

ANÁLISE DE DESEMPENHO DE UM SISTEMA DE DRENAGEM SUBTERRÂNEA NA CULTURA DA Videira NO MUNICÍPIO DE JAGUARUANA - CEARÁ

José Luciano Sales¹; Raimundo Nonato Távora Costa¹; José Matias Filho¹; Fernando Felipe Ferreyra Hernandez²

¹*Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, rntcosta@fortalnet.com.br*

²*Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE.*

1 RESUMO

O propósito deste trabalho foi avaliar um sistema de drenagem agrícola instalado em cultura de videira, município de Jaguaruana - CE, além de definir critérios e bases para o delineamento de sistemas de drenagem em condições de fluxo não-permanente para condições similares. As características de transmissão de água no solo, na profundidade de 1,00 m, com condutividade hidráulica do solo saturado de 0,016 m dia⁻¹ limitam a instalação de drenos laterais a maiores profundidades. A chuva crítica para fins de drenagem subterrânea é de 70mm, tendo em vista a ocorrência de cinco vezes ao ano. O espaçamento entre drenos laterais, calculados por equações de fluxo não-permanente, sugere uma maior densidade de drenagem em relação ao espaçamento real de campo, com desvios variando entre -33% e -58%. A rede de fluxo do lençol freático evidencia uma predominância do fluxo no sentido do escoamento natural das águas superficiais e maiores cargas hidráulicas de entrada no lado esquerdo dos drenos laterais. Os elevados valores de gradientes hidráulicos sugerem que os drenos laterais deveriam ter sido instalados interceptando o fluxo. Os valores de resistência de entrada nos pontos avaliados classificam as linhas de drenos entre regular e muito ruins. Apesar dos critérios de desempenho apontar para falhas no sistema de drenagem subterrânea, o mesmo reduziu os níveis de salinidade no solo, considerado um dos maiores benefícios da drenagem agrícola em regiões semi-áridas.

UNITERMOS: salinidade, drenos laterais, desempenho hidráulico.

**SALES, J. L.; COSTA, R. N.T.; FILHO, J.M.; HERNANDEZ, F.F.F.
DESIGN AND UNDERGROUND DRAINAGE SYSTEM PERFORMANCE ANALYSIS IN
THE VINEYARDS OF JAGUARUANA, CEARÁ**

2 ABSTRACT

The purpose of this work was to evaluate a farm drainage system installed in vineyards in the town of Jaguaruana, CE, and also to define criteria and bases for the design of drainage systems under non-steady state flow conditions in similar cases. At the depth of 1.00m with 0.016m day⁻¹ hydraulic conductivity of saturated soil, the soil-water transmission characteristics limit the installation of lateral drains in larger depths. Critical precipitation for underground drainage is 70mm based on its occurrence five times a year. Lateral drain spacing, calculated through non-steady state flow

equations, suggests a larger drain density in relation to real field spacing presenting deviations that range from -33% to -58%. The water table flow system show the predominant flow towards natural flow of surface waters and larger hydraulic entrance charges on the left side of the lateral drains. The entrance resistance values in the assessed spots for the drain lines range from regular to very poor. Although the performance criteria indicate failures in the underground drainage system, they also reduced the levels of soil salinity which is considered a major benefit to agricultural drainage in semiarid regions.

KEYWORDS: Salinity, lateral drains, performance

3 INTRODUÇÃO

Na agricultura de regiões áridas e semi-áridas, a introdução da irrigação trouxe vantagens e benefícios na produção de alimentos, mas ao mesmo tempo, ocorreu a formação e elevação do lençol freático, criando condições desfavoráveis para o desenvolvimento das culturas. Lençol freático alto por períodos prolongados afeta o rendimento das culturas e, em muitos casos, o problema se agrava com salinização dos solos.

A salinização e a sodificação dos solos têm proporcionado, ao longo do tempo, expansão de áreas com restrições às explorações agrícolas nas regiões do Nordeste brasileiro. Dessa forma, o manejo integrado do sistema solo-água-planta torna-se imprescindível no sentido de reverter tal quadro e, portanto, incrementar a produtividade dos cultivos dentro de padrões de uma agricultura irrigada sustentável.

As características de alta infiltração e baixa capacidade de retenção nas camadas superficiais do solo, aliada a existência de camada de impedimento nos solos favorecem a elevação do nível do lençol freático, em virtude da associação da prática da irrigação com a intensidade pluviométrica nos períodos chuvosos, principalmente nos meses de fevereiro a maio. O excesso de umidade tem seus aspectos negativos, principalmente na lavagem de nutrientes solúveis, além de problemas de má drenagem e, conseqüentemente, de salinização do solo, que contribuem de maneira significativa para a queda da produtividade. Para correção destes

problemas torna-se necessária uma drenagem eficiente, tanto subterrânea como superficial, o que é de extrema importância para a agricultura irrigada.

Estudos demonstram, por outro lado, que cada centímetro de aprofundamento do lençol freático, implica em um quilograma de nitrogênio por hectare disponível para a planta. Dessa forma, quanto mais profundo for o nível do lençol freático, maior será a penetração das raízes e por conseguinte maior será a disponibilidade de nutrientes.

Na região do trópico semi-árido brasileiro, o cultivo de uvas vem se desenvolvendo rapidamente nos últimos anos. As condições climáticas como umidade relativa do ar, temperatura média anual, curto período chuvoso e insolação praticamente o ano todo, favorecem a produção de uvas de qualidade e se constituem em incentivo para a ampliação dos vinhedos. Plantações de videira em observação, no submédio São Francisco, têm praticamente o seu desenvolvimento paralisado quando há excesso de umidade provocado pelas chuvas, por irrigação ineficiente e por má drenagem (ALBUQUERQUE, 1996).

O sistema de drenagem subterrânea em áreas irrigadas, além de prevenir e solucionar problemas relacionados com o lençol freático elevado, constitui uma das principais infra-estruturas no processo de dessalinização dos solos, propiciando, dessa maneira, condições favoráveis de umidade, aeração e balanço de sais na zona de raízes das plantas cultivadas.

O trabalho teve por objetivos definir critérios e bases para o dimensionamento de um sistema de drenagem agrícola em condições de fluxo não-permanente para áreas similares à

estudada e avaliar o desempenho hidráulico do sistema de drenagem subterrânea implantado em cultura de videira na região de Jaguaruana – CE.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Fazenda Monte Alegre, pertencente a Agroindústria Baquit S.A., AGROBASA, no município de Jaguaruana–Ce, região do Baixo Jaguaribe, distando 168 km de Fortaleza, estando geograficamente localizada entre os paralelos 04° 59' e 04° 62 latitude sul e os meridianos 37° 49' e 37° 55' a oeste de Greenwich e altitude de 12 metros.

