

Módulo Didático

DRENAGEM AGRÍCOLA

Fundamentos e Aplicações

Vital Pedro da Silva Paz
Tales Miler Soares
Sergio Nascimento Duarte



e-book

Cruz das Almas – BA
2024

Acesso livre
www.agrofins.com.br/publica

AUTORES

Vital Pedro da Silva Paz

Graduado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB), mestrado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), doutorado em Irrigação e Drenagem pela Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP).

Professor Titular da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB).

Tales Miler Soares

Graduado em Engenharia Agrônômica pela Universidade Federal da Bahia (UFBA), mestrado e doutorado em Irrigação e Drenagem pela Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP).

Professor Associado da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB).

Sergio Nascimento Duarte

Graduado em Engenharia Agrônômica pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), mestrado em Irrigação e Drenagem pela Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP), doutorado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa (UFV).

Professor Titular da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP).

Os autores não tem qualquer interesse comercial ou de remuneração pelo material produzido. Portanto, fica proibido a sua comercialização, sendo disponibilizado o acesso livre aos interessados pelo endereço www.agrofins.com.br/publica.

Módulo Didático

Vital Pedro da Silva Paz
Tales Miler Soares
Sergio Nascimento Duarte

DRENAGEM AGRÍCOLA Fundamentos e Aplicações

1ª Edição

e-book

Cruz das Almas – BA

Edição dos Autores
2024

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)**

Paz, Vital Pedro da Silva
Drenagem agrícola [livro eletrônico] : fundamentos e aplicações / Vital Pedro da Silva Paz, Tales Miler Soares, Sérgio Nascimento Duarte. -- 1. ed. -- Cruz das Almas, BA : Ed. dos Autores, 2024.

PDF

ISBN 978-65-01-12298-4

1. Agricultura 2. Drenagem 3. Irrigação agrícola
4. Meio ambiente 5. Recursos hídricos I. Soares, Tales Miler. II. Duarte, Sérgio Nascimento.
III. Título.

24-222802

CDD-637.181

Índices para catálogo sistemático:

1. Agricultura : Tecnologia agrícola 637.181

Tábata Alves da Silva - Bibliotecária - CRB-8/9253

Apresentação de figuras, fotos, ilustrações e qualquer marca comercial não vincula ou significa recomendação de utilização por parte dos autores. O objeto dessa publicação está "direcionado ao uso pedagógico" em cursos de graduação e pós-graduação na área de Engenharia de Água e Solo, extensivo para conhecimento de técnicos e produtores.

DEDICAÇÃO

Aos filhos e famílias.
Aos pais pela obstinada determinação para a nossa educação e formação.

