ou turfa como nos reenchimentos de valas não altera as conclusões das situações em 2 e 3 acima e é economicamente questionável.

(5) A permeabilidade do reenchimento de valas é benéfica onde existe uma permeabilidade da camada superficial ou drenos livres que precisem de uma conexão hidráulica com a profundidade dos drenos.

(6) As comparações feitas dos drenos instalados em valas e os instalados por arados foi insuficiente para determinar qual o melhor do ponto de vista de eficiência de drenagem.

Estas duas últimas conclusões indicam áreas onde pesquisa adicional pode ser dirigida. Este trabalho revela algumas justificativas para estudos de drenagem subsuperficial rasa em solos pesados e para futuras investigações de porque e quando o uso de drenos livres é bem sucedido ou não.

Segundo PENA (1979) as flutuações que sofrem o nível freático, se detecta com observações efetuadas periodicamente nos poços, e conseqüentemente se refletem nos planos de isóbatas (posição do lençol freático com relação a superfície do terreno) em menor ou maior magnitude, como áreas de diferente nível freático. Este tipo de mapa não só é de utilidade quando se precisa introduzir um sistema de drenagem para melhorar as condições da área, mas também pode ser utilizado para definir as práticas de manejo para a área nas condições naturais (MILLAR, 1978). Do mapa de isohypsas (posição do lençol freático com relação a um plano de comparação) pode-se obter: (1) Direção do fluxo; (2) gradiente hidráulico; (3) áreas de recarga e/ou descarga; (4) valor relativo da condutividade hidráulica (MILLAR, 1978).

Estudando o efeito da drenagem do solo no número de dias disponíveis para implantação de culturas de verão

BELTRAME et alii (1981), concluíram que a drenagem proporciona aumentos entre 80 e 100% no tempo disponível para preparo do solo.

Pesquisando a eficiência de algumas equações de drenagem no dimensionamento de drenos abertos e cobertos em condições de campo, LOUREIRO et alii (1985), concluíram que salvo algumas exceções, todas as equações estudadas superestimaram o espaçamento real de campo, crescendo essa superestimação com o aumento dos intervalos de tempo e posição do lençol freático.

As teorias de GLOVER e de TAPP-MOODY apresentaram comportamento semelhante, o mesmo ocorrendo com as de BOUSSINESQ-SCHILFGAARDE, VAN SCHILFGAARDE e BOUWER-SCHILFGAARDE.

Considerando tanto os drenos abertos quanto os cobertos a ordem de eficiência das teorias estudadas foi a seguinte: GLOVER, TAPP-WOODY, BOUSSINESQ-SCHILFGAARDE, VAN SCHILFGAARDE, BOUWERSCHILFGAARDE, HAMMAD e LUTHIN.

LOUREIRO et alii (1986), estudando o efeito de seis profundidades do lençol freático sobre o comportamento da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), com base nos resultados de produção de grãos, número de vagens por planta, número de grãos por vagem e sensibilidade das plantas, mostraram não haver diferença estatística entre os níveis freáticos de 55 a 84cm. A produção de grãos no nível freático de 55-60cm foi 98% superior à do nível de 85-90cm. Lençol freático com profundidade superior a 84cm proporcionou menor desenvolvimento das plantas.

PONTES et alii (1986), fazendo estudos do lençol freático no Perímetro Irrigado de Bebedouro, dentre outras conclusões destacaram a água de chuva como a principal fonte de recarga instantânea pelo caráter intensivo e curta duração do período chuvoso e pela alta capacidade de infiltração dos solos. Entretanto os excessos de irrigação e perdas por condução são os principais responsáveis pelos problemas de drenagem, uma vez que a irrigação é uma recarga quase permanente, incompatível com a capacidade de drenagem natural dos solos.

Verificaram, também, que as áreas de recarga estão localizadas nas partes altas dos setores irrigados indicando ocasionalmente influência (perdas) dos canais principais e secundários de irrigação, particularmente onde o revestimento está em mau estado.

A situação do lençol freático deve mudar com melhorias no manejo de água, revestimento de canais, manutenção e aprofundamento dos drenos existentes, uma vez que a contribuição de umidade do lençol às camadas superficiais pode significar a aceleração do processo de salinização, particularmente nos locais onde a água do lençol encontra-se com teores de salinidade mais elevados.

SEMANAPALLI et alii (1986), procedendo a avaliação do desempenho hidráulico de dois sistemas pilotos de drenagem subterrânea no perímetro de Sumé-PB, concluíram o seguinte: (1) Os sistemas A e B mostraram diferenças insignificantes, na prática, nos valores das resistências hidráulicas; (2) do ponto de vista critério agrônômico (velocidade de rebaixamento do lençol freático), ambos os sistemas foram satisfatórios para os períodos considerados na análise, apresentando uma proporção de rebaixamento do lençol freático de 40cm nos primeiros 5,8 dias (sistema A) e de 70cm para 2,3 dias (sistema B).

O sistema A foi construído numa profundidade média de 1,40m, com um declive médio de 0,35% e um espaçamento de 15,60m. O sistema B construiu-se numa profundidade média de 1,20m, com um declive de 0,25% e um espaçamento de 16,00m.

Pesquisando critérios de dimensionamento e avaliação de desempenho em trabalhos de drenagem subterrânea no perímetro irrigado de Maniçoba, JÚNIOR et alii (1986), dentre outras conclusões afirmam que: (1) O método de furo de trado na determinação da condutividade hidráulica é bastante exato; (2) a fórmula de Hooghoudt sobrestima o espaçamento de drenos em 7-20% e a de Glover Dumm os subestima em 30%.

2.3 - Lavagem de Sais Solúveis e Aplicação de Gesso

RICHARDS, citado por PILLSBURY (1967), desenvolveu o conceito de "necessidade de lixiviação", que é uma fração da água aplicada que deve passar através da zona da raiz da planta para manter um dado nível de salinidade. Este é um valor teórico que seria aplicado em solo isotrópico perfeitamente uniforme em condições de fluxo estável. Infelizmente sempre há uma grande quantidade de solos não uniformes, e o grau de tal desuniformidade, mais a incapacidade de aplicar água numa área considerável da superfície do solo com completa uniformidade, cria a necessidade de usar consideravelmente mais água para lixiviação do que teoricamente é necessário.

Foi demonstrado por SOMMERFELDT & PAZIUR (1975) que a utilidade de drenos subsuperficiais (1,25m de profundidade) é plenamente viável para recuperar solos salinos. O lençol d'água foi rebaixado suficientemente para permitir uma atividade normal na zona de raízes. Os sais foram lixiviados para profundidades maiores do que a dos drenos. Nos 120cm superficiais do solo, a maior parte dos sais foram retirados no primeiro ano, permanecendo sais para serem retirados na profundidade de 240cm no segundo e terceiro anos de lixiviação.

Conforme PIZARRO (1978), os sais presentes nos solos salinos procedem do intemperismo dos minerais e rochas que constituem a crosta terrestre. A meteorização das rochas, por si só, raras vezes tem ocasionado a acumulação de grandes quantidades de sais. O normal é que os sais, uma vez formados, são transportados pela água, para outras áreas, causando assim a salinização. O mesmo autor afirma que os sais dissolvidos na solução do solo afetam as plantas, através de dois mecanismos diferentes: (1) Mediante um aumento da pressão osmótica; (2) por seu aspecto tóxico. O primeiro mecanismo, à medida que aumenta a concentração salina da solução do solo, aumenta sua pressão osmótica e chega um mo-

mento em que as raízes das plantas não têm força de sucção necessária para "vencer" essa pressão osmótica e, em consequência, não absorve água do solo. O segundo mecanismo, diz que a toxicidade dos sais não é devido ao efeito direto de seus íons, e sim às alterações que estes induzem no metabolismo, ocasionando a acumulação de produtos tóxicos.

Para NAVARRO (1979), em zonas áridas e semiáridas a drenagem deve constituir-se fundamentalmente para controlar a salinidade, mediante o abaixamento dos níveis freáticos e a eliminação dos sais na zona do sistema radicular das plantas.

FERREYRA & COELHO (1984), fazendo um estudo sobre a variação da concentração de sais na solução de um solo aluvial vértico cultivado com arroz sob inundação, com base nos resultados concluíram que no solo estudado, mesmo apresentando permeabilidade praticamente nula, houve uma grande influência da concentração salina da água mantida em sua superfície sobre a concentração de sais na solução do solo a 20cm de profundidade, sugerindo que, mediante o controle de água sobre o solo, pode-se melhorar as condições de salinidade na camada superficial, o que é importante em culturas de arroz sob inundação. Concluíram, também, que o Na^+ e o Cl^- foram os íons que apresentaram as mais altas concentrações na solução do solo, sendo os principais responsáveis pelos valores da condutividade elétrica.

Pesquisando o efeito de doses de gesso e subsolagem na produtividade de arroz em solo sódico, FERREYRA & COELHO (1986), conduziram um experimento de campo objetivando estudar os efeitos de quatro doses de gesso (0, 6, 12 18t./ha.) e duas maneiras de preparo do solo (aração e aração + subsolagem) na produtividade do arroz (*Oryza sativa* L., cultivar IR8). Análises químicas foram realizadas em amostras de solo coletadas no início e após conclusão do experimento. Em duas parcelas que receberam 0 e 12t/ha de gesso foram instaladas baterias de extratores de solução do solo, nas profundidades de 20, 60 e 95cm, acompanhamento da evolução dos sais solúveis. A aração + subsolagem apresentou efeito significativo em relação à aração, aumentando a produção média

de grãos de 4.738 para 5.416kg/ha. O gesso, nas doses de 6 e 12t/ha, produziu aumento significativo na produção de grãos, com 5.472 e 5.805kg/ha respectivamente, em relação à testemunha, que produziu 4.776kg/ha. A dose de 18ton/ha de gesso apresentou efeito depressivo no rendimento e produção média 4.244kg/ha. Variações nos resultados das análises químicas do solo dificultaram a interpretação das mudanças ocorridas em função dos tratamentos. O teor de sais solúveis da solução do solo, avaliado através da condutividade elétrica, aumentou após a aplicação do gesso e diminuiu gradualmente com o decorrer do experimento, verificando-se, por outro lado, redução nos valores da relação de adsorção de sódio, atribuindo-se esse comportamento à solubilização do gesso e à baixa taxa de infiltração do solo.

OLIVEIRA (1986), em estudos sobre lavagem e aplicação de gesso na recuperação de solo sódico, cultivado com feijão-de-corda, chegou às seguintes conclusões:

- É possível introduzir feijão dentro do plano de rotatividade de culturas, durante a recuperação de solos sódicos, desde que haja adequação de lâmina d'água aplicada;

- Os efeitos do gesso na recuperação de solos sódicos, tornam-se evidentes já a partir dos vinte dias, mesmo que a aplicação seja feita sobre o solo, desde que o teor hídrico seja propício.

- Lâminas d'água inferiores às requeridas, não são recomendadas, tanto para redução da salinidade e sodicidade (CE e PST) como para produção de feijão-de-corda. Embora o tratamento D (2/3L), não tenha diferido estatisticamente, sua produção foi inferior aos tratamentos A (L) e C (4/3L). As lâminas d'água acima de 30% da requerida são prejudiciais à cultura do feijão-de-corda.

- Durante as lavagens não é aconselhável haver intervalos de regas superiores a 7 dias, pois a capilaridade poderá reconduzir os sais às camadas superficiais.

MELO (1987), pesquisando o efeito do gesso e da concentração salina da água na condutividade hidráulica do solo, com base nos resultados obtidos, chegou às seguintes conclusões:

- O gesso proporcionou aumentos pronunciados na condutividade hidráulica dos solos e o uso de água de maior concentração salina resultou em maior eficiência do gesso no aumento da condutividade hidráulica;

- a aplicação de gesso proporcionou reduções significativas do sódio trocável no solo. No solo de menor conteúdo de argila e de condutividade hidráulica mais elevada a redução do sódio trocável foi mais acentuada e menor o volume de água utilizado na lixiviação completa dos sais;

- o gesso apresentou alta eficiência na substituição do sódio trocável, em profundidade, nos dois solos com menores percentagens de argila.

3 - MATERIAL E MÉTODOS

3.1 - Caracterização da Área Experimental

O experimento foi instalado na área irrigada da Fazenda Experimental do Vale do Curu, pertencente ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, no município de Pentecoste-CE. A propriedade dista de Fortaleza 98km, estando geograficamente localizada entre os paralelos 3°35' e 4°00' latitude Sul e os meridianos 39°15' e 39°30' a Oeste de Greenwich, com uma altitude de aproximadamente 47 metros acima do nível do mar. O clima da região de acordo com a classificação de Koeppen é do tipo Aw', ou seja, clima quente e úmido, com chuvas e precipitações máximas no outono. As condições climáticas da região caracterizam-se por temperaturas médias mensais mínima de 21,9° e máximas de 34,8°C, umidade relativa média mensal de 67,4%, demanda evaporativa de 234,0mm/mês. A TABELA 01 contém os dados climáticos da Estação Agrometeorológica durante o período de condução do trabalho.

A área onde foi instalado o experimento recebe a denominação D-S₂ no planejamento agrícola da área da fazenda, sendo constituída de sedimentos aluviais de deposição recente e conforme critérios de classificação adotados pela Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo do Ministério da Agricultura, com modificações posteriores de acordo com o novo sistema americano de classificação - 7a. Aproximação (U.S.D.A., 1967; U.S.D.A., 1970), como solo aluvial Vértico Halomórfico (Salino Sódico), horizonte A fraco, textura argilosa (COELHO, 1971).

TABELA 01 - Dados climáticos da estação agrometeorológica da FEVC durante o experimento.

Elementos Meteorológicos	1987 (Cultura: arroz)					1987 (Cultura: Feijão-de-corda)		
	Fev.	Mar.	Abril	Mai	Junho	Out.	Nov.	Dez.
	TEMPERATURA (°C)							
Máxima	34,80	31,70	32,00	33,80	32,60	35,60	35,80	35,80
Mínima	23,20	22,90	22,60	21,90	22,00	22,60	22,90	23,40
Umidade relativa (%)	71,00	87,00	83,00	74,00	76,00	65,00	69,00	66,00
EVAPORAÇÃO (mm)								
Piche	112,80	56,00	57,20	119,90	88,90	179,90	177,60	186,30
Tanque classe A	201,30	149,90	152,18	185,23	169,48	296,53	277,68	286,70
Precipitação (mm)	44,80	273,10	47,00	4,80	149,40	0,40	1,70	0,00
Veloc. vento (m/s)	4,30	2,30	2,70	3,20	2,70	4,80	4,60	5,00

3.2 - Determinação das Características Físico-Hídricas do Solo

Antes de instalado o experimento, coletou-se amostras de solo com estrutura deformada e amostras com estrutura não deformada, obtidas com o cilindro de UHLAND. As amostras foram coletadas nas profundidades de (0-20)cm, (20-40)cm, (40-60)cm, (60-90)cm, (90-120)cm e (120-150)cm, com a finalidade de se determinar as seguintes características físicas e químicas: composição granulométrica, massa específica do solo, argila natural, grau de flocculação, condutividade elétrica, matéria orgânica, cátions trocáveis, relação C/N, pH, fósforo assimilável, curva característica da umidade, percentagem de sódio trocável e porosidade natural.

As características físicas apresentadas na TABELA 02, mostram que a textura do solo varia de Franco Siltoso na camada I a Franco Argiloso nas camadas II e III, com o predomínio da fração silte. As percentagens de argila praticamente não variaram, enquanto que as percentagens de argila natural aumentaram com a profundidade, ocorrendo o inverso com o grau de flocculação na mesma ordem. A massa específica do solo aumentou da camada I para as camadas II e III, correspondendo a um decréscimo na porosidade total nestas últimas.