O solo é classificado como Luvissole eutrófico plúntico, horizonte A fraco, textura arenosa, fase caatinga hiperxerófila profunda, relevo plano. Os Luvissoles Plúntico possuem um horizonte “B” textural, não hidromórficos, com argila de atividade baixa, em geral moderadamente ácida e de baixa fertilidade natural, apresentando perfis bem diferenciados, tendo seqüência de horizontes A, B_T e C. Possuem características morfológicas bem distintas, principalmente pela sua coloração com mosqueado abundante e drenagem moderada, enquanto outros solos da mesma classe são bem acentuadamente drenados, ou mesmo fortemente drenados em alguns solos de textura média.

No sentido de controlar ou minimizar a problemática de drenagem superficial na área do experimento, o terreno apresenta um declive relativamente acentuado, da ordem de 1,4% no sentido longitudinal, associado a camalhões com altura média de 0,30 m na direção das linhas de plantio.

Quanto à drenagem subterrânea, foi instalado um sistema constituído de treze linhas de drenos laterais de alívio, localizadas em direção perpendicular ao coletor, comprimento de 180,0 m e espaçamento consecutivo entre linhas de 18,0 m e com profundidade média de instalação de 0,80 m em relação à superfície do solo. A declividade de instalação dos drenos laterais segue à declividade superficial do terreno e no ponto de descarga junto ao coletor, existe uma

folga de 0,40 m, como forma de minimizar os riscos de recargas provenientes do coletor.

Os drenos laterais foram construídos com tubos de drenagem corrugados flexíveis de PVC (DN 60), sendo utilizada como envelope de recobrimento dos drenos, uma manta de poliéster denominada bidim OP-20.

Para obtenção dos valores das cargas hidráulicas instalaram-se 66 poços de observação dispostos em três fileiras transversais ao comprimento dos drenos, às distâncias de ¼, ½ e ¾ do comprimento total, em três drenos laterais consecutivos. Os poços foram perfurados numa profundidade média de 2,0m, com trado tipo holandês, de 0,102m de diâmetro. Na instalação utilizaram-se tubos de PVC rígido de 0,050m de diâmetro, com orifícios de 0,002m de diâmetro para facilitar a entrada de água.

No sentido de evitar obstruções nos orifícios, utilizou-se uma manta sintética de bidim. Depois de instalados, os poços ficaram com um comprimento médio de 0,50m acima da superfície do solo, ancorados com uma base de cimento, com cota topográfica fixada para servir de referência de nível do lençol freático.

Os poços de observação foram localizados a 0,50m, 1,5m, 4,5m e 9,0m da linha de drenos. Nos poços localizados a 0,50m mediram-se as cargas hidráulicas de entrada, nos poços localizados no espaço médio entre drenos mediram-se as cargas hidráulicas totais e nos demais poços intermediários, realizaram-se leituras para confecção da conformação do lençol freático.

O cálculo da condutividade hidráulica do solo saturado (K_s) foi efetuado através da metodologia do permeâmetro de carga constante, com a finalidade de também se proceder à caracterização da resistência hidráulica.

A porosidade drenável ou porosidade efetiva representa o volume de poros de um volume previamente saturado, quando o teor de umidade cai de saturado (potencial mátrico zero) para um teor de umidade em equilíbrio com uma tensão de 6 kPa (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998). Alguns autores sugerem a aplicação de uma tensão equivalente a 10 kPa, quando se tratar de solos mais pesados. Na estimativa

utilizou-se um funil de Haines, considerando-se uma tensão de 6 kPa em razão da textura do solo variar entre areia franca e franco-arenosa até a profundidade de 0,80m.

O sistema de irrigação localizada é do tipo gotejamento em pendural (Figura 1), com gotejadores katif, espaçados de 0,60 m em média. Os gotejadores estão inseridos em linhas laterais de 16,0 mm de diâmetro e de 90,0 m. As linhas laterais encontram-se amarradas às estacas de tutoramento a uma altura de 1,90 m da superfície do solo e espaçadas de 3,0 m, sendo uma linha lateral para cada fileira de plantas. As linhas de derivação, principal e adutora, são enterradas a uma profundidade de 0,70 m, aproximadamente.



Figura 1 Sistema de irrigação localizada do tipo gotejamento em pendural

Com o propósito de analisar a qualidade da água de irrigação, da água proveniente da descarga dos drenos laterais e da água nos poços de observação, além de diagnosticar os níveis de salinidade no solo, amostras de água e solo foram coletadas durante o período do experimento. As amostras de água foram coletadas no início dos meses de janeiro e fevereiro e ao final do mês de abril do ano 2000, sendo a amostra de água de irrigação coletada unicamente ao final do período de irrigação, em janeiro.

As amostras de solo foram coletadas em três seções transversais correspondentes a 0,25, 0,50 e 0,75 do comprimento da área. Em

A planta foi confeccionada através da interpolação das cotas do lençol freático em cada poço de observação, para o dia 25 de abril

cada uma das transecções coletaram-se amostras às profundidades médias de 0,20, 0,40 e 0,60m, distanciadas entre si de 0,30m e perpendiculares à linha de plantas, georeferenciadas em relação à linha de dreno lateral denominada 08, com o propósito de se obter as isolinhas da condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (CE_{es}).

Na obtenção da condutividade elétrica prepararam-se, para cada uma das amostras, suspensões mais diluídas (1:1) ao invés de uma pasta de saturação. Optou-se por este procedimento em razão de possíveis erros que se pode incorrer quando da observação se o solo já está saturado ou não, por ocasião da preparação da pasta de saturação, conforme preconiza RHOADES (1994).

Os valores de CE_{es} foram obtidos após correção dos valores medidos na solução diluída, tomando-se como referência a umidade do solo saturado à base de massa. Utilizaram-se nas medições um condutímetro portátil previamente calibrado.

A avaliação do sistema de drenagem subterrânea consistiu da análise de variáveis relacionadas ao desempenho hidráulico do sistema de drenagem propriamente dito, tais como rede de fluxo do lençol freático, perfis do lençol freático entre linhas de drenos, resistência de entrada ao fluxo de água, análise comparativa entre espaçamento real de campo e espaçamento estimado por equações de drenagem em regime de fluxo não-permanente, além de seu desempenho quanto à função de reduzir os valores de condutividade elétrica do extrato de saturação do solo.

O estudo do comportamento do lençol freático, com a finalidade de investigar as condições de direcionamento do fluxo subterrâneo, foi realizado através da planta de suas curvas de nível, conforme preconiza CRUCIANI & GODOY (1980). Conforme os autores, metodologias que caracterizam o comportamento do lençol freático são as únicas que apresentam eficiência em estudos para áreas com problemas de drenagem.

de 2000, com equidistância vertical entre as curvas de 0,10 m. As cotas foram calculadas a partir de medidas de profundidade do lençol

freático, obtidas junto aos poços de observação e do nivelamento geométrico da área do experimento.