SUMÁRIO

| | |
|-------------------------------------------------------------|----|
| APRESENTAÇÃO | 6 |
| PREFÁCIO | 7 |
| 1 CONCEITO DE DRENAGEM | 8 |
| 2 OBJETIVOS DA DRENAGEM | 9 |
| 2.1 DRENAGEM ADEQUADA | 10 |
| 2.2 DRENAGEM DEFICIENTE E PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO | 10 |
| 2.3 DRENAGEM DEFICIENTE E DESENVOLVIMENTO DAS CULTURAS | 11 |
| 2.4 CONSEQUÊNCIAS DA MÁ DRENAGEM | 12 |
| 2.5 BENEFÍCIOS DA DRENAGEM | 13 |
| 2.6 DRENAGEM EM REGIÕES ÚMIDAS, ÁRIDAS E SEMIÁRIDAS | 14 |
| 2.7 TIPOS DE DRENAGEM | 14 |
| 2.8 PROFUNDIDADE DO LENÇOL FREÁTICO | 15 |
| 2.9 PRÁTICAS AGRÍCOLAS EM SOLOS COM DEFICIÊNCIA DE DRENAGEM | 18 |
| 3 DIAGNÓSTICO DA FALTA DE DRENAGEM | 19 |
| 3.1 POÇOS DE OBSERVAÇÃO | 19 |
| 3.2 CARACTERÍSTICAS DO SOLO | 21 |
| 3.3 CRITÉRIOS DE DRENAGEM | 24 |
| 4 MÉTODOS DE DRENAGEM | 25 |
| 4.1 TIPOS DE DELINEAMENTO DA DRENAGEM | 26 |
| 4.2 INFOMAÇÕES PARA PROJETO | 27 |
| 5 DRENAGEM SUPERFICIAL | 28 |
| 5.1 SISTEMAS DE DRENAGEM SUPERFICIAL | 28 |
| 5.2 TIPOS DE DRENOS | 31 |
| 5.3 CONTROLE DE INUNDAÇÕES | 33 |
| 6 DRENAGEM SUBTERRÂNEA | 39 |
| 6.1 SISTEMAS DE DRENAGEM | 40 |
| 6.2 MOVIMENTO DA ÁGUA PARA OS DRENOS | 42 |
| 6.3 ESPAÇAMENTO E PROFUNDIDADE DOS DRENOS | 43 |
| 6.4 REGIMES E EQUAÇÕES DE FLUXO | 44 |
| 6.5 EQUAÇÕES DE DRENAGEM PARA FLUXO CONTÍNUO | 47 |
| 6.6 EQUAÇÕES DE DRENAGEM PARA FLUXO VARIÁVEL | 53 |
| 6.7 DIMENSIONAMENTO DE DRENOS | 57 |
| 6.8 MATERIAIS DE DRENAGEM | 61 |
| 7 SALINIDADE DO SOLO | 64 |
| 7.1 A ORIGEM DOS SAIS | 64 |
| 7.2 CARACTERIZAÇÃO DA SALINIZAÇÃO | 65 |
| 7.3 NECESSIDADE DE LIXIVIAÇÃO | 66 |
| 7.4 RAZÃO DE LIXIVIAÇÃO | 67 |
| 8 LITERATURA CONSULTADA E RECOMENDADA | 69 |

APRESENTAÇÃO

O presente material foi preparado a partir da consulta de publicações de vários autores (livros, artigos, apontamentos e notas), bem como informações disponíveis e de acesso digital livre.

O propósito do material é atender ao ofício acadêmico e pedagógico para formação de recursos humanos qualificados para a agricultura irrigada, com maior responsabilidade e princípios de respeito aos recursos naturais. Extensivamente aos técnicos, especialistas e produtores, sempre preocupados com o uso adequado do solo e da água, buscando maiores resultados de rentabilidade das culturas irrigadas.

Não foi propósito dos autores a produção literária sobre a drenagem agrícola, mas a apresentação ilustrada de fácil entendimento, para um melhor aprendizado, com os fundamentos básicos iniciais. A partir de então, o interesse pelo conhecimento aprimorado poderá ser facilitado.

O uso da água, associado ao seu manejo adequado e eficiente, é exigência fundamental para o desenvolvimento econômico e social do maior setor de produção de alimentos, insumos, bens e serviços, indispensáveis para a melhoria da qualidade de vida.

A irrigação, quando bem utilizada, se constitui na mais forte ferramenta tecnológica para a produção sustentável, sob o contexto econômico, social e ambiental. Obviamente, sem nenhuma dissociação com as necessidades e técnicas/modelos de drenagem.

As figuras e ilustrações não representam qualquer interesse, preferência ou recomendação comercial por parte dos autores. Foram usadas, exclusivamente, para melhor entendimento e compreensão pelos interessados, sem qualquer distinção de marca e fabricante de produto ou equipamento. Uma vez verificada alguma manifestação contrária do fabricante, figuras ou ilustrações serão imediatamente substituídas.

Os autores

PREFÁCIO

Em uma área destinada à exploração agrícola, é necessário que, fundamentalmente, o solo possua um teor de umidade adequado à germinação e desenvolvimento das culturas.