As curvas características de umidade das camadas do perfil, obtidas com amostras deformadas e indeformadas do solo, são apresentadas na FIGURA 01. Verificou-se na faixa entre as tensões de 1,0 a 100,0cm de H₂O, retenção de água praticamente igual em todas as camadas. Na faixa entre as tensões de 100,0 a 5.000,0cm de H₂O, a retenção de água mais acentuada foi observada na camada III.

A capacidade de campo das camadas, foi em termos de umidade $0,390\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$; $0,410\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$ e $0,420\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$ para as camadas I, II e III respectivamente, as quais correspondem nas curvas características aos potenciais matriciais de -170,0, -180,0 e -60,0cm de H₂O. Estes resultados mostram

TABELA 02 - Características físicas do solo aluvial vértico halomórfico da área do experimento.

Camada		Composição Granulométrica (%)			
Simbolo	Profundidade	Areia Grossa 2 - 0,2mm	Areia Fina 0,2 - 0,05mm	Silte 0,05 - 0,002mm	Argila < 0,002mm
I	0 - 20	1	16	56	27
II	20 - 40	0	20	49	31
III	40 - 60	0	21	50	29

Argila Natural (%)	Classificação Textural	Grau de Flocul. (%)	Massa Esp. do Solo (g. cm ⁻³)	Capacidade de Campo (cm ³ . cm ⁻³)	Porosidade (%)
15,70	F. siltoso	41,80	1,40	0,39	48,50
27,40	F. argiloso	11,60	1,56	0,41	46,50
28,00	F. argiloso	3,40	1,56	0,42	47,50

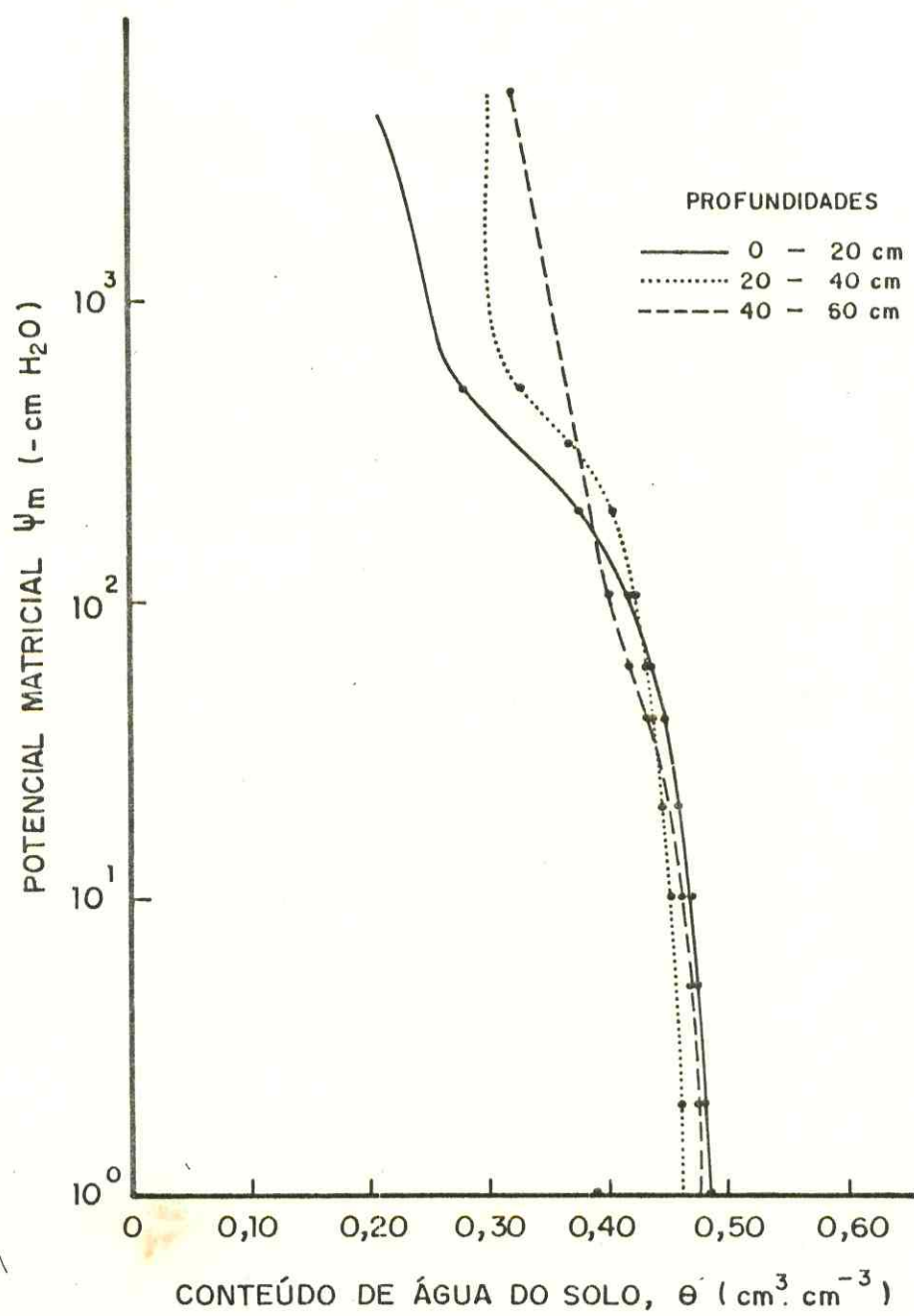


FIG. 01 - Curvas características de umidade do solo aluvial vértico halomórfico da área do experimento.

que não tem validade para as condições locais considerar a capacidade de campo corresponder a $1/3atm$ de tensão.

Os resultados da análise química do solo, no início do experimento e apresentados na TABELA 03, de acordo com o US Salinity Laboratory (RICHARDS, 1954), verificam tratar-se de um solo sem problemas de sodicidade, na camada I, a extremamente sódico na camada III, bem como sem problemas de salinização. Matéria orgânica com baixo teor, pH em água ligeiramente básico, ausência de alumínio trocável, saturação de base em torno de 100%, cálcio e magnésio predominando no complexo sortivo na camada I, bem como cálcio e sódio predominando no complexo sortivo ao longo do perfil.

3.3 - Instalação do Experimento

3.3.1 - Instalação dos drenos parcelares

A área onde foi instalado o experimento é limitada em sua parte mais elevada por um canal de condução de água (terciário), e em sua parte inferior por um dreno coletor, distando-se de 125 metros.

Na área experimental foi instalado um sistema de drenagem subsuperficial em duplo nível, ou seja, com drenos localizados em duas profundidades, sobre uma base alternada, conforme FIGURA 02. Foram instaladas sete linhas de drenos parcelares, no sentido perpendicular ao canal de irrigação e ao dreno coletor, espaçadas entre si de 17,5m; com profundidades médias de 1,20m e 0,70m respectivamente. O comprimento das linhas foi de 125 metros e o declive médio utilizado de 0,3%. Usou-se manilhas de barro, de 30cm de comprimento, 10cm de diâmetro interno e 1,7cm de espessura de parede, assentadas numa cama de seixo rolado e areia grossa lavada com uma altura de 10cm. O mesmo material foi utilizado como envelope ao redor do tubo, como material filtrante.

TABELA 03 - Características químicas do solo aluvial vértico halomórfico da área no início do experimento.

Simbolo	Camada		pH em água	CE a 25°C Ext. Sat. (mmhos/cm)	Carbono (%)	Nitrogênio (%)	C/N	Matéria Orgânica (%)	P Assimilável (mg/100g)	PST (%)
	Profundidade (cm)									
1	0 - 20		7,4	1,12	0,88	0,08	11	1,52	2,12	6,71
2	20 - 40		7,5	1,35	0,57	0,05	11	0,98	1,48	25,76
3	40 - 60		7,7	1,84	0,56	0,04	14	0,96	2,45	36,56

Complexo Sortivo				mE/100g de Solo		100 S/T = V (%)
Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	S	T	
12,10	5,34	0,35	1,28	19,07	19,07	100
12,23	5,45	0,19	6,20	24,07	24,07	100
9,92	4,56	0,20	8,46	23,14	23,14	100

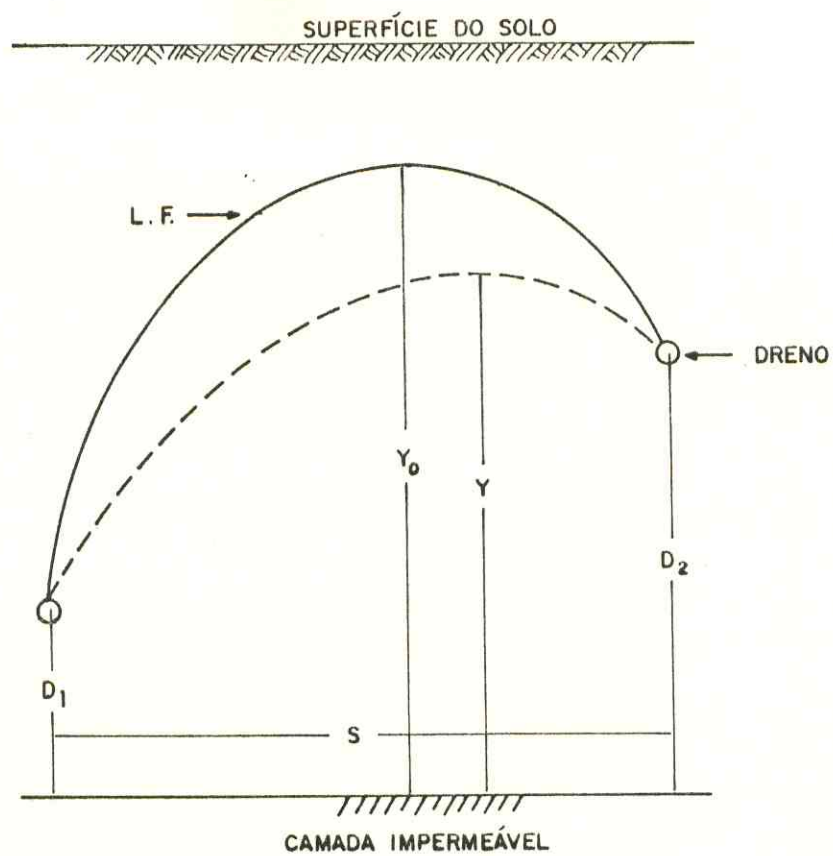


FIG. 02 - Geometria do sistema de drenagem em duplo nível.

Com propósito de evitar desmoronamentos na região próxima ao dreno coletor, fez-se uma redução para 3" na manilha de barro e adaptou-se um cano de PVC rígido até o ponto de desagüamento no dreno coletor. Na parte superior da área, junto ao ponto de adução d'água (canal terciário), com o intuito de identificar o início de cada uma das linhas de drenos parcelares, bem como funcionar como ponto de desobstrução de referidas linhas, conectou-se à primeira manilha um cotovelo de PVC e distendeu-se uma tubulação até uma altura de 1,50m acima da superfície do solo.

3.3.2 - Instalação das baterias de poços de observação

Instalou-se sete baterias de poços de observação na área experimental. Cada bateria constituída por oito poços, com a finalidade de medir as cargas hidráulicas em função do tempo, descrever a forma do lençol freático entre drenos, bem como realizar testes de condutividade hidráulica saturada.

Os poços foram abertos com trado do tipo holândes, de 102mm de diâmetro, na profundidade de 195cm. A profundidade do lençol freático, quando da abertura dos poços, era de 135cm após estabilizado.

Na instalação dos poços utilizou-se a metodologia sugerida por DIELEMAN & TRAFFORD (1975), descrita por MILLAR (1978), em que se usou tubo de PVC rígido de 75mm de diâmetro, cor branca, envelopado com areia lavada, bem como o uso de uma cama de brita de 10cm aproximadamente, com a finalidade de evitar a obstrução da parte inferior da tubulação. Os tubos receberam perfurações com broca de 3mm de diâmetro até a altura do lençol freático e após instalados deixou-se 74cm acima da superfície do solo. Objetivando uma maior fixação e preservação do poço, instalou-se em cada um dos poços uma base de cimento a qual era nivelada à superfície do terreno.

Cada uma das baterias de poços de observação foi distribuída perpendicularmente à cada linha de dreno, às distâncias de 1,0m; 3,0m; 5,0m e no ponto médio entre duas linhas. A distribuição foi idêntica para ambos os lados, conforme a FIGURA 03. O número de baterias corresponde ao número de linhas de drenos parcelares.

3.4 - Elementos Básicos de Irrigação

O suprimento de água da Fazenda Experimental do Vale do Curu é realizado através do canal principal P_1 , onde em sua cota máxima apresenta uma vazão de $1,5m^3/s$. Referido canal conduz a água do açude General Sampaio, passando antes por uma barragem de derivação na Serrota, pertencentes ao Departamento Nacional de Obras Contra as Secas, DNOCS.

Ao chegar no plano sistematizado da fazenda, o canal principal se ramifica em canais secundários e terciários.

A adução de água para o experimento foi feita do canal terciário, situado na parte superior da área. Com o propósito de conservar o nível da água constante durante as irrigações, adaptou-se uma comporta imóvel de madeira a quatro secções no canal terciário.

Quando trabalhou-se com feijão-de-corda, utilizou-se irrigação por sulcos fechados no final. Para que todos os sifões trabalhassem com a mesma carga hidráulica, instalou-se um piquete em cada cabeça de sulco, com a finalidade de que a diferença de nível entre a ponta do piquete e o nível da água no canal, em todos os sulcos, fosse igual a 15,7cm, o que proporcionaria uma carga necessária a uma vazão de 2 l/s, em sifões corrugados de \varnothing de 2" e comprimento de 2,20m.