As oscilações do lençol freático, após uma recarga e durante o processo de depleção, foram registradas a partir de dados coletados junto aos poços de observação, estrategicamente implantados na área do experimento, servindo dessa forma para avaliar o sistema de drenagem com relação ao critério agrônomico recomendado para a cultura da videira. Os perfis foram plotados após uma recarga de 12 mm, referente ao período de 21 a 24.04.2000.

Na avaliação de desempenho hidráulico dos drenos laterais foram utilizados os valores da carga hidráulica de entrada ($h_{ent.}$), descarga dos drenos por unidade de comprimento ($q_u.$) e resistência de entrada ($r_{ent.}$), conforme sugerem DIELEMAN & TRAFFORD (1976). A carga hidráulica de entrada era medida a partir dos níveis d'água observados nos poços de observação, instalados a 0,50 m da linha de drenos laterais e da profundidade dos drenos em relação ao nível do solo.

Quando se trata de avaliar a eficiência de drenos tubulares, a componente de entrada constitui um parâmetro importante, tanto como valor independente como parte da perda total da carga hidráulica, tornando-se possível descrever a eficiência por meio da carga hidráulica de entrada ($h_{ent.}$) e da resistência de entrada ($r_{ent.}$), conforme sugerem DIELEMAN & TRAFFORD (1976), eq.(1).

A resistência de entrada foi calculada através da seguinte relação:

$$r_{ent.} = \frac{h_{ent.}}{Q.C^{-1}} \quad \text{eq.(1)}$$

sendo:

$r_{ent.}$: resistência de entrada, $L^{-1}.T$;

$h_{ent.}$: carga hidráulica de entrada, L;

Tabela 1 Características físico-hídricas do solo da área do experimento.

Q : descarga do dreno lateral, $L^3.T^{-1}$;

C : comprimento do dreno lateral, L.

As medidas de carga hidráulica de entrada ($h_{ent.}$) em função da descarga por unidade de comprimento ($q_u.$) foram utilizadas por regressão linear, para avaliar os valores de resistência de entrada ($r_{ent.}$); tendo em vista a relação de tendência linear entre as referidas variáveis, o coeficiente angular da reta representa teoricamente a resistência de entrada.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As características físico-hídricas da área do experimento são apresentadas na Tabela 1. Observa-se uma predominância da fração granulométrica areia e um teor crescente em profundidade da fração argila, com classes texturais variando de areia franca (0 – 0,60m) a franco-arenosa (0,60 – 0,80m). O maior valor de porosidade total na camada superficial (0 – 0,20m), está associado a um menor valor de densidade do solo nessa profundidade, o qual pode ser explicado pela adição freqüente de matéria orgânica na superfície do solo.

As características químicas do solo são apresentadas na Tabela 2. Conforme PIZARRO (1978), trata-se de um solo não sódico (PST < 7). O autor sugere considerar como sódicos, solos com PST > 7, tendo em vista que vários resultados de pesquisas têm mostrado efeitos do sódio sobre a estrutura do solo, mesmo sob níveis inferiores a 15, conforme classificação de RICHARDS (1954), ainda tradicionalmente utilizada.

As características químicas evidenciam ainda que o solo apresenta um baixo teor de matéria orgânica e pH em água praticamente neutro nas camadas superficiais do solo, tendendo a ácido com a profundidade. Verifica-se, ainda, a predominância dos cátions cálcio e magnésio no complexo sortivo.

Composição Granulométrica (g kg⁻¹)

| Profundidade (m) | Areia Grossa | Areia Fina | Silte | Argila | Classificação Textural |
|------------------|--------------|------------|-------|--------|------------------------|
| 0,0 – 0,2 | 340 | 520 | 90 | 50 | Areia Franca |
| 0,2 – 0,4 | 280 | 580 | 80 | 60 | Areia Franca |
| 0,4 – 0,6 | 270 | 550 | 100 | 80 | Areia Franca |
| 0,6 – 0,8 | 290 | 440 | 100 | 170 | Franco Arenoso |

| Profundidade (m) | Densidade (kg m ⁻³) | | Umidade* (m ³ m ⁻³) | Porosidade total (m ³ m ⁻³) |
|------------------|---------------------------------|---------|--|--|
| | Solo | Sólidos | | |
| 0,0 – 0,2 | 1540 | 2550 | 0,249 | 0,396 |
| 0,2 – 0,4 | 1700 | 2650 | 0,247 | 0,358 |
| 0,4 – 0,6 | 1740 | 2720 | 0,246 | 0,360 |
| 0,6 – 0,8 | 1690 | 2620 | 0,269 | 0,355 |

* Tensão correspondente ao ponto de inflexão da curva de retenção.

Tabela 2 Características químicas do solo da área do experimento.

| Profundidade (m) | pH (em água) | CE (dS m ⁻¹) | PST (%) | | | | |
|------------------|------------------|--------------------------|----------------------------|---------|----------------|-----|------|
| 0,0 – 0,2 | 6,8 | 0,48 | 4,0 | | | | |
| 0,2 – 0,4 | 6,8 | 0,47 | 3,0 | | | | |
| 0,4 – 0,6 | 6,6 | 0,27 | 5,0 | | | | |
| 0,6 – 0,8 | 5,4 | 0,47 | 6,0 | | | | |
| C (%) | N (%) | C/N | M.O.(%) | P (ppm) | | | |
| 0,6 | 0,06 | 10 | 1,03 | 174 | | | |
| 0,4 | 0,05 | 9 | 0,71 | 119 | | | |
| 0,2 | 0,02 | 10 | 0,34 | 22 | | | |
| 0,2 | 0,02 | 10 | 0,36 | 14 | | | |
| Complexo Sortivo | | | | | | | |
| Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | S | H ⁺ | CTC | V |
| | | | (cmol.c.kg ⁻¹) | | | | (%) |
| 3,00 | 1,30 | 0,19 | 0,39 | 4,9 | 0,33 | 5,2 | 94,0 |
| 2,00 | 1,50 | 0,13 | 0,24 | 3,9 | 0,33 | 4,2 | 93,0 |
| 1,90 | 1,10 | 0,19 | 0,26 | 3,5 | 0,49 | 3,9 | 90,0 |
| 3,20 | 0,90 | 0,41 | 0,38 | 4,9 | 1,84 | 7,0 | 70,0 |

A recarga do lençol freático durante o período do experimento (setembro 1999 a maio de 2000) foi promovida através de irrigações e

chuvas. A precipitação pluviométrica acumulada de janeiro a maio de 2000 atingiu 811,5 mm, com totais mensais um pouco abaixo

das médias históricas relativas ao período de 1912 a 1999. Ressalte-se, no entanto, que nesse período ocorreu uma frequência relativa de apenas 20% com totais anuais de chuva acima de 1000 mm.