Desta forma, é necessário que se estabeleça e se mantenha um ótimo equilíbrio da relação água-oxigênio-sais na zona radicular, visando oferecer condições ideais de sobrevivência para as culturas. Se as chuvas da região não são suficientes, em épocas oportunas, para manter o solo com teores de umidade adequados, a irrigação é a técnica recomendada para suprir essa deficiência. Por outro lado, se o solo se mantiver com teores excessivos de umidade durante longos períodos, a adoção de um sistema de drenagem é a solução para o problema.

Em áreas irrigadas, em que são utilizadas águas contendo sais, o objetivo da drenagem é controlar a elevação do lençol freático bem como eliminar a água de lixiviação, de modo a evitar a salinização do solo.

Os principais benefícios da drenagem agrícola são: incorporação de novas áreas à produção agrícola, aumento da produtividade agrícola, controle da salinidade do solo, recuperação de solos salinos e ou alcalinos, e saúde pública e animal.

A Engenharia Agrícola brasileira demanda informações técnico-acadêmicas que abordem a gestão dos recursos hídricos, também com ênfase à drenagem dos solos explorados, aproveitando a grande experiência do ensino e da pesquisa das nossas instituições. De tal forma que o *e-book* Drenagem Agrícola – Fundamentos e Aplicações, se apresenta como uma importante contribuição para alunos de Graduação, Pós-Graduação e interessados na abordagem da drenagem agrícola de forma pragmática e de fácil compreensão. O didatismo da presente obra e o fato dela estar fundamentada em conceitos técnicos sólidos e com grande alcance prático é reflexo da notável formação de seus realizadores nas áreas de engenharia, pesquisa e educação.

Os autores são discípulos do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Sistemas Agrícolas, da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Departamento de Engenharia de Biosistemas, onde desenvolveram estudos de Pós-Graduação.

MARCOS VINÍCIUS FOLEGATTI
Professor Titular Sênior, ESALQ/USP
Departamento de Engenharia de Biosistemas

1 CONCEITO DE DRENAGEM

Um conceito relativamente simples de *Drenagem Agrícola*, mas ao mesmo tempo bastante abrangente e muito empregado atualmente, consiste na “retirada do excesso de água do solo à uma taxa que permita uma exploração econômica das culturas e utilização por longo tempo da área”.

- ✓ Buscar a obtenção de produtividades ótimas econômicas, bem como uma integração com todos os componentes envolvidos tais como solo, cultura, irrigação, drenagem, meio ambiente, ..., no sentido de se dar ao empreendimento uma longa vida útil.



Fonte: <https://www.ntcbrasil.com.br>

É um conjunto de técnicas utilizadas com o objetivo de remover o excesso de água da superfície ou subsuperfície de uma determinada área.

A Irrigação e a Drenagem são técnicas que devem ser consideradas complementares, que visam ao manejo correto do sistema solo-água-planta.



Inter-relações de conhecimentos no contexto da *Drenagem Agrícola*:

- ✓ Fisiologia Vegetal, Hidrologia, Física de Solos, Hidráulica, Meteorologia, Climatologia, Irrigação, Economia, Informática, Agronomia, dentre outros.

2 OBJETIVOS DA DRENAGEM

Em uma área destinada à exploração agrícola, é necessário que, fundamentalmente, o solo possua um teor de umidade adequado à germinação e desenvolvimento das culturas. Desta forma, é necessário que se estabeleça e se mantenha um ótimo equilíbrio da relação água-oxigênio-sais na zona radicular, visando oferecer condições ideais de sobrevivência para as culturas. Por outro lado, se o solo se mantiver com teores excessivos de umidade durante longos períodos, a adoção de um sistema de drenagem é a solução para o problema.

Em regiões irrigadas, em que são utilizadas águas com maiores teores de sais, a drenagem é utilizada para controlar a elevação do lençol freático (LF) bem como eliminar a água de lixiviação, de modo a evitar a salinização do solo.