Ao trabalhar-se com a cultura do feijão-de-corda, as lâminas d'água aplicadas, foram calculadas através do medidor de umidade "speedy". Trabalhou-se com um turno de re

MAPA TOPOGRÁFICO

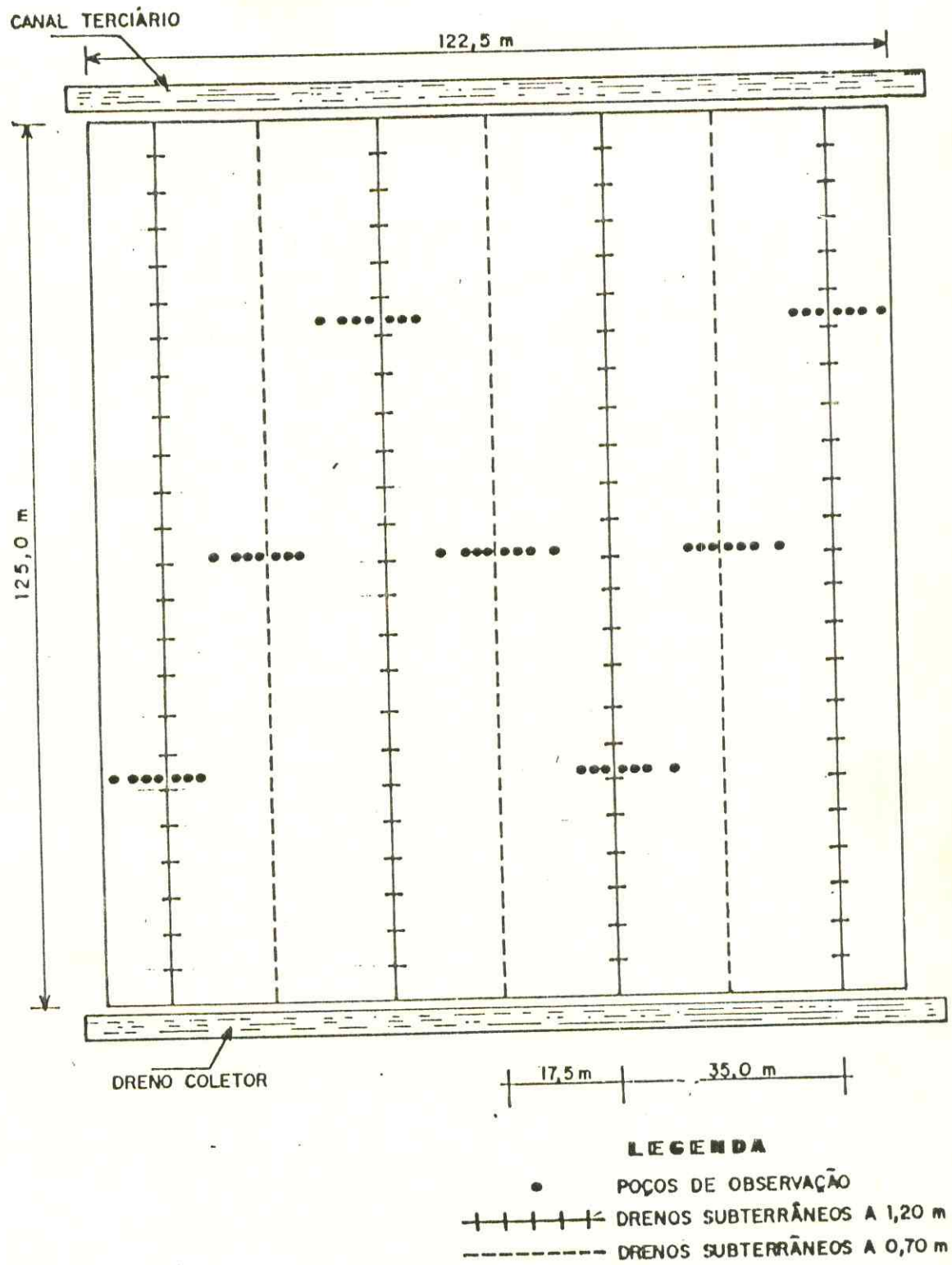


FIG. 03 - Mapa topográfico da área do experimento mostrando a distribuição dos poços de observação.

ga de 9 dias. Nos dias de irrigação, logo nas primeiras horas da manhã, coletou-se amostras nas profundidades de 15cm e 45cm, onde fez-se a determinação de suas respectivas umidades atuais. Com base nos valores das umidades atuais e capacidades de campo, calculou-se a lâmina líquida a ser aplicada. Feita a análise da eficiência de aplicação através de testes de avanço e recessão, bem como do teste de infiltração, verificou-se uma eficiência de aplicação de 90%. O cálculo da lâmina bruta foi realizado ao dividir-se o valor da lâmina líquida pela eficiência de aplicação. A lâmina bruta aplicada correspondia a 4/3 da lâmina bruta calculada, pois de acordo com OLIVEIRA (1986), essa lâmina é recomendada para redução da salinidade e sodicidade (CE e PST), como para melhor produtividade do feijão-de-corda. As lâminas d'água aplicada por tratamento (mm) para a cultura do feijão-de-corda, são apresentadas na TABELA 04.

A vazão máxima não erosiva foi determinada e apresentou valor igual 3,3 l/s, valor esse bem superior às vazões aplicadas.

As dotações d'água aplicadas na cultura do arroz (*Oryza sativa* L., cultivar IR.8), sob regime de inundação, foram efetuadas de modo a manter o solo saturado e com lâmina de água em torno de 10cm acima da superfície.

3.5 - Leitura dos Poços de Observação e Descarga dos Drenos Parcelares

As leituras dos poços de observação e descarga dos drenos parcelares, foram realizadas no período chuvoso, quando trabalhou-se com arroz, e sob condições de irrigação, quando trabalhou-se com feijão-de-corda. As leituras dos poços de observação, eram realizadas até que ocorresse uma estabilidade do lençol freático. A posição do lençol freático foi medida através de uma fita metálica com um adaptador sonoro e as descargas nos drenos parcelares, por meio de um

TABELA 04 - Lâminas d'água aplicadas por tratamento (mm) para a cultura do feijão-de-corda *Vigna unguiculata* (L.) Walp.

Data	Dias	Dias Acumulados	Tratamentos			
			I	II	III	IV
02.10.87	0	-	75,70	75,70	75,70	75,70
11.10.87	9	9	58,30	58,30	58,30	58,30
20.10.97	9	18	46,50	99,00	61,80	47,50
29.10.97	9	27	86,00	72,00	72,00	94,50
07.11.87	9	36	86,20	73,20	73,20	95,00
16.11.87	9	45	88,50	55,00	77,00	50,00
25.11.87	9	54	58,30	61,30	63,60	64,10
04.12.87*	9	63	58,50	56,90	63,20	60,30

* - Última irrigação para incorporação.

cronômetro e recipiente volumétrico com capacidade conhecida. A TABELA 05 apresenta os resultados da descarga em mm/dia para a cultura do feijão-de-corda.

3.6 - Cálculo da Quantidade de Gesso Requerida

Toda a área do experimento recebeu gesso em quantidade equivalente a 17.876kg/ha, calculada para reduzir a PST a 10 até a profundidade de 45cm. No cálculo considerou-se apenas a camada de 20-45cm, tendo em vista que a camada superficial (0-20)cm a PST era inferior a 10. No cálculo utilizou-se a equação 01 (PIZARRO, F. 1978).

$$D = \frac{(PST_i - PST_f) \cdot T \cdot Pe \cdot h \cdot da \cdot C}{100} \quad (01)$$

onde:

- D = dose do corretivo químico, em kg/ha;
 PST_i = percentagem de sódio trocável inicial;
 PST_f = percentagem de sódio trocável final;
 T = capacidade de troca de cátions, em meq/100g;
 Pe = peso equivalente do corretivo em mg/meq;
 h = profundidade do solo em cm;
 da = massa específica do solo em g/cm³;
 C = coeficiente de correção.

Valores de C (corretivo)	C
Gesso	1,25
Cl ₂ Ca . 2H ₂ O	1,10
Enxofre	1,25
S ₅ Ca	1,25
Sulfato de ferro e alumínio	1,10
Calcário	1,25

FONTE: Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos
 (PIZARRO, F. 1978).

TABELA 05 - Vazão dos drenos parcelares em mm/dia para a cultura do feijão-de-corda *Vigna unguiculata*, (L.) Walp.

Data	Nº dos drenos						
	01	02	03	04	05	06	07
11.10.87	1,31	0,17	0,53	0,49	0,51	0,13	Submerso
20.10.87	1,17	0,18	0,85	0,59	0,25	0,14	"
29.10.87	2,45	0,33	0,91	1,92	0,63	0,28	"
07.11.87	2,52	0,30	0,92	2,26	0,71	0,32	"
16.11.87	3,53	0,38	1,24	2,56	1,01	0,30	"
25.11.87	1,43	0,40	0,65	0,52	0,51	0,35	"
04.12.87	1,63	0,36	0,75	0,66	0,56	0,35	"

3.7 - Análise Química das Águas de Irrigação, dos Poços de Observação e Drenos Parcelares

Amostras de água de irrigação, dos poços de observação e drenos parcelares, foram coletadas ao longo do experimento em três oportunidades, para fins de determinação dos seguintes parâmetros analíticos: Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , Na^+ , $\text{CO}_3^{=}$, HCO_3^- , Cl^- , $\text{SO}_4^{=}$, CE, pH, RAS e classe de água para irrigação. A metodologia de análises utilizada foi a recomendada por RICHARDS (1954).

3.8 - Determinação da Condutividade Hidráulica Saturada

Ao longo do experimento realizou-se testes de condutividade hidráulica saturada (K_θ), utilizando-se o método do poço, ou trado, que é o mais simples e tradicionalmente usado em pesquisa de drenagem subterrânea.

O método consiste em perfurar um poço até uma profundidade superior ao lençol freático e, tão logo o lençol esteja estabilizado, extrai-se água e mede-se o tempo de recuperação do nível freático. As medições são realizadas dentro do primeiro quarto de recuperação do nível de água. No controle das medições usou-se uma fita metálica com um adaptador sonoro. A FIGURA 04, ilustra os detalhes de um poço de observação.

O cálculo da condutividade hidráulica saturada (K_θ), foi feito a partir da fórmula (02) desenvolvida por ERNST (1950), citada por MILLAR (1978), condição em que a camada impermeável está mais profunda que o fundo do poço, conforme a expressão:

$$K = \frac{4.000}{(H/r + 20)(2 - Y/H)} \times \frac{r \cdot \Delta Y}{Y \times \Delta t} \quad (02)$$

onde:

K = condutividade hidráulica (m/dia);

H = profundidade do poço, abaixo do nível freático (cm);

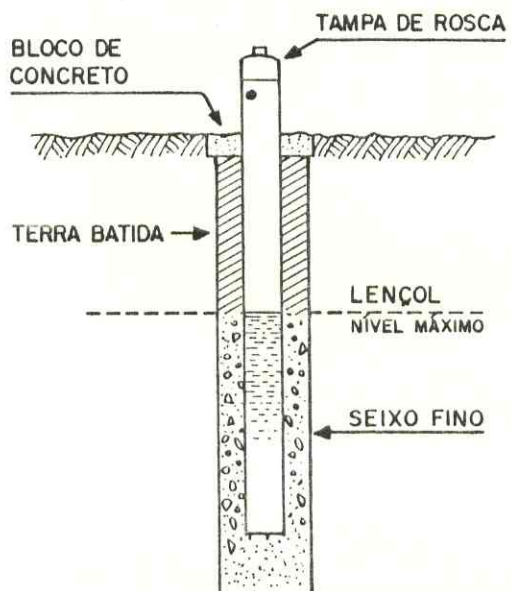


FIG. 04 - Detalhes de um poço de observação.

Y = distância entre o nível freático e o ponto médio dos níveis de água no intervalo de tempo Δt (cm);
 r = raio do poço (cm);
 ΔY = intervalo da altura no tempo Δt (cm);
 Δt = variação do tempo entre duas leituras (s).

3.9 - Procedimento Experimental

O experimento constou de quatro tratamentos mecânicos assim distribuídos:

Tratamento I - Subsolação + Aração + Gradagem

Tratamento II - Subsolação + Gradagem

Tratamento III - Aração + Gradagem

Tratamento IV - Gradagem.

A área foi subdividida em faixas no sentido longitudinal, seguindo cada uma das linhas de drenos subterrâneos, com o uso de um borda-discos, de tal forma que cada um dos tratamentos compreendia a linha de ação de seu respectivo dreno subsuperficial.

A subsolação foi feita a 0,60m de profundidade, em linhas espaçadas de 0,80m, no sentido da rede de drenagem subterrânea, iniciando-se no dreno coletor e seguindo-se até o canal terciário. A aração foi realizada a 30cm de profundidade, usando um arado de discos e a gradagem na mesma profundidade, com grade de 32 discos. O croqui de campo mostrando a forma de distribuição dos tratamentos é ilustrado na FIGURA 05.

3.10 - Espaçamento da Rede de Drenagem Subsuperficial

O espaçamento foi avaliado tomando-se como base parâmetros determinados "in loco" ao longo do experimento e usando as equações de HOOGHOUTT, ERNST e DUPUIT-FORCHHEIMER para condições de fluxo estacionário e a equação de GLOVER-DUMM para condições de fluxo não estacionário. Nas condições

de fluxo estacionário, a capacidade de descarga dos drenos é igual a recarga e a norma de drenagem diz que "com uma recarga de R mm/dia, o lençol freático deve manter-se estabilizado a uma profundidade de A metros abaixo da superfície do solo". Nas condições de fluxo não estacionário, a capacidade de descarga dos drenos não é igual à recarga, e neste caso a norma de drenagem diz que "o lençol freático deve baixar em um tempo T dias de A metros para B metros abaixo da superfície do solo, supondo que não ocorrerá recarga durante estes T dias".

- Fluxo estacionário:

- Fórmula de Hooghoudt (PIZARRO, 1978)

$$L^2 = \frac{8K_2hd}{R} + \frac{4K_1h^2}{R} \quad (03)$$

onde:

L = espaçamento entre drenos (m);

K_1 = condutividade hidráulica da camada acima do nível dos drenos (m/dia);

K_2 = condutividade hidráulica da camada abaixo do nível dos drenos (m/dia);

h = carga hidráulica (m);

d = espessura do "estrato equivalente" (m);

R = quantidade de água a drenar (m/dia).

As determinações de $K_1 = 6,5 \times 10^{-2}$ m/dia e $K_2 = 27,6 \times 10^{-2}$ m/dia foram feitas através do permeâmetro de carga constante e pelo método do poço respectivamente. O cálculo do "estrato equivalente" de Hooghoudt, fator para fluxo radial que ocorre na zona próxima ao dreno, foi feito com base na expressão (04) de acordo com MILLAR (1978)

$$d = \frac{D_o}{2,55 \cdot \frac{D_o}{L} \left(\ln \cdot \frac{D_o}{P} \right) + 1} \quad (04)$$

onde $P = \Pi \cdot r_o$, cujo valor foi igual a 1,4.

Pretendeu-se manter o lençol a 0,90m de profundidade, daí a carga hidráulica utilizada ter sido de 0,30m; uma vez que os drenos estão a 1,20m de profundidade. A descarga de dimensionamento foi estimada em 4,0mm/dia, baseada em balanço de águas no perfil do solo. O espaçamento calculado foi $L = 15,40\text{m}$. A FIGURA 06 ilustra os termos da fórmula (03) de Hooghoudt.

- Fórmula de Ernst (PIZARRO, 1978)

Condição: Solo estratificado com drenos no estrato inferior (FIGURA 07).

$$h = R \left[\frac{2 \cdot D_1}{K_1} + \frac{h - 2D_1}{K_2} \right] + R \frac{L^2}{8(K_1 D_1 + K_2 D_2)} + R \cdot \frac{L}{\pi \cdot K_2} \cdot \ln \frac{D_r}{u} \quad (05)$$

onde:

h = carga hidráulica total (m);

R = taxa de descarga por unidade de área (m/dia);

L = espaçamento entre drenos (m);

K_1 = condutividade hidráulica do estrato superior (m/dia);

K_2 = condutividade hidráulica do estrato inferior (m/dia);

D_1 = espessura média abaixo do lençol freático da camada superior com condutividade K_1 (m);

D_2 = espessura da camada inferior com condutividade K_2 (m);

D_r = espessura abaixo do nível dos drenos da camada na qual ficam os drenos (m);

u = perímetro molhado do dreno (m).

De acordo com PIZARRO (1978), quando $K_1 < K_2$, a resistência vertical no segundo estrato ($h - 2D_1/K_2$) pode ser desprezada. Ademais, como é frequente $D_1 < D_2$, o produto $K_1 D_1$ se pode desprezar frente a $K_2 D_2$ e a fórmula (05) passa a ser a seguinte (06):

$$h = R \frac{2D_1}{K_1} + R \cdot \frac{L^2}{8K_2 D_2} + R \cdot \frac{L}{\pi \cdot K_2} \cdot \ln \frac{D_r}{u} \quad (06)$$

cujo espaçamento calculado foi $L = 18,40\text{m}$.

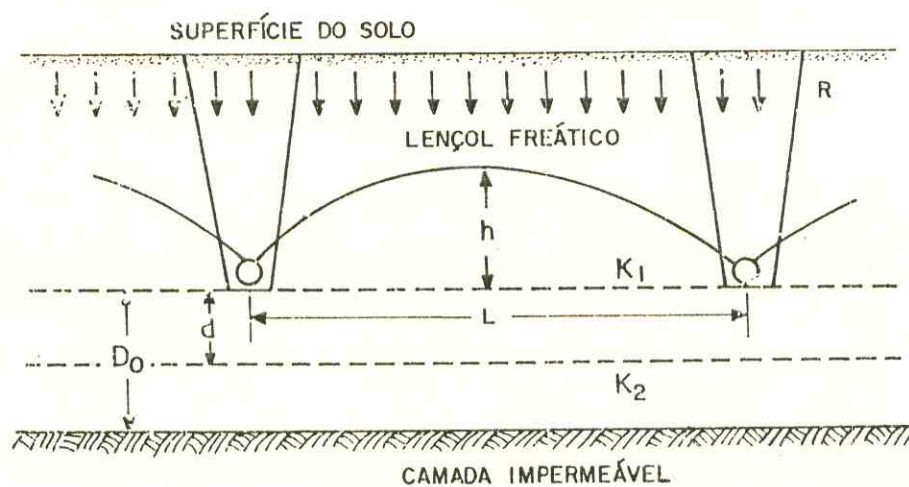


FIG. 06 - Diagrama para o cálculo do espaçamento de drenos utilizando-se a fórmula de HOOGHOUTT para fluxo estacionário.