Valores medidos de K_0 através de permeâmetro de carga constante, da ordem de 0,59 m dia⁻¹ em amostra coletada a 0,60m de profundidade e 0,016 m dia⁻¹ em amostra coletada a 1,00 m, com decréscimo de 97,3%, demonstra a presença de um impedimento físico crescente em profundidade, acarretando por conseguinte uma redução na capacidade de transmissão de água no solo.

De acordo com PIZARRO (1978), as características de transmissão de água do solo, em base aos valores de K_0 a 0,60 m e 1,00 m de profundidade, são classificadas como média e muito baixa, respectivamente.

Em conformidade com a FAO (1980), toda camada do perfil do solo cuja condutividade hidráulica é menor que na camada adjacente, constitui um impedimento para esta e para o fluxo vertical. Entretanto, o conceito de camada impermeável ou barreira está associado ao conceito de resistência hidráulica, dada pela relação entre a espessura da camada e a condutividade hidráulica (K_v). Dessa forma, só constitui uma barreira impermeável a camada que tiver uma resistência hidráulica maior ou igual a 250 dias e não há barreira alguma quando a resistência hidráulica for menor ou igual a 50 dias, constituindo-se em impedimento crescente valores entre 50 e 250 dias.

Do ponto de vista hidrogeológico, a espessura da camada de solo até aproximadamente 0,80 m pode ser considerada como de um estrato permeável por apresentar propriedades transmissoras muito favoráveis, ou seja, a resistência ao movimento da água na

direção vertical é de pequena magnitude. No entanto, a camada de solo além da profundidade de 1,0 m é considerada como camada impermeável. Conforme a ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1998), é considerada como camada impermeável, a camada de solo cuja condutividade hidráulica vertical saturada é igual ou inferior a 1/10 da média ponderada da condutividade hidráulica do solo saturado das camadas superiores.

O maior valor de porosidade drenável na profundidade de 0 – 0,20 m, se comparado com os menores valores obtidos nas profundidades de 0,20 – 0,40 m e 0,40 – 0,60 m deve-se provavelmente à prática da incorporação de matéria orgânica na superfície.

Curvas características de umidade no solo obtidas por LOIOLA (2001) na área do experimento, demonstram um bom grau de homogeneidade no perfil de solo até 0,60 m de profundidade.

O resultado da análise de água de irrigação apresentada na Tabela 3, verifica-se em base aos limites apresentados por RICHARDS (1954), tratar-se de água de média salinidade (C2), podendo ser utilizada sempre e quando houver uma lixiviação moderada de sais. Já de acordo com os limites preconizados pelo Comitê de Consultores da Universidade da Califórnia, em conformidade com PIZARRO (1978), a qualidade de referida água não apresenta nenhum risco de salinidade.

Dentre as características pertinentes à salinização de um solo em uma área cultivada sob condições de irrigação, destaca-se a presença de camada retardadora ao fluxo de água à pequena profundidade, água de irrigação contendo um teor elevado de sais solúveis, evapotranspiração elevada, ausência de critérios no manejo da irrigação, entre outras.

Tabela 3 Resultados da análise de água de irrigação

| Cátions (mmol _c .L ⁻¹) | | | | | Ânions (mmol _c .L ⁻¹) | | | | |
|---|------------------|-----------------|----------------|-----|--|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Σ | Cl ⁻ | SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | CO ₃ ²⁻ | Σ |
| 1,2 | 1,4 | 1,2 | 0,2 | 4,0 | 2,0 | - | 2,1 | - | 4,1 |
| CE(dS.m ⁻¹) | | | RAS | | pH | | Sol.Dis.(mg.L ⁻¹) | | Classificação |
| 0,41 | | | 1,05 | | 7,7 | | 262,4 | | C ₂ S ₁ |

Em condições de lixiviação satisfatória, referida água é adequada ao cultivo de plantas moderadamente tolerante aos sais, sem

necessidade de práticas especiais de controle de salinidade. Conforme RHOADES (1994) as culturas se comportam diferentemente quanto à

tolerância a sais na água de irrigação. A videira, por exemplo, não apresenta queda em seu rendimento potencial, quando irrigada com água cuja condutividade elétrica seja de até 1,7 dS m⁻¹.

Quanto aos riscos de problemas de infiltração no solo, causados pela sodicidade da água, em base aos valores de RAS corrigida (1,05) e CE da água (0,41), a mesma apresenta “problemas crescentes”, conforme AYERS & WESTCOT (1991).

As diretrizes aqui apresentadas são aplicáveis também para irrigação localizada, ressaltando-se, porém, que se deve levar em conta a qualidade da água do ponto de vista de possíveis obstruções de emissores, sendo dessa forma necessária a inclusão de mais alguns parâmetros. Dentre os parâmetros químicos, os sólidos solúveis (262,4 mg L⁻¹) não apresentam nenhum grau de restrição de uso.

Na região semi-árida do Nordeste brasileiro, tem se verificado, nos últimos anos, um incremento na adoção de sistemas de irrigação localizada, que potencialmente apresentam a perspectiva de uma maior

economia de água. O sistema de gotejamento, no entanto, pode ser bastante agressivo quanto a elevação da concentração salina na superfície do solo e junto ao sistema radicular das culturas, em razão do pequeno volume de água aplicado, carecendo de medidas de proteção ao solo, como cobertura morta, para minimizar os riscos potenciais de salinidade.

FREIRE (1992) observou, ainda, que após submeter três áreas de um solo normal, quanto aos efeitos da salinidade, a irrigação pelo sistema de gotejamento elevou o nível salino do solo mais que por aspersão e este mais que no sistema de irrigação por sulcos.

As amostras de água coletadas junto aos drenos laterais e poços de observação (Tabelas 4 e 5), de acordo com os critérios estabelecidos por RICHARDS (1954), possuem um alto risco de salinização (C3) e não oferecem risco de sodificação (S1). As amostras de água do lençol freático apresentaram maiores valores se comparadas às águas de drenagem, visto uma maior concentração junto aos poços de observação.

Tabela 4 Resultados da análise de água de drenagem

| Data | Cátions (mmol _c .L ⁻¹) | | | | | Ânions (mmol _c .L ⁻¹) | | | |
|-------------------------|---|------------------|-----------------|----------------|-------------------------------|--|-------------------------------|-------------------------------|-----|
| | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Σ | Cl ⁻ | HCO ₃ ⁻ | CO ₃ ²⁻ | Σ |
| 07.01.00 | 2,0 | 1,5 | 3,3 | 0,6 | 7,4 | 6,8 | 1,9 | - | 8,7 |
| 08.02.00 | 1,3 | 1,5 | 2,9 | 0,9 | 6,0 | 4,0 | 2,2 | - | 6,2 |
| 26.04.00 | 1,9 | 2,6 | 4,5 | 0,6 | 9,5 | 7,4 | 2,3 | - | 9,7 |
| CE(dS.m ⁻¹) | RAS | | PH | | Sol.Dis.(mg.L ⁻¹) | | Classificação | | |
| 0,89 | 2,51 | | 6,7 | | 569,6 | | C ₃ S ₁ | | |
| 0,60 | 1,97 | | 7,1 | | 384,0 | | C ₂ S ₁ | | |
| 0,97 | 3,00 | | 6,8 | | 620,8 | | C ₃ S ₁ | | |