Fonte:
<https://blog.mfural.com.br/drenagem-do-solo/>

A drenagem agrícola, como um tipo de obra de controle, pode ser entendida como um conjunto de técnicas e práticas que visam retirar (remover) o excesso de água e de sais de uma determinada camada do solo, com os seguintes objetivos principais:

- ✓ **Garantir a aeração das raízes** – facilitar a difusão do oxigênio da atmosfera para a zona radicular;
- ✓ **Garantir trafegabilidade** – permitir o suporte de máquinas e implementos para as operações de preparo e manejo da cultura, colheita,;
- ✓ **Controle da erosão** – facilitar a infiltração ou retirada da água da superfície com perda mínima de solo;
- ✓ **Controle da salinidade** – evitar/controlar o fluxo ascendente do LF para a zona radicular e o excesso de sais de solo e da água de irrigação.



2.1 DRENAGEM ADEQUADA

Drenagem adequada é a drenagem necessária para se manter uma agricultura rentável e permanente na área. Isto não implica numa drenagem completa e perfeita, uma vez que o aspecto econômico tem que ser considerado.

Drenagem natural: é aquela em que o solo, em suas condições naturais tem capacidade para escoar a água que atinge a área, proveniente do escoamento superficial e subsuperficial de áreas altas, subpressões artesianas, transbordamentos de rios, excessos de água de irrigações e infiltrações provenientes de canais, mantendo o solo em condições adequadas de aeração para as culturas ali instaladas.

Drenagem artificial: é aquela necessária quando a drenagem natural não é suficiente para eliminar os excessos de água. Desta forma, a drenagem artificial visa complementar a diferença entre a drenagem natural e a drenagem necessária ou adequada.



Fonte:
<https://blog.mfrural.com.br/drenagem-do-solo/>

2.2 DRENAGEM DEFICIENTE E PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO

Aeração

Aeração é o processo pelo qual gases consumidos ou produzidos dentro do perfil do solo, são permutados pelos gases da atmosfera externa, sendo assim um processo dinâmico. A troca de gases se dá por meio de dois mecanismos: difusão (movimento dos gases em resposta ao gradiente de pressão parcial ou do gradiente de concentração dos gases) e fluxo de massa (movimento dos gases em resposta ao gradiente de pressão total dos gases).

Solos com excesso de água provocam interferência no processo de aeração, fazendo com que esta troca de gases do solo para a atmosfera e vice-versa, seja alterada.

Déficit de aeração - dados da literatura revelam que a quantidade de oxigênio disponível nos poros do solo varia de 5 a 30 L m⁻³ e a taxa de consumo pelas raízes e microflora é da ordem de 10 a 20 L m⁻³. Assim, se a entrada de oxigênio na zona radicular for bloqueada por algumas horas, ocorrerá déficit de O₂.

Estrutura

A drenagem deficiente pode alterar a estrutura do solo devido à compactação ocasionada pelo tráfego de máquinas e animais, redução da quantidade de matéria orgânica devido ao pequeno desenvolvimento do sistema radicular das plantas e salinização do solo.

Permeabilidade

Em áreas drenadas, a variação da umidade provoca rachaduras no solo, maior profundidade do sistema radicular, como também maior atividade microbiana e, como consequência, maior permeabilidade.

Textura

Áreas com problema de drenagem tem maior predominância de silte e argila em decorrência das deposições nas estações chuvosas.

Temperatura

Nos solos encharcados, ocorre o aquecimento retardado em função dos seguintes fatores:

- ✓ O calor específico da água é cinco vezes maior do que da matriz seca do solo. Consequentemente, para uma mesma radiação solar incidente, o solo com água demora mais a aquecer que um solo seco.
- ✓ A condutividade térmica da água é maior que a do solo seco. Em consequência, o aquecimento superficial durante o dia é rapidamente propagado para as camadas inferiores do solo durante a noite, reduzindo a sua temperatura;
- ✓ Em decorrência da evaporação superficial, em solos úmidos, a água é facilmente desprendida da matriz, necessitando, portanto, de menor aquecimento do solo para a retirada de água.