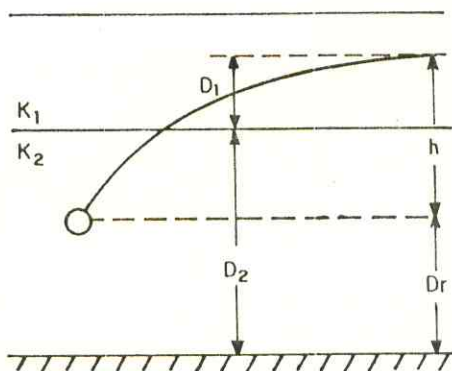


FIG. 07 - Diagrama para o cálculo do espaçamento de drenos utilizando-se a fórmula de ERNST para fluxo estacionário.

- Fôrmla de Dupuit-Forchherimer (CHU, S.T. & DeBOER, D.W., 1975) Equaçãõ 07.

Condiçãõ: Duplo nívcl sobre uma base alternada (FIGURA 08).

$$\bar{Y}^2 = R \cdot \frac{S^2}{4K} + \frac{K(D_2^2 - D_1^2)}{4RS^2} + \frac{(D_2^2 + D_1^2)}{2} \quad (07)$$

onde:

\bar{Y} = altura máxíma do lençol d'água, desde a camada impermeável (m);

S = espaçamento entre drenos (m);

D_1 = distância vertical do dreno profundo à camada impermeável (m);

D_2 = distância vertical do dreno raso à camada impermeável (m);

K = condutividade hidráulica (cm/dia);

R = quantidade de água a drenar (cm/dia).

Considerou-se uma profundidade mínima do lençol d'água sobre o dreno mais raso de 0,55m; o que proporciona um valor de \bar{Y} igual a 4,65m. Nessas condições, o espaçamento calculado foi S = 29,50m.

- Fluxo não estacionário

- Fôrmla de Glover-Dumm (MILLAR, 1978) FIGURA 09

$$S^2 = \frac{\Pi^2 \cdot K \cdot d \cdot t}{\alpha \cdot \ln\left(1,16 \frac{h_0}{h_t}\right)} \quad (08)$$

onde:

S = espaçamento entre drenos (m);

h_0 = altura inicial do lençol freático sobre os drenos, logo após cessar a recarga (m);

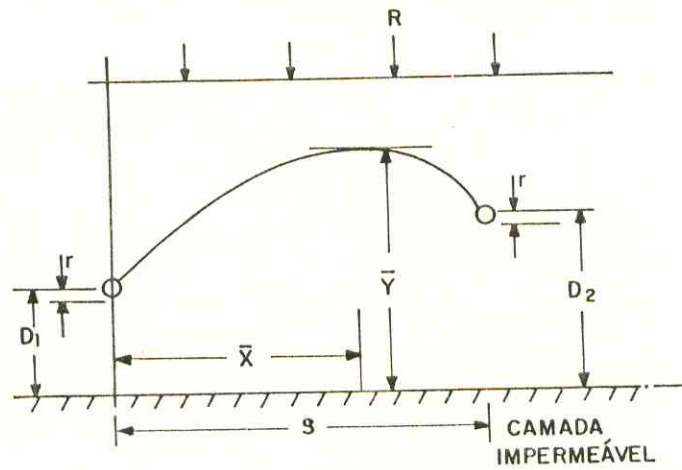


FIG. 08 - Diagrama para o cálculo do espaçamento de drenos utilizando-se a fórmula de DUPUIT - FORCHHEIMER para fluxo estacionário.

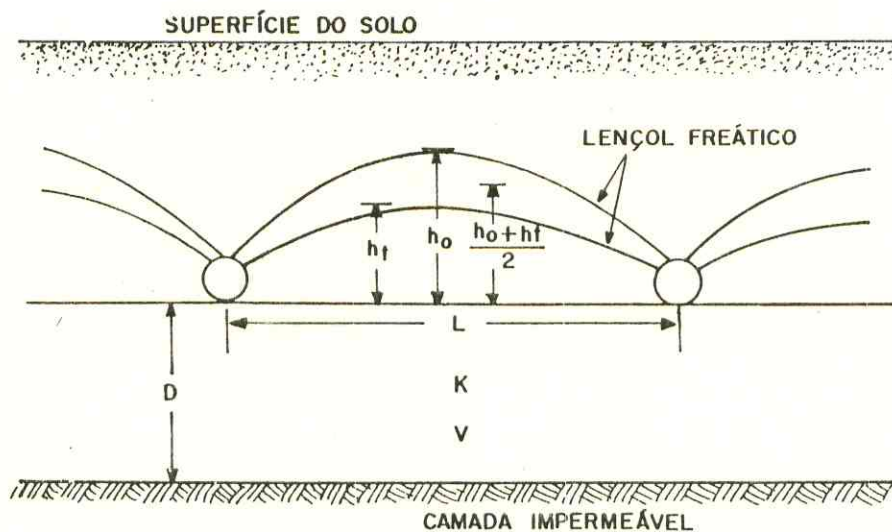


FIG. 09 - Diagrama para o cálculo do espaçamento de drenos utilizando-se a fórmula de GLOVER-DUMM para fluxo não estacionário.

h_t = altura final do lençol freático sobre os drenos após um rebaixamento ocorrido durante o tempo t ;

t = tempo em dias;

K = condutividade hidráulica (m/dia);

α = porosidade drenável do solo (decimal);

\bar{d} = estrato equivalente de Hooghoudt (m).

Pretendeu-se baixar o lençol desde $h_0 = 0,65\text{m}$ a $h_t = 0,36\text{m}$ num tempo de 3 dias, pois de acordo com LOUREIRO et alii (1986), as culturas mais sensíveis ao excesso de água como o feijão-de-corda, apresenta melhores rendimentos para níveis de profundidade do lençol freático entre 0,55 a 0,84m. Substituídos os valores dos parâmetros na equação (08) de Glover-Dumm, o espaçamento calculado foi $S = 15,10\text{m}$.

3.11 - Rendimento do Sistema de Drenagem

A eficiência do sistema de drenagem foi calculada tomando-se como base a relação entre as condições de umidade do solo quatro dias após a irrigação, para uma profundidade de 0,60m, e a porosidade efetiva ou drenável da respectiva camada de solo, em cada um dos quatro tratamentos. Cada um dos tratamentos continha uma bateria de tensiômetros instalada às profundidades de 15 e 45cm, a qual permitia o cálculo da umidade do solo no dia desejado. Os valores de porosidade total e porosidade drenável do solo utilizadas, constituíram-se numa média dos valores das respectivas sub-camadas. A eficiência de drenagem foi então calculada pela seguinte expressão:

$$E.D. = \frac{\overline{P.T.} - 100 \cdot \bar{\theta}_{(15-45\text{cm})}}{\overline{P.D.}} \times 100,$$

onde:

$E.D.$ = eficiência de drenagem (%);

$\overline{P.T.}$ = porosidade total média da camada de solo (%);

$\bar{\theta}$ = umidade média da camada de solo ($\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$);

P.D. = porosidade drenável média da camada de solo (%).

3.12 - Condução do Experimento no Campo

Instalado o sistema de drenagem subterrânea, obedeceu-se a uma rotação de culturas e adubação verde, em períodos intercalados, visando a obtenção dos parâmetros necessários aos objetivos a que se propõe o trabalho.

Após preparação da área de acordo com os respectivos tratamentos mecânicos, passou-se a trabalhar com a cultura do feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*, D.C.), sob regime de irrigação por sulcos, fechados no final.

Antes de se proceder aos tratamentos mecânicos, a área foi sistematizada, deixando-se um gradiente de 0,1% no sentido longitudinal e em nível no sentido transversal.

A razão do uso da cultura do feijão-de-porco, deu-se pelo fato de que dentre as culturas utilizadas como adubação verde, ela apresenta um ciclo bem mais precoce, chegando a responder com uma massa verde variando de 20 a 30 ton/ha. CRUZ (1958), quando de sua floração, que ocorre entre os 60 a 70 dias após sua semeadura.

A semeadura foi realizada no espaçamento de 0,80m x 0,50m, utilizando-se três sementes por cova. Não foi realizada a operação de desbaste, uma vez que objetivava-se uma maior massa verde possível.

Aos 20 dias após a semeadura, ocorreu um ataque de vaquinha - *Diabrotica speciosa* (GERMAR, 1824), (Col., Chrysomelidae), o qual foi combatido através de duas pulverizações com carvin, espaçadas de 8 dias.

Aos 65 dias após a semeadura, através de duas gradagens cruzadas e profundas, foi incorporada toda massa verde.

Decorridos 100 dias da incorporação da massa verde do feijão-de-porco, passou-se a trabalhar com a cultura do arroz (*Oryza sativa*, L., cultivar IR. 8), sob regimes de ir

rigação por inundação, objetivando proceder a uma lavagem dos sais solúveis.

A área foi novamente sistematizada procedendo-se à sua sub-divisão em faixas longitudinais, com o uso de um borda-discos, seguindo cada faixa o sentido dos drenos subterrâneos. Antes, porém, foram realizados os tratamentos mecânicos, de tal forma que cada um dos tratamentos compreendia a linha de ação de seu respectivo dreno subterrâneo.

Visando uma melhor distribuição e uniformidade da água de irrigação, dividiu-se a área em 28 marachas. A sementeira foi realizada através de uma semeadeira mecânica previamente regulada. Após a sementeira, aplicou-se uma lâmina de 15cm e em seguida fez-se a drenagem de toda a água. De corridos 7 a 8 dias, período em que deu início a germinação, realizou-se aplicação de outra lâmina de 15cm seguida de drenagem, a qual iria facilitar no processo de germinação.

No vigésimo dia após a germinação, realizou-se a operação de transplantio, com o objetivo de proporcionar uma melhor uniformidade do estande.

A adubação química foi realizada com base na análise da fertilidade do solo sugerindo-se a aplicação de 90 kg/ha de N, 30 kg/ha de P_2O_5 e 25 kg/ha de K_2O . Aos 30 dias fez-se a primeira aplicação que constou de 1/3 de N, todo o P_2O_5 e 50% de K_2O . Aos 60 dias a segunda aplicação constou de 1/3 de N e finalmente na floração realizou-se a terceira aplicação, que constou de 1/3 de N e 50% de K_2O .

O controle das ervas daninhas foi feito através de pulverizações com herbicidas, nas seguintes proporções para cada pulverizador de 20 litros: 500 ml de Stan F - 34 (Propanin), 50 ml de 2,4 - D e 20 ml de Extravon-200 (espalhante adesivo). Visando um total controle das ervas daninhas, fez-se necessário o uso de um acabamento manual.

A partir da sexta semana, o solo permaneceu saturado e com uma lâmina de água em torno de 10cm, como é recomendado pela cultura sob regime de irrigação por inundação.

No período que antecedeu a colheita, fez-se a drenagem de toda a água da área, visando uma melhor maturação do

grão. A colheita foi realizada manualmente, não se fazendo uso da soca, mas sim a incorporação desta dez dias após a colheita.

Decorridos oitenta dias da colheita do arroz, foi feita uma aplicação de gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) da ordem de 17.876 kg/ha., conforme cálculos requeridos para rebaixar a PST_1 para um valor igual a 10,0, PIZARRO (1978), numa camada de solo de 25cm. O gesso foi usado como fonte de cálcio, para fins de substituição do sódio pelo cálcio, embora a reação química seja dificultada ou retardada em razão da baixa solubilização do gesso em água e pela baixa permeabilidade dos solos sódicos, CRUCIANI (1980). A preferência do gesso deu-se em função do menor custo e facilidade de aquisição se comparado com outros corretivos.

Como última etapa do experimento, trabalhou-se com a cultura do feijão-de-corda (*Vigna unguiculata*, L. (Walp.)), sob regime de irrigação por sulcos fechados no final. Tendo sido realizadas todas as operações mecânicas de preparo da área, semelhante às realizadas para as culturas anteriores, bem como repetidos os tratamentos mecânicos em suas faixas de área respectiva, fez-se a semeadura do feijão-de-corda dia 01.10.87 utilizando-se um espaçamento de 0,95m x 0,50m e colocando-se três sementes por cova. Em virtude da época de semeadura, não se fez a análise de produtividade da cultura, pois de acordo com BEZERRA (1985), para as condições climáticas da região, essa época de plantio apresenta rendimentos médios insignificantes, por ser uma época tardia.

Após a semeadura, foi efetuada uma rega de 75mm, comum a todos os tratamentos, com a finalidade de levar o solo a capacidade de campo, para a profundidade de 0,60m. A germinação veio a ocorrer 5 a 6 dias após a semeadura, período esse em que se fez um replantio em razão das falhas existentes. A partir da terceira rega, a lâmina bruta aplicada passou a ser 4/3 da lâmina bruta calculada, pois de acordo com OLIVEIRA (1986), essa lâmina é recomendada para redução da salinidade e sodicidade.

Utilizou-se duas pulverizações com Carvin, espaçadas de 8 dias, para combater um ataque de vaquinha - *Diabrotica speciosa* (GERMAR, 1824) (Col., Chrysomelidae), logo aos primeiros dias. O controle da lagarta elasmó (*Elasmopalpus lignosellus* Zeller, 1948), foi realizado com Aldrin 40 T.S., utilizando-se 30g./20 litros de água em duas pulverizações espaçadas de 7 dias e uma última 15 dias após a segunda.

A adubação química foi procedida tomando-se como base a seguinte sugestão: 15 kg/ha de N, 60 kg/ha de P_2O_5 e 20 kg/ha de K_2O . A adubação fosfórica, potássica e 1/3 da nitrogenada foi aplicada na fundação e o restante da nitrogenada em cobertura aos 30 dias após a semeadura.

Durante todo o período vegetativo, a cultura foi mantida livre da concorrência de ervas daninhas, realizando-se para tal duas capinas manuais.

As irrigações ao longo do período foram processadas normalmente, sendo a última irrigação realizada no dia 04.12.87, para fins de incorporação, que ocorrera 75 dias após a semeadura, através de duas gradagens cruzadas e profundas.

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - Resultados Analíticos das Águas

Na TABELA 06 são apresentadas as características da água de irrigação, dos poços de observação e dos drenos parcelares durante a condução do experimento. As amostras foram coletadas no início do experimento, durante seu desenvolvimento e ao final.

A água de irrigação utilizada durante a condução do experimento, de acordo com a classificação de qualidade de água para irrigação, indicada por RICHARDS (1954), possui um alto risco de salinização (C_3) e não oferece perigo de sodificação (S_1). A concentração de sais, determinada através da condutividade elétrica, apresentou uma pequena variação entre os valores das duas primeiras amostragens, fato esse que pode ser atribuída à elevada demanda evaporativa da região. O Na^+ é o cátion predominante, com o Ca^{2+} e Mg^{2+} apresentando concentrações praticamente iguais e finalmente o K^+ com concentração muito abaixo em relação às anteriores. Dentre os ânions predominou o Cl^- , seguindo-se a soma de $CO_3^{2-} + HCO_3^-$ e finalmente SO_4^{2-} .