Tabela 5 Resultados da análise de água do lençol freático

| Data | Cátions (mmol _c .L ⁻¹) | | | | | Ânions (mmol _c .L ⁻¹) | | | |
|-------------------------|---|------------------|-----------------|----------------|-------------------------------|--|-------------------------------|-------------------------------|------|
| | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Σ | Cl ⁻ | HCO ₃ ⁻ | CO ₃ ²⁻ | Σ |
| 07.01.00 | 3,9 | 3,3 | 6,1 | 0,7 | 14,0 | 16,4 | 0,9 | - | 17,3 |
| 08.02.00 | 3,1 | 2,7 | 5,1 | 0,8 | 11,7 | 9,4 | 2,3 | - | 11,7 |
| 26.04.00 | 3,3 | 2,8 | 5,4 | 1,0 | 12,5 | 9,2 | 3,0 | - | 12,2 |
| CE(dS.m ⁻¹) | RAS | | pH | | Sol.Dis.(mg.L ⁻¹) | | Classificação | | |
| 1,78 | 3,23 | | 6,5 | | 1139,2 | | C ₃ S ₁ | | |
| 1,17 | 3,00 | | 6,5 | | 748,8 | | C ₃ S ₁ | | |
| 1,22 | 3,12 | | 6,6 | | 780,8 | | C ₃ S ₁ | | |

Embora a água de irrigação, cuja CE de 0,41 dS m⁻¹, não se apresentasse a princípio como limitante para cultivo da videira, a

presença de impedimento físico à pequena profundidade, elevados valores de evapotranspiração, associados a um manejo

inadequado da irrigação, justificavam um monitoramento nos níveis de salinidade no solo logo após o estabelecimento da cultura.

Os registros dos níveis de salinidade no solo em períodos anteriores à instalação do sistema de drenagem subterrânea, chegando a atingir valores superiores a 10 dS m^{-1} , evidenciavam para a necessidade de um sistema artificial de drenagem, como forma de promover um decréscimo nos níveis de salinidade, de vez que os mesmos já vinham comprometendo de forma bastante acentuada o rendimento da cultura.

As isolinhas de CE_{es} apresentaram-se com menores valores no trecho mais próximo ao ponto intermediário entre drenos laterais (Figura 2), sugerindo um carreamento de sais de pontos com maior potencial hidráulico.

Observaram-se, também, reduzidos valores de CE_{es} ($< 2,0 \text{ dS m}^{-1}$) nas três profundidades avaliadas em amostras coletadas a 0,30 m da planta, demonstrando que os níveis de

salinidade dentro dos limites de exploração das raízes não comprometem seu rendimento.

Cabe destacar que, embora 40% dos pontos amostrados tenham apresentado valores superiores a $2,0 \text{ dS m}^{-1}$, os mesmos estão localizados em distâncias e profundidades fora do alcance do sistema radicular. Dessa forma, verifica-se que o sistema de drenagem artificial apresentou habilidade na redução dos níveis de salinidade no solo, constituindo-se num dos maiores benefícios da drenagem em regiões semi-áridas.

Recomenda-se a manutenção de uma umidade disponível elevada na camada superficial do solo ocupada pelas raízes, de maneira que a cultura não tenha que absorver água e sais minerais dos horizontes mais inferiores, além de se proceder às irrigações mais freqüentes como forma de impedir que os sais se concentrem de maneira apreciável no intervalo entre irrigações. O uso de cobertura morta seria uma alternativa bastante viável e de baixo custo a auxiliar referido processo.

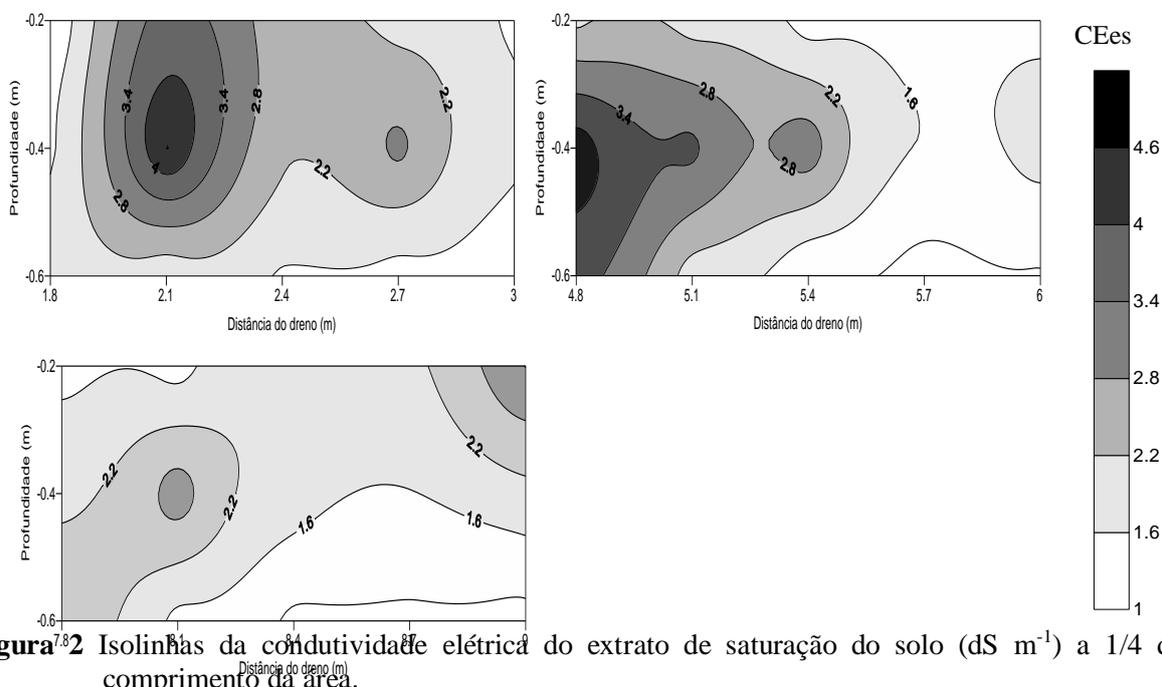


Figura 2 Isolinhas da condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (dS m^{-1}) a 1/4 do comprimento da área.

No presente estudo, não se optou pela sistemática tradicional de avaliação dos perfis de distribuição da salinidade no solo, os quais

variam com o espaçamento entre emissores, tendo em vista que na área do experimento, o espaçamento entre emissores proporcionava

uma faixa de molhamento contínuo, optando-se dessa forma por se proceder a um diagnóstico quanto à capacidade do sistema de drenagem em promover uma redução nos níveis iniciais de salinidade no solo.