Calor específico: é a quantidade de **calor** necessária para alterar em 1°C a temperatura. A **água** possui um elevado **calor específico**, ou seja, é necessário fornecer ou retirar uma grande quantidade de **calor** para alterar a sua temperatura.

2.3 DRENAGEM DEFICIENTE E DESENVOLVIMENTO DAS CULTURAS

Sustentação

Locais com lençol freático alto fazem com que as culturas tenham sistema radicular raso, ficando sujeitas a tombamento. Além disto, como a área do solo ocupada pela planta é pequena, ocorre com muita rapidez o déficit hídrico por ocasião de um veranico, que causa rapidamente um rebaixamento do lençol freático.

Síntese de hormônios e matéria orgânica

Alguns hormônios de crescimento, são sintetizados pelas células dos tecidos do sistema radicular. Com drenagem deficiente, os hormônios não são produzidos ou são produzidos deficientemente.

Absorção de água

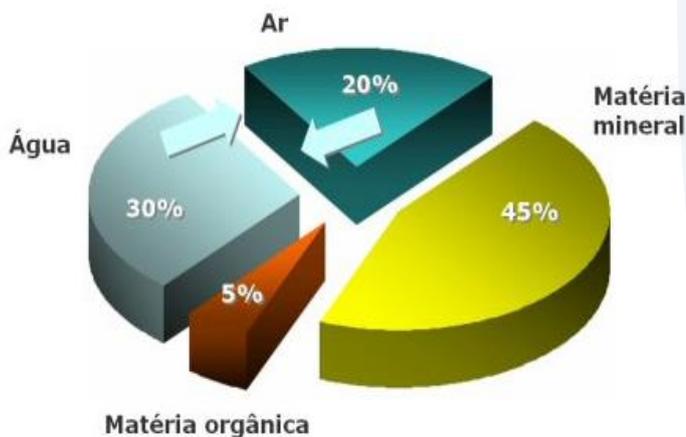
O excesso de água no solo causa pouco arejamento, reduzindo indiretamente a absorção de água, em virtude da diminuição do sistema radicular, decréscimo da permeabilidade das raízes, reduzindo a absorção de água (aumento da concentração de CO_2 devido a deficiência de O_2 , provoca endurecimento das paredes das raízes e diminuindo a permeabilidade).

Absorção de minerais

Tanto a acumulação de sais no vacúolo das células da raiz quanto o seu transporte para a parte aérea (xilema), consomem energia que é liberada na respiração aeróbica. Portanto, a absorção e o transporte de nutrientes ficam altamente comprometidos quando o arejamento do solo é deficiente. Além disto, a maior concentração de CO_2 reduz a permeabilidade dos tecidos da raiz, reduzindo a absorção de minerais.

2.4 CONSEQUÊNCIAS DA MÁ DRENAGEM

Várias consequências podem ser observadas e constatadas em decorrência da drenagem deficiente, que de forma geral promovem o desequilíbrio das relações “água – oxigênio – sais” na zona radicular das plantas.



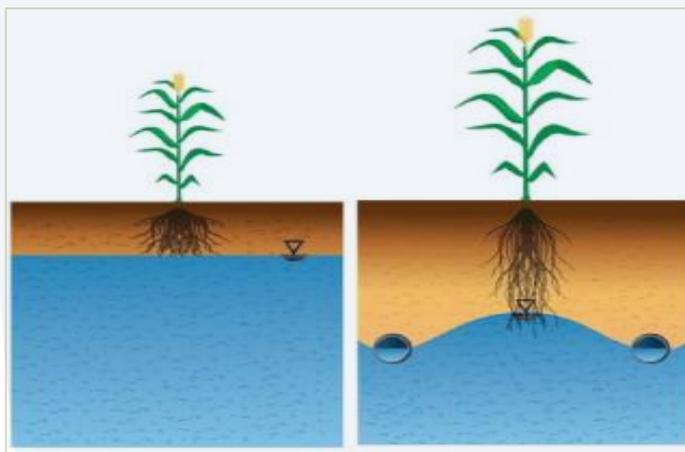
Redução da concentração de nitrogênio no solo