As amostras extraídas dos poços de observação, apresentaram um elevado incremento nos valores da RAS da primeira para a segunda amostragem, em virtude do aumento no valor do Na^+ e rebaixamento nos valores de Ca^{2+} e Mg^{2+} , em decorrência do fato da segunda amostragem ter se realizado cinquenta dias após a aplicação do gesso, o que veio acarretar variações nesses valores iniciais. As concentrações de Na^+ e Cl^- apresentaram uma variação com o tempo, semelhante a CE, em virtude de serem os íons predominantes, bem como os principais responsáveis pelos valores da CE.

As amostras d'água colhidas dos drenos parcelares, embora tenham apresentado na RAS variações semelhantes a dos

TABELA 06 - Características da água de irrigação, poços de observação e drenos parcelares durante a cultura do feijão-de-corda.

Data de Amostragem	CE	Íons Solúveis								pH	RAS	Classe
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻ + HCO ₃ ⁻				
mmhos/cm		meq/litro										
<u>Água de irrigação</u>												
10.08.87	0,76	2,00	1,90	3,92	0,15	4,20	0,60	2,40	8,50	2,80	C ₃ S ₁	
07.11.87	0,83	2,04	2,04	4,00	0,16	4,90	0,50	2,40	8,50	2,80	C ₃ S ₁	
20.12.87	0,83	2,00	2,20	4,00	0,18	5,00	0,60	2,00	7,80	2,76	C ₃ S ₁	
<u>Poços de observação</u>												
10.08.87	0,96	2,40	1,70	5,82	0,10	4,50	1,68	2,50	8,00	4,10	C ₃ S ₁	
07.11.87	4,30	1,50	1,40	41,40	0,08	28,80	2,76	0,16	8,20	34,30	C ₄ S ₄	
20.12.87	1,94	2,30	1,80	15,40	0,12	10,00	0,80	6,40	7,20	10,80	C ₃ S ₂	
<u>Drenos parcelares</u>												
10.08.87	1,62	3,00	2,10	11,04	0,12	8,90	2,50	4,10	8,00	6,90	C ₃ S ₂	
07.11.87	2,30	4,70	3,56	14,40	0,24	12,20	3,90	4,64	7,40	7,10	C ₄ S ₂	
20.12.87	1,40	4,10	2,80	6,95	0,13	6,80	3,40	2,60	7,40	3,70	C ₃ S ₁	

poços de observação, não foram na mesma magnitude, visto que a água extraída dos poços de observação estava mais concentrada se comparada às dos drenos parcelares. A redução do pH detectada nas últimas amostragens, pode ser explicada pela ocorrência de chuvas no período; já as variações nas concentrações de Na^+ e Cl^- , responsáveis pelos valores da CE, também apresentaram amplitudes menores em relação aos poços de observação, fato ligado à maior concentração nesses. As FIGURAS 10 e 11 mostram a variação da concentração, em função do tempo, dos íons solúveis.

4.2 - Análise das Características Químicas do Solo

Na TABELA 07, são apresentados valores de características químicas do solo, usadas na avaliação da salinidade e sodicidade, em amostras coletadas antes e após o experimento, para cada um dos tratamentos, nas profundidades de (0-20) cm, (20-40) cm, (40-60) cm, (60-90) cm, (90-120) cm e (120-150) cm.

As análises das amostras de solo revelam modificações em suas características químicas. De um modo geral, verificou-se que ao final do experimento, os valores do pH apresentaram uma ligeira tendência para decréscimo em todos os tratamentos, sobretudo nas camadas superficiais. A percentagem de sódio trocável (PST) apresentou redução em todas as camadas amostradas, conforme ilustração da FIGURA 12, que mostra a variação da PST no perfil do solo para cada um dos tratamentos. Proporcionalmente as maiores reduções ocorreram na camada superficial de 0-20cm, uma vez que o gesso foi aplicado na superfície do solo. O tratamento T.I, na camada de 0-20cm praticamente manteve a mesma PST, fato esse que pode está ligado aos maiores valores da capacidade de troca de cátions (CTC) na faixa de solo do respectivo tratamento, bem como à prática da aração, onde poderia ter provocado uma inversão de solo da camada mais profunda (20-40)cm, de elevada

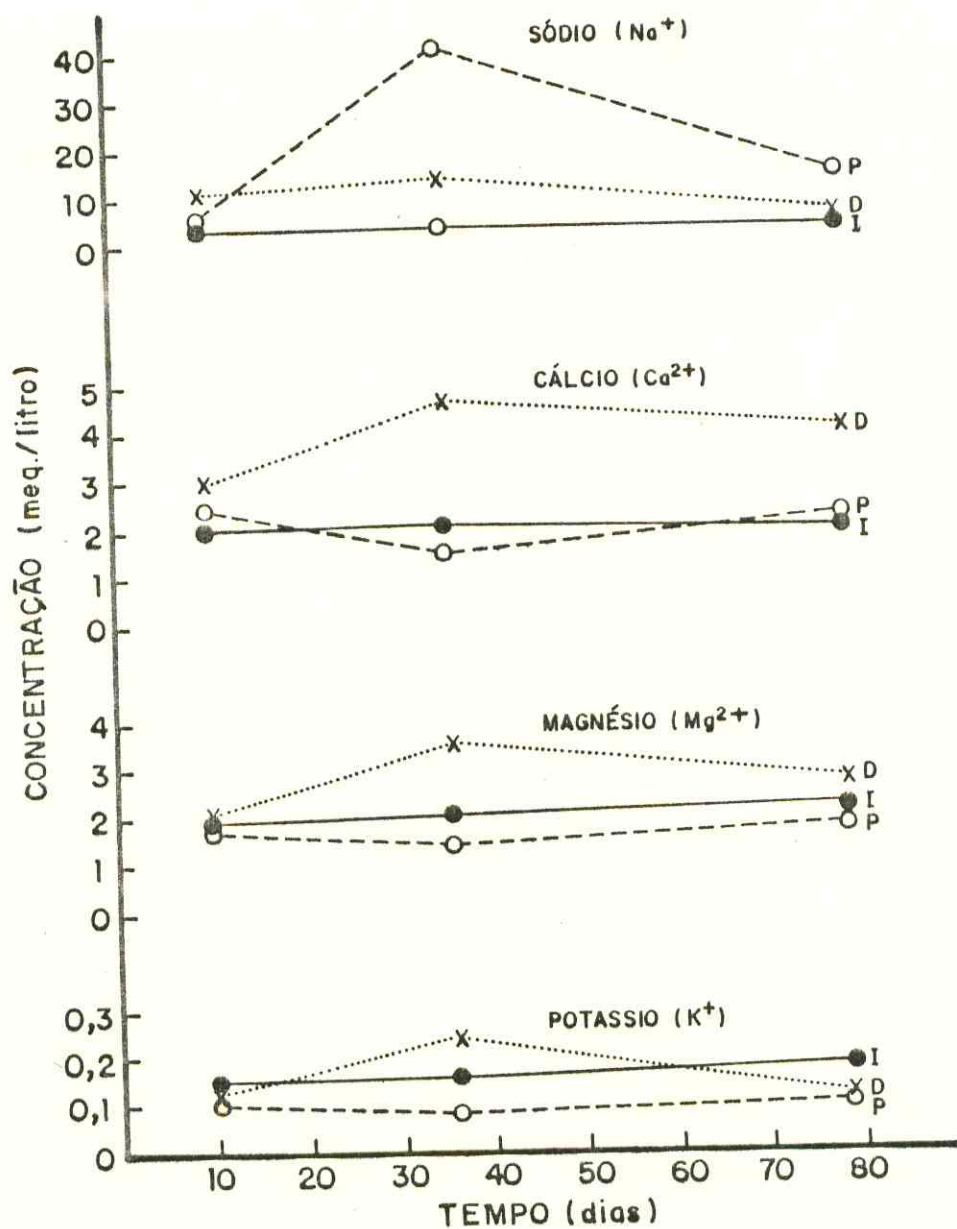


FIG. 10 - Variação da concentração, em função do tempo, de Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺ na água de irrigação (I), poços de observação (P) e drenos parcelares (D).

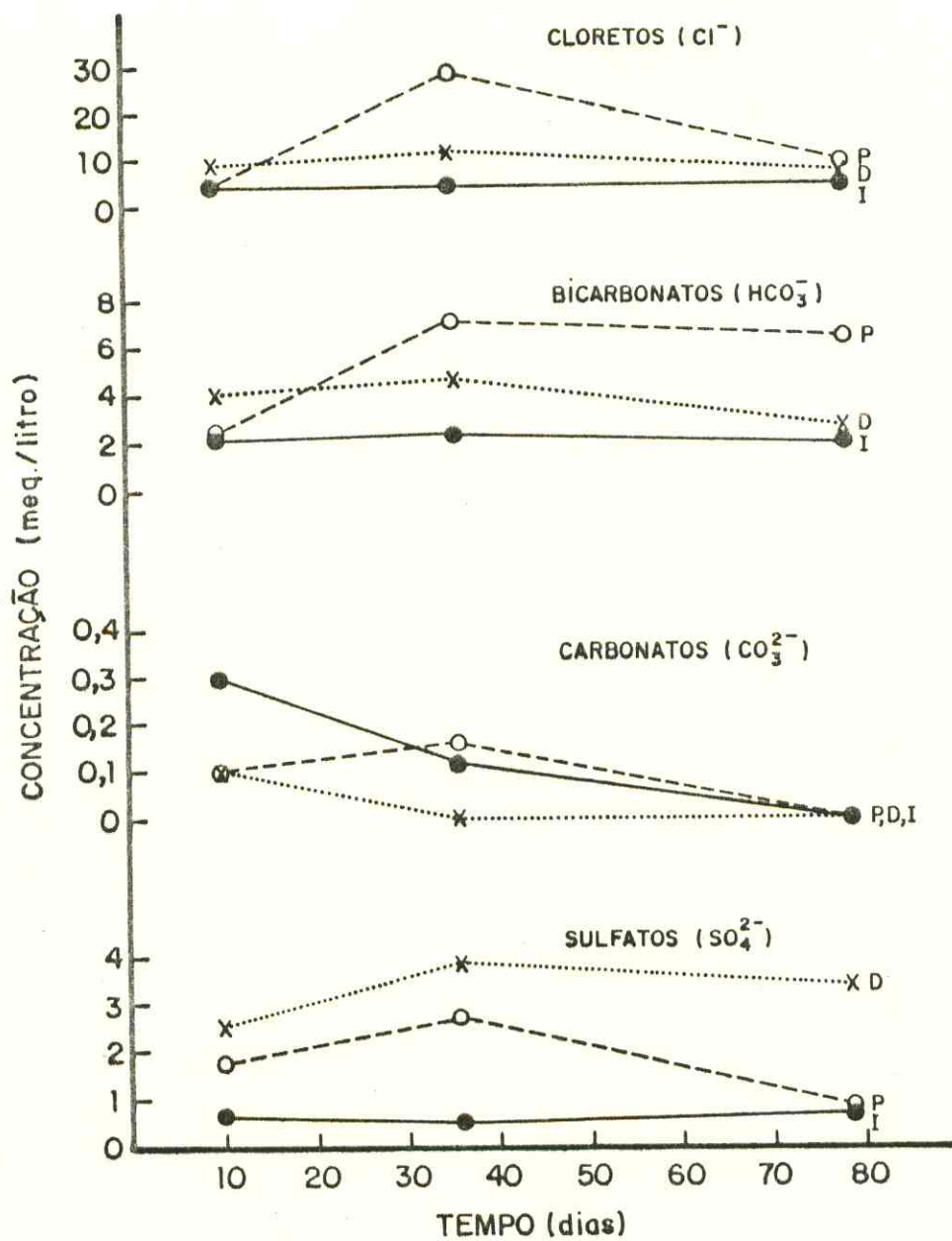


FIG. 11 - Variação da concentração, em função do tempo de Cl^- , HCO_3^- , CO_3^{2-} e SO_4^{2-} na água de irrigação (I), poços de observação (P), drenos parcelares (D).

TABELA 07 - Características químicas do solo antes e após o experimento.

Época de Amostragem	Porfundidade cm	pH	CE mmhos/cm	CTC meq/100g	PST
Início	0 - 20	7,4	1,1	19,1	6,7
	20 - 40	7,5	1,3	24,1	25,8
	40 - 60	7,7	1,8	23,1	36,6
	60 - 90	8,0	1,6	21,1	44,5
	90 - 120	8,2	2,1	17,4	48,2
	120 - 150	8,2	2,7	15,3	48,1
Final T. I	0 - 20	7,1	2,5	22,0	6,6
	20 - 40	7,1	2,9	26,9	19,3
	40 - 60	7,1	3,8	27,9	29,5
	60 - 90	7,4	3,3	27,1	35,6
	90 - 120	7,9	2,5	24,9	39,5
	120 - 150	8,0	2,7	23,0	39,5
Final T. II	0 - 20	7,1	2,2	18,2	6,5
	20 - 40	7,0	1,9	18,7	15,1
	40 - 60	7,1	1,8	19,1	20,2
	60 - 90	7,8	1,5	19,4	27,8
	90 - 120	8,2	1,4	18,0	28,3
	120 - 150	8,1	1,5	19,3	29,4
Final T. III	0 - 20	7,0	4,5	29,4	2,2
	20 - 40	7,0	3,2	22,4	20,0
	40 - 60	7,8	2,4	25,1	35,5
	60 - 90	8,2	1,8	24,0	38,1
	90 - 120	8,2	1,5	17,1	36,5
	120 - 150	8,5	1,6	19,4	40,1
Final T. IV	0 - 20	7,3	3,2	19,1	4,2
	20 - 40	7,6	2,8	25,6	18,6
	40 - 60	7,6	2,9	26,6	37,4
	60 - 90	7,9	2,0	27,4	42,7
	90 - 120	8,1	2,3	24,3	37,4
	120 - 150	8,3	2,1	17,0	36,9

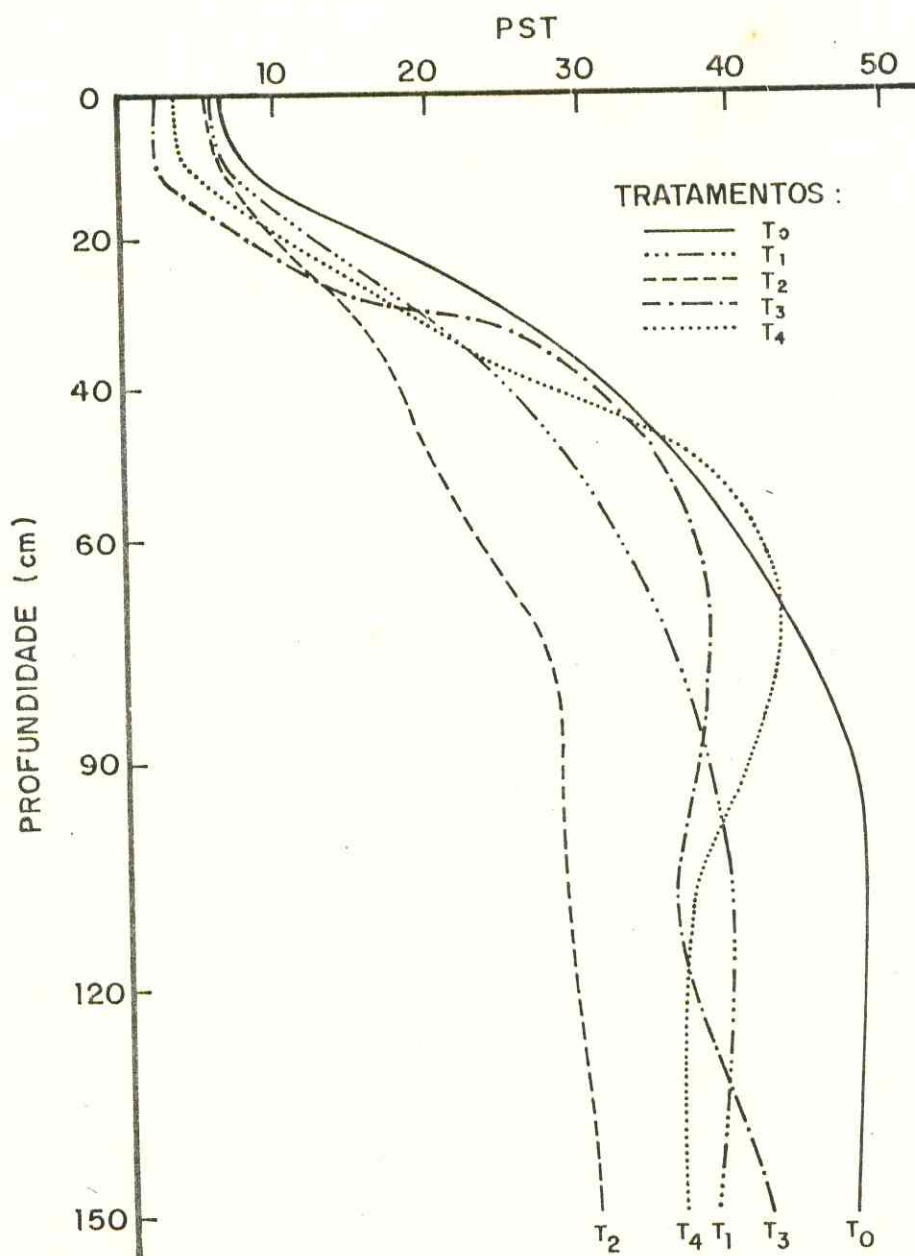


FIG. 12 - Percentagem de sódio trocável (PST) no perfil do solo após o experimento.