Considerando, ainda, que o sistema de drenagem em análise apresentou habilidade na redução dos níveis de salinidade no solo – considerado um dos maiores benefícios da drenagem em regiões semi-áridas – há de convir-se da necessidade de uma análise econômico-financeira dentro de um horizonte de vida útil do projeto, no sentido de se verificar, caso se faça necessário, da real necessidade de intercalar novos drenos laterais, entre os já existentes.

As curvas de nível do lençol freático ou rede de fluxo, também conhecida como mapa de isohypsas, são de suma importância na avaliação de desempenho de sistemas de drenagem subterrânea, tendo em vista diversas informações, tais como direção do fluxo d'água subterrâneo, gradiente hidráulico, áreas de recarga e descarga, além de resistência radial, conforme afirmam RIDDER (1973), MILLAR (1988), CRUCIANI (1989).

A rede de fluxo do lençol freático no dia 25.04.2000, conforme Figura 3, evidencia uma predominância do fluxo na direção do escoamento natural das águas superficiais, proporcionando assim, condições para o estabelecimento de maiores cargas hidráulicas de entrada no lado esquerdo dos drenos laterais. A mudança na direção do fluxo subterrâneo na região de maiores gradientes hidráulicos, pode estar associada a declividades mais acentuadas dos drenos laterais nessa região. Nivelamento geométrico realizado ao longo da linha de drenos laterais, evidenciaram falhas de instalação quanto à uniformidade de declive.

A direção predominante das linhas de fluxo, associado a valores de gradientes hidráulicos médios superiores a 1%, demonstra

que a drenagem subterrânea na área é efetuada mediante um sistema denominado de interceptação (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, 1973).

Analisando as equipotenciais da rede de fluxo do lençol freático, verifica-se que os valores médios dos gradientes hidráulicos na região inferior da área do experimento ($0,032 \text{ m m}^{-1}$) são da ordem de 200% maiores que os gradientes hidráulicos médios da região superior da área ($0,0107 \text{ m m}^{-1}$).

Em conformidade com as hipóteses de Dupuit - Forchheimer, o gradiente hidráulico pode ser considerado aproximadamente igual ao declive do lençol freático CRUCIANI (1989). Os elevados valores de declividade do terreno e dos drenos laterais devem ter acarretado o surgimento de gradientes hidráulicos elevados na parte inferior da área, vindo por conseguinte comprometer o funcionamento adequado do sistema.

Considerando os valores médios de gradiente hidráulico na região superior e inferior da área, do valor da condutividade hidráulica do solo saturado ($0,59 \text{ m dia}^{-1}$) e uma espessura do aquífero de 1,0 m, tem-se que o fluxo que entra ao longo de uma largura unitária ($L = 1,0 \text{ m}$) é de respectivamente $0,0063 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$ e $0,0189 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$. Embora a região inferior da área apresente uma estimativa de maior valor de fluxo, a descarga para os drenos não é tão acentuada quanto na região superior da área, conforme se verifica pelas linhas de fluxo.

Numa análise comparativa dos perfis de drenagem obtidos junto às três linhas de poços de observação (Figuras 4, 5 e 6), verifica-se um decréscimo na taxa de rebaixamento do lençol freático nos locais mais próximos do ponto de descarga dos drenos laterais. Tal fato deve estar associado ao declive acentuado nas linhas de drenos laterais, caracterizando uma condição de menores potenciais totais em locais onde o lençol freático encontra-se mais superficial.

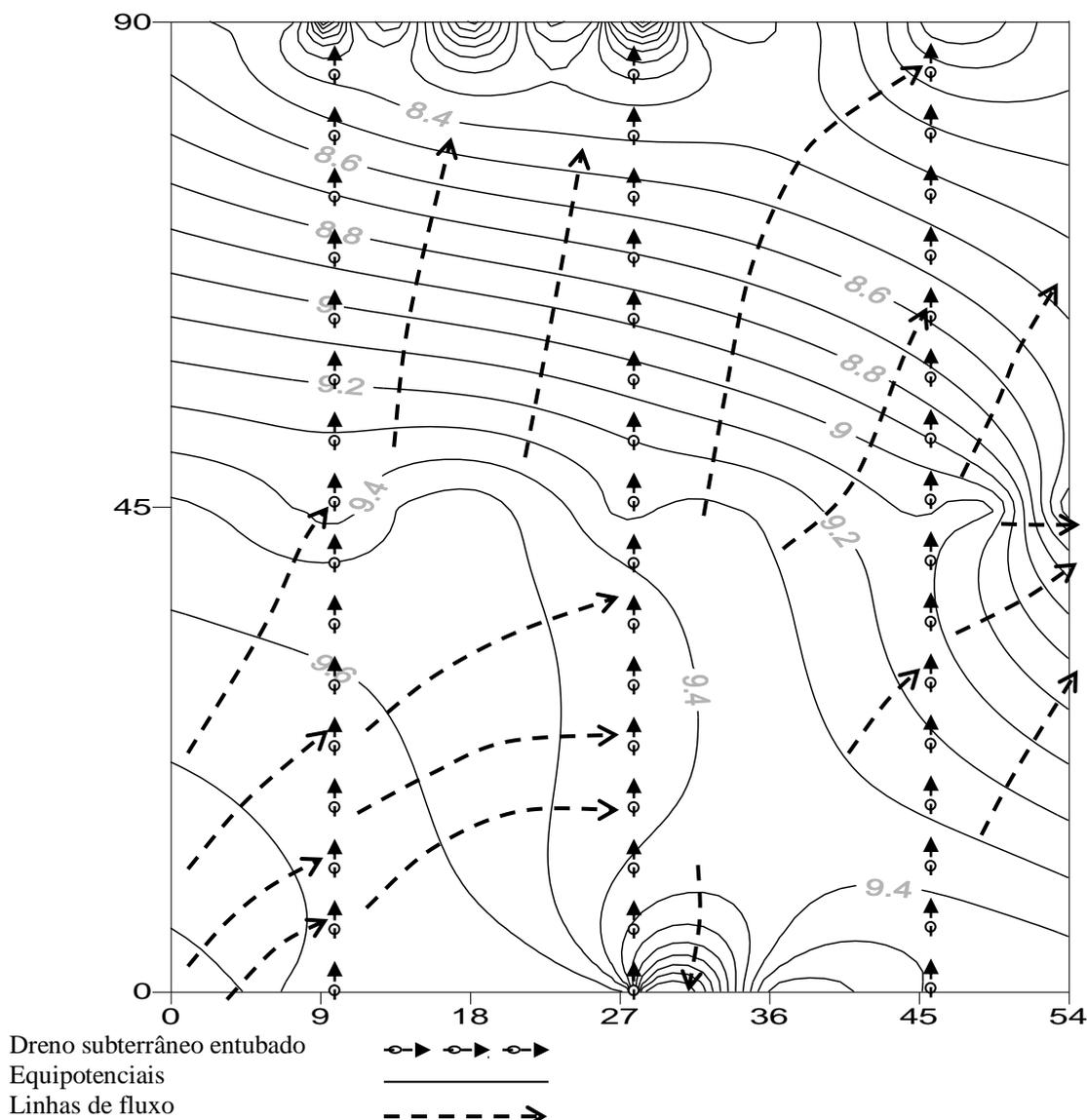


Figura 3 Rede de fluxo do lençol freático na área do experimento no dia 25.04.2000