T₀ = testemunha

T₁ = subsolagem + aração + gradagem

T₂ = subsolagem + gradagem

T₃ = aração + gradagem

T₄ = gradagem.

PST, para parte superficial. Os tratamentos T.I e T.II, que receberam a subsolagem, apresentaram uma redução da PST mais uniforme ao longo do perfil, comparados com os tratamentos que não receberam tal prática. O tratamento II apresentou os menores valores da PST ao longo do perfil em relação aos demais, o que justifica-se tendo em vista os menores valores da CTC do solo da parcela (Tabela 07). Os resultados observados devem estar ligados a aplicação do gesso. Segundo COALE *et alii* (1984), citados por FERREYRA & COELHO (1986), na presença de gesso, o cálcio substitui o sódio trocável e, através da lixiviação pela água de irrigação, são removidos os íons Na^+ e OH^- , causando um decréscimo no pH e no teor de sódio do solo. A CE apresentou ao final do experimento um ligeiro incremento sobretudo nas camadas superficiais dos respectivos tratamentos, fato esse que pode ser atribuída a baixa permeabilidade do solo, não permitindo portanto uma lixiviação completa dos sais solúveis. Os tratamentos I e II que receberam a subsolagem, apresentaram menores valores da CE, sobretudo nas camadas superficiais, em relação aos que não receberam a subsolagem, sugerindo que esta prática de manejo do solo venha a contribuir na maior lavagem de sais solúveis. O tratamento II que apresentou menores valores de CE nas camadas superficiais, correspondeu a faixa de solo com menores valores de CTC e possivelmente as melhores condições de movimento d'água. A variação observada nos valores de CE pode estar associada à profundidade do lençol freático e suas oscilações no período.

4.3 - Condutividade Hidráulica Saturada

Os valores médios das determinações da condutividade hidráulica saturada, realizadas pelo método do poço, antes e ao final do experimento, são apresentados na TABELA 08.

O incremento nos valores médios da condutividade hidráulica saturada, realizado pelo método do poço, pode ser justificado pelo uso de tratamentos mecânicos utilizados na

TABELA 08 - Valores médios da condutividade hidráulica saturada do solo antes e após o experimento.

Período	Tratamento	K_{θ} (m.dia ⁻¹)
Inicial	-	$8,5 \times 10^{-3}$
Final	Gradagem	$3,2 \times 10^{-2}$
	Aração + Gradagem	$3,7 \times 10^{-2}$
	Subsolagem + Gradagem	$3,9 \times 10^{-2}$
	Subsolagem + Aração + Gradagem	$27,6 \times 10^{-2}$

condução do experimento, como a subsolagem, que propicia uma melhoria das condições físicas do solo, provocando um melhoramento nas condições de movimento de água no perfil. O uso de adubo verde como o feijão-de-porco acarreta melhorias na estrutura do solo, vindo por conseguinte determinar melhores condições de arejamento, além de maior retenção de água. Do ponto de vista químico, a prática da adubação verde adiciona carbono orgânico ao solo, como também lhe devolve o nitrogênio. O gesso, como fonte de cálcio solúvel, melhora as características físicas do solo conferindo-lhe maior velocidade de infiltração d'água, maior aeração e desenvolvimento radicular, decorrente da substituição do sódio pelo cálcio no complexo sortivo. MELO (1987), estudando o efeito do gesso e da concentração salina da água na condutividade hidráulica do solo, com base nos resultados obtidos, verificou que o gesso proporcionou aumentos relevantes na condutividade hidráulica dos solos. FREITAS (1983), encontrou resultados similares, ao verificar aumento da condutividade hidráulica de um solo salino-sódico, quando submetido a aplicação de gesso, constatando melhorias nas características de transmissão de água e estabilidade dos agregados.

4.4 - Análise das Equações de Drenagem Subsuperficial

Das equações estudadas na avaliação do sistema de drenagem subsuperficial, as de Hooghoudt e Glover-Dumm subestimaram o valor real do espaçamento que é de 17,50m, enquanto que as equações de Ernst e Dupuit-Forchheimer superestimaram esse valor. As equações de Hooghoudt e Glover-Dumm apresentaram valores semelhantes, subestimando o valor real em 12,0 e 13,7% respectivamente, enquanto que as de Ernst e Dupuit-Forchheimer superestimaram em 5,10 e 68,50% respectivamente. Verifica-se daí que a equação de Ernst apresentou maior eficiência em comparação com as demais. LOUREITO et alii (1985), estudando a eficiência das equações de drenagem,

observou que salvo algumas exceções, todas as equações superestimaram o espaçamento real, crescendo essas superestimacões com os aumentos dos intervalos de tempo e com a variaçãõ na posição do lençol ($h_o - h_t$).

4.5 - Mapas de Isohypsas

De posse dos dados de profundidade do lençol freático e do nivelamento geométrico da área do experimento, calculou-se as cotas do lençol freático para cada poço de observação. Em seguida, plotou-se a posição dos poços em um mapa planimétrico e traçou-se as isohypsas de 0,05 em 0,05m para os meses de outubro, novembro e dezembro/87, bem como a direção do fluxo. O gradiente hidráulico na direção do fluxo apresentou os seguintes resultados: out./87 - 0,0061m/m; nov./87 - 0,0017m/m e dez./87 - 0,002m/m. As FIGURAS 13, 14, 15, representam as isohypsas no período.

O mês de novembro/87 apresentou-se como o mais crítico, de vez que caracterizou-se como o de níveis freáticos mais elevados, o que pode ser observado pelos resultados da média aritmética da profundidade do lençol freático desde o nível do solo, que são os seguintes: outubro/87 - 0,95m, novembro/87 - 0,89m e dezembro/87 - 1,00m.

4.6 - Análise da Eficiência do Sistema de Drenagem Subsuperficial

A TABELA 09, mostra o rendimento do sistema de drenagem para cada um dos tratamentos.

Tendo em vista a baixa permeabilidade do solo, o sistema de drenagem em estudo apresentou uma eficiência que se situa entre regular e boa, do ponto de vista de critério agrônômico. O baixo rendimento do tratamento II, em que se

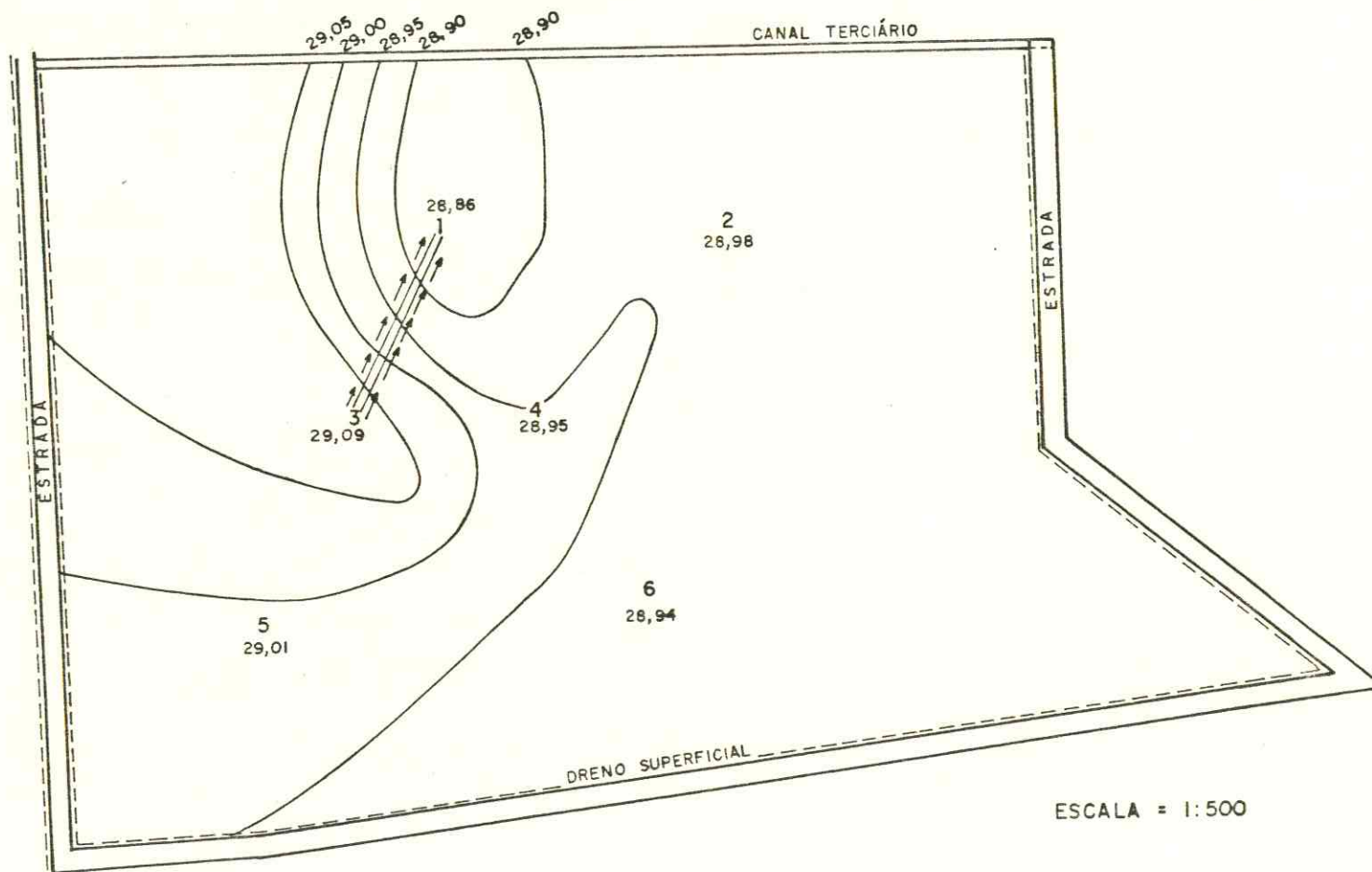


FIG. 13 - Isohypsas do mês de outubro/87.

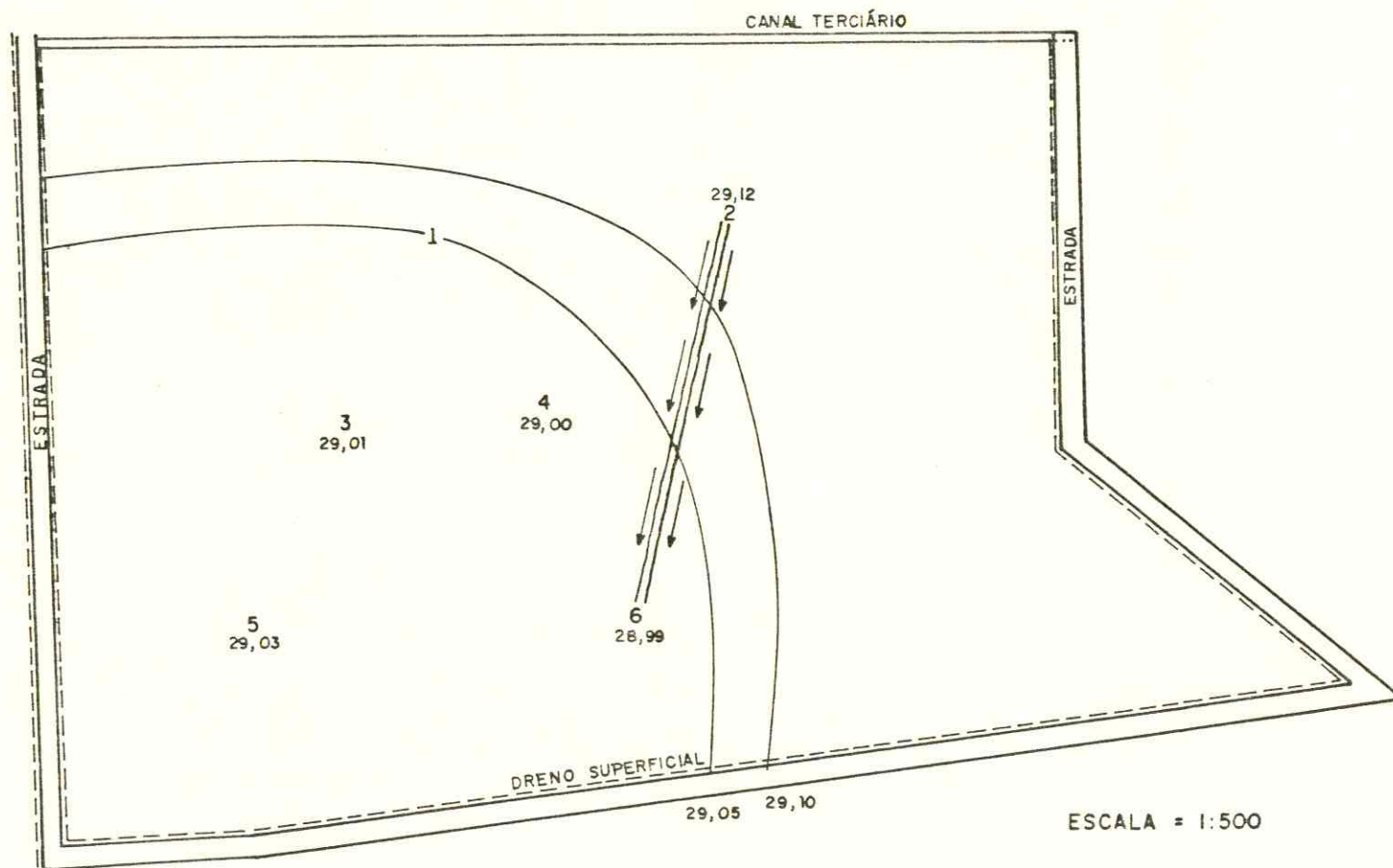


FIG. 14 - Isohypsas do mês de novembro/87.