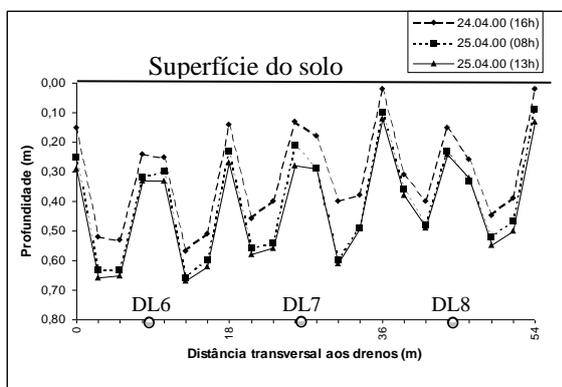


Figura 4 Perfil de drenagem a 1/4 do comprimento da área

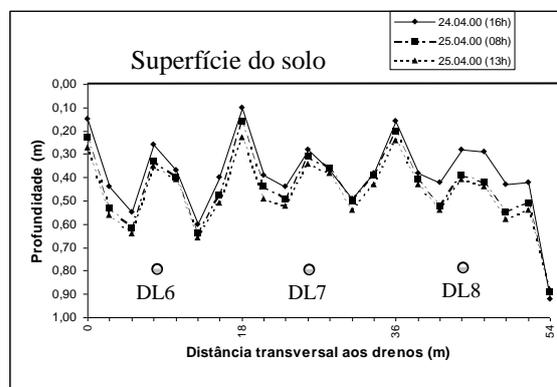


Figura 5 Perfil de drenagem a 1/2 do comprimento da área

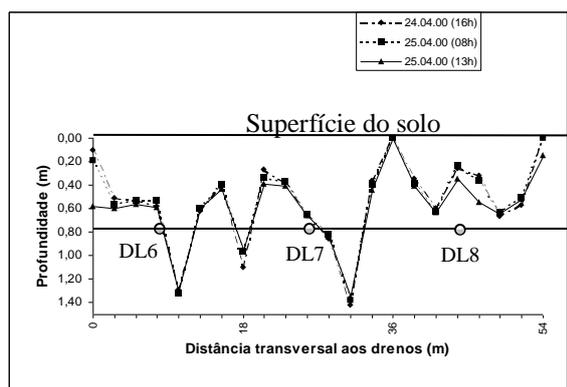


Figura 6 Perfil de drenagem a 3/4 do comprimento da área

Embora o intervalo de tempo utilizado para confecção dos perfis do lençol freático tenha sido apenas de 21 horas, limitando de alguma forma uma análise em relação ao critério agrônomo utilizado, verifica-se que as taxas médias de rebaixamento nas três linhas transversais, em locais onde a profundidade do lençol freático situava-se entre 0,20 e 0,40 m da superfície do solo, atende ao critério agrônomo utilizado no delineamento do sistema de drenagem.

Observações realizadas no local do experimento, em trincheiras escavadas dentro da área útil da cultura, constataram que a profundidade média do sistema radicular da videira compreendia a profundidade entre 0,30 e 0,40 m.

AMORIM (1995), em estudo de diagnóstico e avaliação de desempenho de drenagem subterrânea no Perímetro Irrigado de Bebedouro-PE, caracterizou a profundidade efetiva da cultura de videira pela relação entre o peso das raízes em cada camada de 0,15 m e o peso total das raízes no perfil de solo coletado. Considerou a profundidade efetiva do sistema radicular, como a soma das camadas detentoras de 80% sobre o peso total das raízes no solo. Em seis lotes avaliados, a profundidade efetiva variou de 0,30 a 0,45 m.

SOARES & NASCIMENTO (1998), realizando trabalho de pesquisa para caracterizar a distribuição do sistema radicular da videira em vertissolo sob irrigação localizada, constataram que mais de 96% das raízes de sustentação (diâmetro > 10 mm) estavam concentradas na camada de 0 – 0,30 m de profundidade; apenas 3,5 e 1,8% das raízes com diâmetros inferiores a 2,0 mm, foram encontradas nas camadas de 0,60 – 1,20 m de profundidade, sob os sistemas de irrigação por gotejamento e por microaspersão, respectivamente.

Na Tabela 6 apresentam-se os dados obtidos de cargas hidráulicas de entrada (h_{ent}) e resistência de entrada (r_{ent}), referentes às linhas de drenos laterais denominadas D₆, D₇, D₈ e respectivas locações em conformidade com os poços de observação, utilizadas para fins de análise de desempenho do sistema.

Tabela 6. Valores de carga de entrada e resistência de entrada.

| Dreno/Posição | Carga de entrada h_{ent} (m) | Resistência de entrada r_{ent} (dia.m ⁻¹) |
|---------------------|-----------------------------------|--|
| D ₆ /A4 | 0,46 | 1,77 |
| D ₆ /A5 | 0,46 | 1,40 |
| D ₆ /B4 | 0,52 | 1,69 |
| D ₆ /B5 | 0,46 | 0,74 |
| D ₇ /A11 | 0,58 | 4,07 |
| D ₇ /A12 | 0,57 | 3,35 |
| D ₇ /B11 | 0,42 | 1,61 |
| D ₈ /A18 | 0,47 | 3,52 |
| D ₈ /A19 | 0,39 | 2,60 |
| D ₈ /C19 | 0,22 | 6,48 |

Os valores de resistência de entrada obtido através de ajuste linear entre a carga hidráulica de entrada em função da descarga dos drenos por unidade de comprimento (Tabela 7), demonstram um desempenho que os classifica variando de “moderado a intolerável”, conforme critérios estabelecidos por WESSELING & VAN SOMEREN (1970) ou ainda variando entre “regular e muito ruim”, conforme DIELEMAN & TRAFFORD (1976).

Verifica-se uma tendência de incremento nos valores médios da resistência de entrada do dreno denominado D₇ em relação ao dreno D₆, podendo tal fato estar associado à topografia superficial do terreno e à prevalência no sentido do fluxo subterrâneo. Ainda, ao se comparar os valores de resistência de entrada em ambos os lados de um mesmo dreno, constatam-se menores valores para o lado direito. A predominância das linhas de fluxo no sentido da esquerda para a direita, tomando-se como referência o sentido do coletor, conforme constata-se na rede de fluxo, explica os menores valores de resistência de entrada no lado direito.