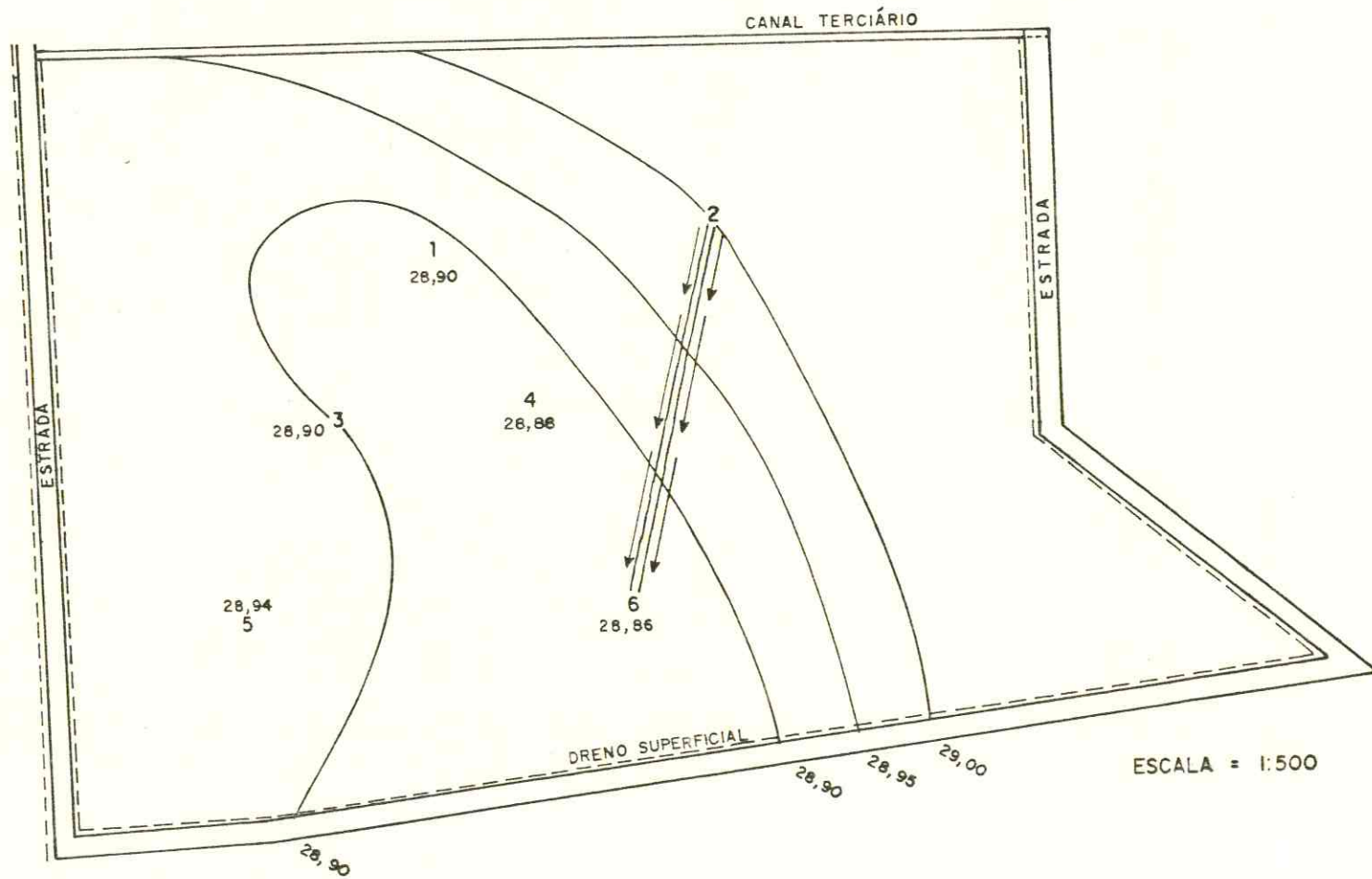


FIG. 15 - Isohypsas do mês de dezembro/87.

TABELA 09 - Eficiência do sistema de drenagem para cada tratamento.

	Tratamentos			
	I	II	III	IV
	66,2	44,1	77,2	69,8
Eficiência (%)	73,5	40,5	66,2	73,5
	44,1	51,5	62,5	88,2
	29,5	47,8	77,2	88,2
Média	53,3	46,0	70,8	79,9

situa uma linha de drenos subsuperficiais instalada a 0,70m, pode está ligado a algum defeito de instalação, sempre possível de ocorrer quando se utiliza manilhas de barro sem acoplamento. Os tratamentos I e II que apresentaram baixos rendimentos se comparados aos tratamentos III e IV, tiveram os melhores índices de produtividade, fato esse que justifica-se tendo em vista que a cultura utilizada na análise de produtividade foi o arroz, sob regime de irrigação por inundação. O tratamento IV, onde se verificou a melhor performance, embora tenha recebido apenas o tratamento mecânico da gradagem associada à aplicação de gesso, pode ser justificada pela profundidade da linha de drenos subsuperficiais a 0,70m, região próxima àquela utilizada para o estudo do rendimento do sistema.

Com base nos resultados, verifica-se a possibilidade de se utilizar eficientemente drenos rasos em solos aluviais de regiões semi-áridas, sobretudo em locais onde o desaguadouro natural está situado a uma cota pouco inferior ao drenos coletor, como uma forma de prevenir as recargas nos drenos parcelares, quando a carga no coletor se eleva a níveis indesejáveis.

4.7 - Análise da Produção

As produções médias de arroz em casca estão representadas na TABELA 10.

Os melhores rendimentos obtidos foram com a aplicação da subsolagem, que podem ser explicados em razão das melhores condições de movimento da água, por eliminação de camadas de impedimento (ECK & TAYLOR, 1969), citados por FERREYRA & COELHO (1986), bem como aumento da eficiência ou atividade das raízes decorrente da melhoria das condições físicas do solo (UNGER, 1979; ECK & DAVIS, 1971), citados por FERREYRA & COELHO (1986). Resultados similares foram obtidos por FERREYRA & COELHO (1986), com o uso da subsolagem a 0,70m de profundidade, em linhas espaçadas de 1,0m, seguindo o sentido da rede de drenagem subsuperficial.

TABELA 10 - Rendimentos médios (kg/ha) de arroz em casca nos tratamentos aplicados.

Repetições	Tratamentos			
	I	II	III	IV
R ₁	6.070	4.823	4.433	4.224
R ₂	5.400	4.543	4.085	4.108
Totais	11.470	9.366	8.518	8.332
Média	5.735	4.683	4.259	4.166

5 - CONCLUSÕES

O presente trabalho permitiu às seguintes conclu
sões:

- As análises das características químicas do solo, água dos poços de observação e drenos parcelares ao longo do experimento, revelaram a eficiência do gesso na substituição do sódio trocável.

- O tratamento I (subsolagem + aração + gradagem) foi o que melhor se comportou, evidenciando melhoria das con
dições de movimento d'água, traduzida nos valores médios da condutividade hidráulica saturada no final do experimento em relação aos valores médios iniciais.

- Os tratamentos I e II que continham a prática da subsolagem elevaram os rendimentos da cultura do arroz culti
vado em solo sódico com baixíssima permeabilidade.

- O manejo do solo através da prática da subsolagem evidenciou-se como eficiente na contribuição da lavagem dos sais solúveis.

- O mapa de isohypsas demonstrou que a direção do fluxo foi no sentido do dreno coletor, com o mês de novem
bro/87 apresentando-se como o mais crítico, onde a altura do lençol freático a partir da superfície do solo teve um valor médio de 0,89m e um gradiente hidráulico igual a 0,0017m/m.

- Os resultados do rendimento do sistema de drena
gem, demonstraram ser possível utilizar eficientemente dre
nos rasos em solos aluviais de regiões semi-áridas, onde a cota do desaguadouro natural em relação a do dreno coletor, não permite a utilização de drenos mais profundos, em virtu
de da possibilidade da sub-irrigação, provocada por cargas elevadas no coletor.

- O espaçamento de 17,50m está condizente com as ca
racterísticas do solo.

- As fórmulas de Hooghoudt e Glover-Dumm subestimaram o espaçamento real de campo em 12 e 13,7% respectivamente, enquanto as de Ernst e Dupuit-Forchheimer superestimaram em 5,1 e 68,5% respectivamente.

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

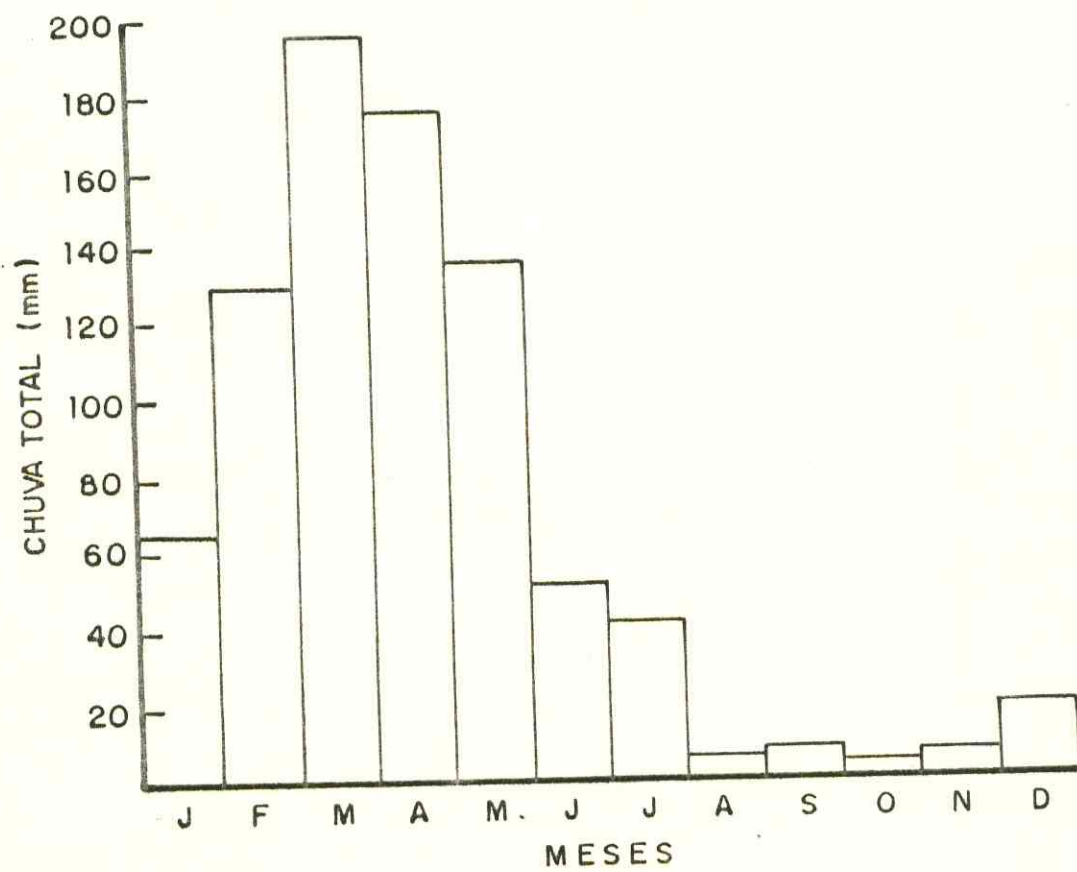
- BELTRAME, L.F.S.; TAYLOR, J.C. & MATTOS, C.C.L. - Efeito da drenagem do solo no número de dias disponíveis para implantação de culturas de verão. R. Bras. Ci. Solo. 5: 139-144, 1981.
- BERNANDO, S. - Manual de irrigação. Viçosa, UFV. Imp. Univ. 1982, 463p.
- BEZERRA, F.M.L. - Efeito do potencial matricial e da época de plantio na produtividade de dois cultivares de feijão-de-corda, *Vigna unguiculata* (L.) Walp., no Vale do Curu sob regime de irrigação. Fortaleza, UFC, 93p. Tese de Mestrado, 1985.
- BREHM, R.D. & FAUSEY, N.R. - Shallow subsurface drainage - field performance. Transactions of the ASAE. p. 1082-1088, 1976.
- CHU, S.T. & DEBOER, D.W. - Bi-level subsurface drainage theory. Transactions of the ASAE. p. 664-667, 1975.
- CORDEIRO, G.G.; SUGUINO, H.H.; JÚNIOR, W.C. & VALDIVIESO, C.R. - Parâmetros de drenagem subterrânea nos latossolos do perímetro irrigado de Bebedouro. VII Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, p. 607-619, 1986.
- COELHO, M.A. - Características de umidade de alguns solos de aluvião: Normais, sódico e sódico-salino. Rio de Janeiro, 1971. 113p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.
- CRUCIANI, D.E. - A drenagem na agricultura. São Paulo. Editora Nobel. 1980. 333p.
- DEBOER, D.W. & CHU, S.T. - Field and Laboratory of Bi-Level Drainage Theory. Transactions of the ASAE. p. 478-481, 1976.

- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - Manual de métodos de análise de solo, Rio de Janeiro. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo, 1979.
- FAUSEY, N.R.; HUNDAL, S.S. & TAYLOR, G.S. - Permeable backfill effects on water removal by subsurface drains in clay soil. Transactions of the ASAE, p. 104-108, 1980.
- FERREYRA, H.F.F. & COELHO, M.A. - Efeito de doses de gesso e subsolagem na produtividade de arroz em solo sódico. R. Bras. Ci. Solo. 10: 157-161. 1986.
- FERREYRA, H.F.F. & COELHO, M.A. - Variação da concentração de sais na solução de um solo aluvial vértico cultivado com arroz sob inundação. R. Bras. Ci. Solo. 8: 69-76, 1984.
- FREITAS, J.A.D. - Efeito de corretivos químicos e matéria orgânica sobre características físicas e químicas de um solo salino-sódico. Fortaleza, UFC, 72p. Tese de Mestrado, 1983.
- GOMES, P.C.F. & MILLAR, A.A. - Determinação das propriedades hidráulicas de solos aluviais através da descarga de drenos subterrâneos. R. Bras. Ci. Solo. 2: 90-94, 1978.
- HERMSMEIER, L.F. - Shallow Drain Performance in a Heavy Soil. Transactions of the ASAE. p. 92-96. Paper 69-111. 1969.
- JÚNIOR, W.C.; VALDIVIESO, C.R.; SUGUINO, H.H.; CORDEIRO G.G. - Drenagem subterrânea no perímetro irrigado de Maniçoba - Critérios de dimensionamento e avaliação de desempenho. VII Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem. p. 645-661, 1986.
- LOUREIRO, B.T.; COELHO, E.F.; FERREIRA, P.A.; CAIXETA, T.J. & BERNARDO, S. - Eficiência de algumas equações de drenagem no dimensionamento de drenos abertos e cobertos em condições de campo. Revista Ceres 32(179): 43-62, 1985.
- LOUREIRO, B.T.; LIMA, C.A.S.; FERREIRA, P.A. & CAIXETA, T.J. - Efeito de seis profundidades do lençol freático sobre o comportamento da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.). Revista Ceres 33(186): 99-107, 1986.