Os elevados valores de resistência de entrada estão associados simultaneamente a acréscimos nos valores de cargas de entrada e decréscimos na vazão dos drenos por unidade de comprimento. Constata-se, ainda, que baixos gradientes hidráulicos médios estão associados

a locais com baixos valores de resistência de entrada e vice-versa.

Face às características do material utilizado no sistema de drenagem, constituído por tubos de PVC corrugado flexível juntamente com envoltório constituído por manta de geotêxtil bidim OP-20, material de alta homogeneidade e vida útil elevada, além do reduzido tempo de instalação do sistema, aproximadamente dois anos, acredita-se que o baixo desempenho deva estar associado ao espaçamento entre linhas de drenos laterais, considerado neste caso, acima do recomendado, além sobretudo de uma inadequada instalação do sistema.

Em análise comparativa de envoltórios para drenos tubulares, ALMEIDA et al. (2001) verificaram que os sistemas drenantes apresentaram desempenho hidráulico considerado “muito bom”, com base nos valores do parâmetro resistência de entrada. Uma resistência maior à entrada do fluxo de água foi observada no tratamento sem envoltório. O tratamento ausência de envoltório, com menor valor de coeficiente angular obtido por meio de ajuste linear entre vazão e carga hidráulica a 0,55 m da interface solo-dreno apresentou tendência diferenciada dos demais tratamentos, reafirmando a importância da utilização de envoltórios em drenos tubulares.

Tabela 7. Equações de ajuste entre a carga hidráulica de entrada e a descarga dos drenos laterais por unidade de comprimento.

| Localização | Equação Ajustada | R ² |
|-------------|--------------------------------|----------------|
| A4 | $h_{ent.} = 1,7747qu + 0,4055$ | 0,99 |
| A5 | $h_{ent.} = 1,4013qu + 0,4273$ | 0,93 |
| B4 | $h_{ent.} = 1,6912qu + 0,4730$ | 0,99 |
| B5 | $h_{ent.} = 0,7420qu + 0,4399$ | 0,98 |
| A11 | $h_{ent.} = 4,0705qu + 0,4588$ | 0,96 |
| A12 | $h_{ent.} = 3,3527qu + 0,4464$ | 0,91 |
| B11 | $h_{ent.} = 1,6139qu + 0,3729$ | 0,95 |
| A18 | $h_{ent.} = 3,5204qu + 0,3727$ | 0,99 |
| A19 | $h_{ent.} = 2,6020qu + 0,3101$ | 0,93 |
| C19 | $h_{ent.} = 6,4796qu + 0,1196$ | 0,54 |

6 CONCLUSÕES

As características de transmissão de água do solo a 1,20 m de profundidade ($K_0 = 0,016 \text{ m}\cdot\text{dia}^{-1}$), limitam a instalação de drenos laterais além desta profundidade.

Os valores de resistência de entrada ao fluxo de água, nos pontos avaliados, permitem classificar o desempenho hidráulico da linha de dreno lateral entre “regular” e “muito ruim”.

As linhas de fluxo do lençol freático evidenciaram que o fluxo subterrâneo ocorre no sentido do escoamento natural das águas superficiais.

Na condição de profundidades do lençol freático entre 0,20 e 0,40m da superfície do solo, as taxas médias de rebaixamento do lençol freático atenderam ao critério agrônomo utilizado no delineamento do sistema de drenagem.

O sistema de drenagem subterrânea proporcionou uma redução nos níveis iniciais de salinidade do solo para uma faixa que não representa risco de redução no rendimento da cultura da videira.

7 AGRADECIMENTO

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo apoio financeiro à pesquisa.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, T. C. S. Uva para exportação: aspectos técnicos da produção. **Série Publicações Técnicas FRUPEX**. Brasília : EMBRAPA-SPI, n. 25, 1996. 53p.
- ALMEIDA, D.M. et al. Análise comparativa de envoltórios para drenos tubulares em condições de fluxo não-permanente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.5, n.1, p.10-15, 2001.
- AMORIM, V. B. **Diagnóstico e avaliação de desempenho de drenagem subterrânea no perímetro irrigado de Bebedouro-PE**. 1995. 160f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1995.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14144**: requisitos para elaboração de projetos de drenagem subterrânea para fins agrícolas. Rio de Janeiro, 1998. 3p.
- AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. A qualidade da água na agricultura. **Estudos FAO: Irrigação e Drenagem** Revisado, Campina Grande, n.29, 1991. 218p.
- BOWER, H. Developing drainage design criteria. In: VAN SCHILFGAARDE, J. (Ed.) **Drainage for agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, 1974. p.67-79.
- CRUCIANI, D.E.; GODOY, R. Estudos do lençol freático em problemas de drenagem. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, 1980. p.115-126.
- CRUCIANI, D.E. **A drenagem na agricultura**. São Paulo: Nobel, 1989. 337p.
- DIELEMAN, P.J.; TRAFFORD, B.D. Drainage testing. **Irrigation and Drainage**. Paper, Rome. n.28, 1976. 172p.
- FAO. Drainage design factors: 28 questions and answers. **Irrigation and Drainage**. Paper, Rome, n.38, p.1-52, 1980.
- FREIRE, M. F. S. **Manejo de um solo com água salina submetido a três métodos de irrigação**. 1992. 51f. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água). Universidade Federal da Paraíba, Areia, 1992.
- LOIOLA, M. L. **Avaliação de um sistema de irrigação por gotejamento na cultura da videira no município de Jaguaruana-CE**. 2001. 66f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2001.
- MILLAR, A.A. **Drenagem de terras agrícolas**. São Paulo: Editerra, 1988. 306p.

PIZARRO, F. **Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos**. Madrid: Agrícola Española, 1978. 521p.

QUEIROZ, J. E. **Avaliação do desempenho hidráulico de dois sistemas pilotos de drenagem subterrânea usando manilhas de barro, no perímetro irrigado de Sumé-PB**. 1987. 98f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1987.

RHOADES, J. D. Electrical conductivity methods for measuring and mapping soil salinity. **Advances in Agronomy**, v.49, p.201-251, 1994.

RICHARDS, L.A. **Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos**. México: Editorial Limusa, 1954. 172 p.

RIDDER, N.A. Estudios del agua subsuperficial. In: ILRI. (Ed.) **International**

Institute for Land Reclamation and Improvement. Wageningen: n.3, 1973. p.165-210.

SOARES, J.M.; NASCIMENTO, T. Distribuição do sistema radicular da videira em vertissolo sob irrigação localizada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.2, n.2, p.142-147, 1998.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Soil Conservation Service. Water Information Center. **Drainage of agricultural land**. New York, 1973. 430p.

WESSELING, J.; VAN SOMEREN, C. L. Drainage materials: provisional report of the experience gained in The Netherlands. **Irrigation and Drainage**. Paper, Rome. n.9, 1970