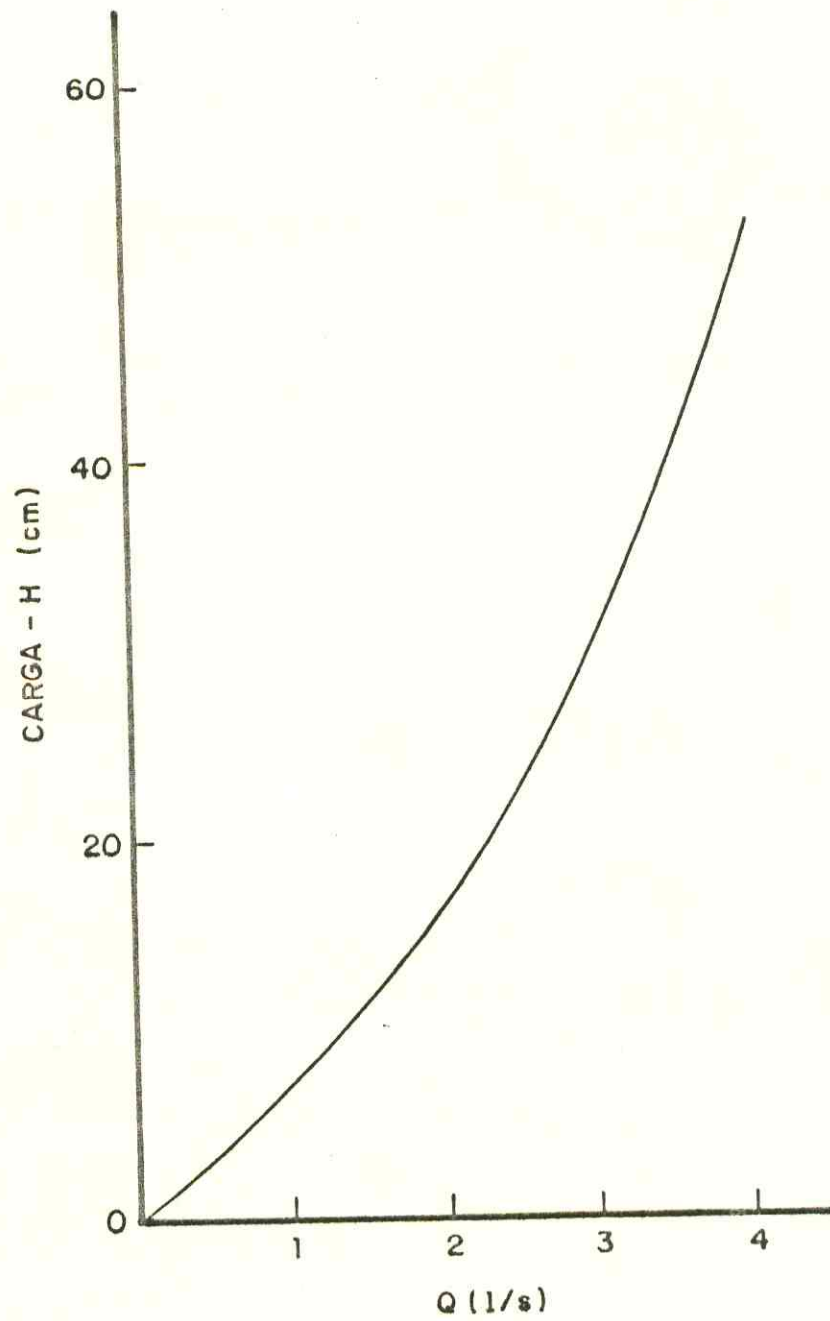
- LUTHIM, J.N. & ROBINSON, F. Depth of Drainage in Irrigated Areas. Transactions of the ASAE. p. 27-31. Paper 68-205.
- MELO, F.B. - Efeito do gesso e da concentração salina da água na condutividade hidráulica do solo. Fortaleza, UFC, 48p. Tese de Mestrado, 1983.
- MILLAR, A.A. & GOMES, P.C.F. - Problemática da caracterização de solos aluviais para fins de drenagem subterrânea. R. Bras. Ci. Solo. 2: 84-89, 1978.
- MILLAR, A.A. - Drenagem de terras agrícolas. McGraw-Hill do Brasil. 276p. São Paulo, 1978.
- MILLETE, J. & RAPP, E. Water Table Classification for an Irrigated Area. Canadian Agricultural Engineering. Vol. 17, nº 2, p. 119-123. 1974.
- NAVARRO, E.A. - El Ensalitrimento de los Suelos Bajo Riejo. Colégio de Postgraduados. 382p. Chapingo, México. 1979.
- OLIVEIRA, C.S.G.; COELHO, E.F.; FERREIRA, P.A.; CAIXETA, T. J.; PEREIRA, P.M. - Desempenho de sistemas de drenagem e análise da eficiência de equações de dimensionamento de drenos abertos em condições de campo. VII Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem. p. 662-685, 1986.
- OLIVEIRA, F.P. - Lavagem e aplicação de gesso na recuperação de solo sódico, cultivado com feijão-de-corda, *Vigna unguiculata* (L) Walp. Fortaleza, UFC, 65p. Tese de Mestrado, 1986.
- PEÑA, I. Principios y Solución de Drenaje Parcelario. Boletim Técnico nº 9, 131p. México, 1979.
- PERRIER, E.R.; et alii. Performance of a Tile Drainage System: An Evaluation of a Tile Design and Management. Transactions of the ASAE. p. 440-444. 1971.
- PILLSBURY, A.F. - Observations on tile drainage performance. Journal of the Irrigation and Drainage Division. Proceedings of the American Society of Civil Engineers. p. 233-241, 1967.

- PIZARRO, F. - Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos. Madrid. Editorial Agrícola Española. 1978. 521p.
- PONTES, P.D.; VALDIVIESO, C.R. & CORDEIRO, G.G. - Drenagem subterrânea no perímetro irrigado de Bebedouro. VII Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, p. 621-643, 1986.
- RAPP, E. & LALIBERT, G.E. Performance of Tile Drains Under Irrigation in Southern Alberta. Canadian Agricultural Engineering. vol. 10, nº 2, p. 64-69, 1969.
- REICHARDT, K.; CADIMA, A. & LIBARDI, P.L. - Variabilidade espacial da condutividade hidráulica em um latossolo vermelho-amarelo textura média, no campo. R. Bras. Ci. Solo. 4: 63-66, 1980.
- RICHARDS, L.A. - Suelos salinos y sodicos. México. Editorial Cultura. 1954. 172p.
- SAUNDERS, L.C.U.; LIBARDI, P.L. & REICHARDT, K. - Condutividade hidráulica da terra roxa estruturada em condições de campo. R. Bras. Ci. Solo. 2: 164-167, 1978.
- SEMANAPALLI, S.V.K.; QUEIROZ, J.E.; OLIVEIRA, G.R. - Avaliação do desempenho hidráulico em dois sistemas pilotos de drenagem subterrânea no perímetro de Sumé-PB. VII Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, p. 544-565, 1986.
- SOMMERFELDT, T.G. & PAZIUK, N. - Use of shallow drains to reclaim a saline soil. Canadian Agricultural Engineering. vol. 17, nº 2, p. 110-113. 1975.

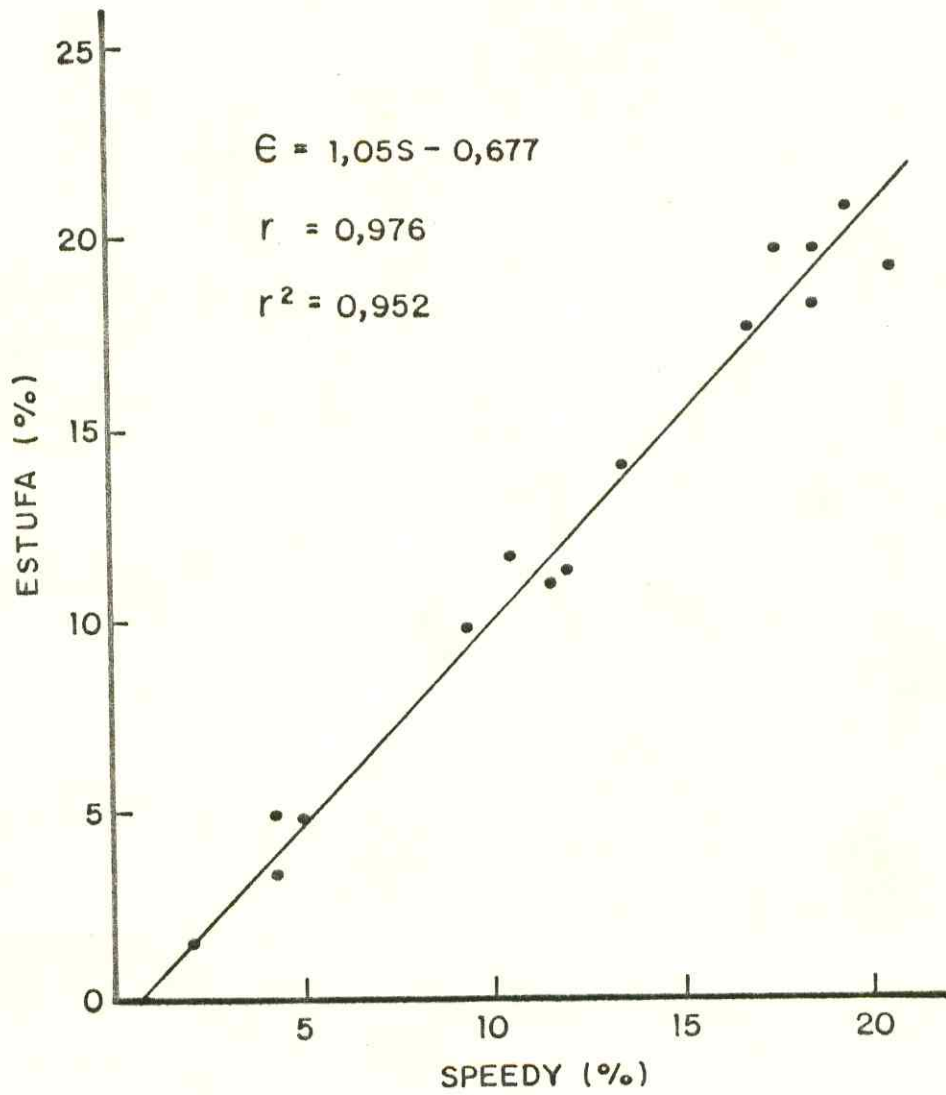
APÊNDICE



- Distribuição anual de chuvas na região de Pente coste, Ceará, Média de 15 anos (1966 a 1980).



- Curva para sifão plástico de 2" corrugado de 2,20m.



- Curva de calibração do testador de umidade "SPEEDY x ESTUFA" (Padrão) do solo aluvial verticalo halomórfico (Prof. 30cm).

CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA SATURADA PELO MÉTODO DO POÇODados de Campo

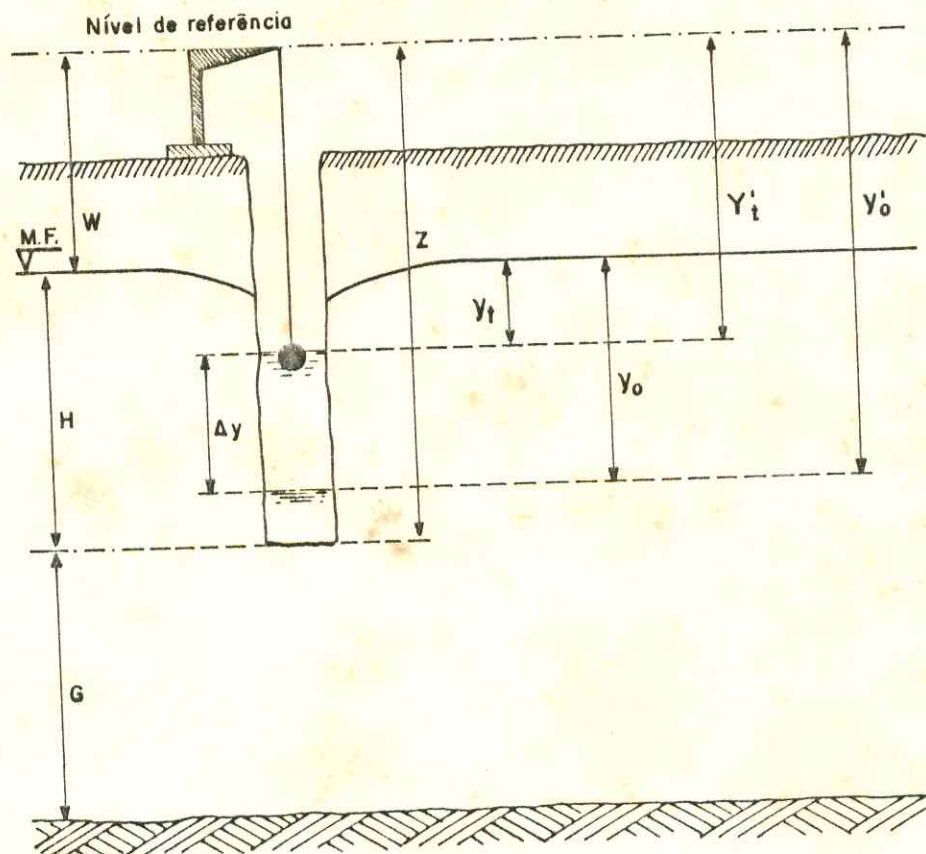
Data: _____ Referência do poço: _____

- K: condutividade hidráulica (m/dia)
 H: profundidade do poço, abaixo do nível freático (cm)
 Z: distância do nível de referência ao final do tubo (cm)
 W: distância do nível de referência ao lençol freático quando em equilíbrio (cm)
 Y: distância entre o nível freático e o ponto médio dos níveis de água no intervalo de tempo Δt (cm)
 r: raio do poço (cm)
 ΔY : intervalo da altura no tempo Δt (cm)

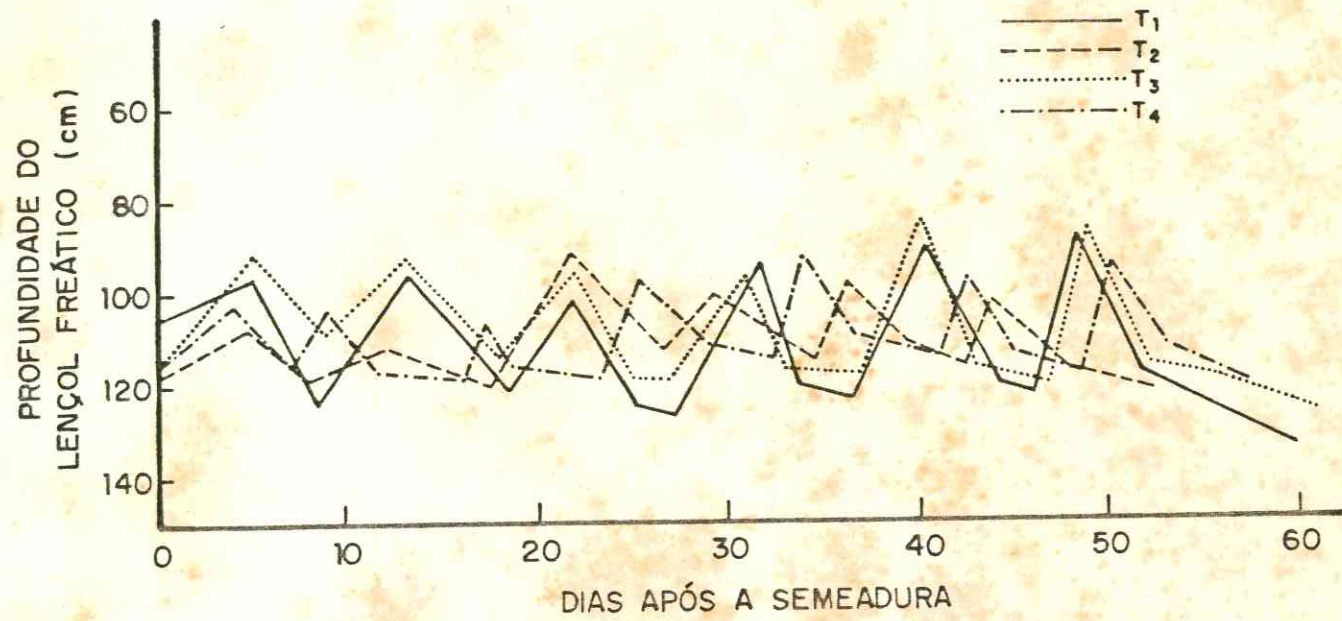
ELEMENTOS DE CÁLCULO

t	Y'_t	ΔY_t	Cálculos
			$Y_0 = Y'_0 - W$
			$\Delta Y = Y_0 - Y_n = \sum \Delta Y_t$
			$Y = Y_0 - 1/2 \cdot \Delta Y$
			$H = Z - W$
			$K = \frac{4.000}{(H/r+20)(2-Y/H)} \times \frac{r \cdot \Delta Y}{y \cdot \Delta t}$

FONTE: MILLAR (1978).



- Dados de campo para determinação da condutividade hidráulica saturada pelo método do poço.



- Variação média dos níveis de profundidade do lençol freático ocorrida durante a condução da cultura do feijão-de-corda.