Em geral, solos mal drenados apresentam-se pobres em nitrogênio, devido principalmente a três fatores:

- i. Com o solo encharcado cresce o número de bactérias anaeróbicas, estas provocam uma reação liberando o nitrogênio para atmosfera;
- ii. Boa parte do aporte de nitrogênio mineral para o solo provém da decomposição da matéria orgânica do solo, processo que se torna extremamente lento quando o solo está saturado;
- iii. As bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico são predominantemente aeróbicas, tendo sua população reduzida quando há encharcamento.

Outras consequências da má drenagem (deficiência de drenagem):

- ✓ Salinização e abandono de áreas agricultáveis;
- ✓ Teor elevado de sais na água de drenagem;
- ✓ A água de drenagem pode disponibilizar elementos potencialmente tóxicos;
- ✓ Ocorrência de problemas fitossanitários (doenças);
- ✓ Confinamento do sistema radicular na parte superficial do solo.



<https://www.canr.msu.edu/agriculture/uploads/files/agriculturaldrainage-2-2-18-web.pdf>

2.5 BENEFÍCIOS DA DRENAGEM

Inúmeros benefícios podem ser observados na agricultura com a adoção de técnicas e operações para a drenagem (remoção) do excesso de água.

- ✓ Conservação do solo e da água;
- ✓ Incorporação de novas áreas à produção agrícola;
- ✓ Aumento da produtividade agrícola;
- ✓ Controle da salinidade;
- ✓ Recuperação de solos salinos e/ou sódicos;
- ✓ Saneamento de áreas inundadas;
- ✓ Melhoria dos indicadores econômicos;

2.6 DRENAGEM EM REGIÕES ÚMIDAS, ÁRIDAS E SEMIÁRIDAS

Regiões úmidas / subúmidas:

- ✓ Controlar o nível do lençol freático, por meio da eliminação do excesso de água na superfície e no perfil do solo.
- ✓ Deve garantir condições favoráveis de aeração, possibilitando, assim, o desenvolvimento adequado das culturas.

Regiões áridas / semiáridas:

- ✓ Manutenção do equilíbrio salino do solo, por meio da lixiviação do excesso de sais.
- ✓ Evitar a ascensão capilar de sais no perfil do solo, alcançando a zona do sistema radicular.



2.7 TIPOS DE DRENAGEM

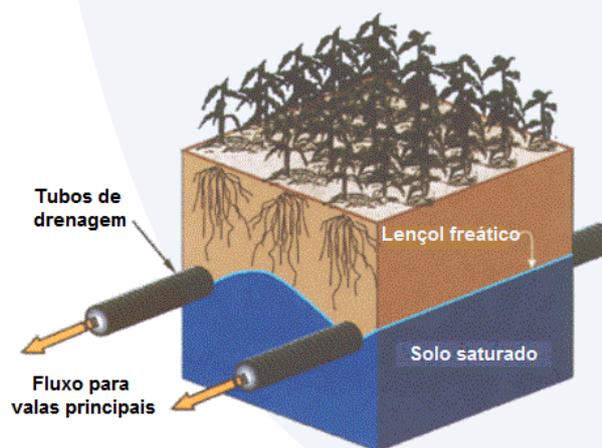
Drenagem Superficial

A finalidade da drenagem superficial é a remoção do excesso de água proveniente do escoamento superficial, provocado por chuvas com intensidade superior à taxa de infiltração da água no solo.

Drenagem Subterrânea

A finalidade é o controle do nível do lençol freático, mantendo-o a uma profundidade adequada ao desenvolvimento das culturas.

- ✓ É praticada quando a drenagem natural do subsolo é insuficiente para impedir a elevação do lençol freático.



<https://blog.aegro.com.br/drenagem-do-solo-na-agricultura/>

2.8 PROFUNDIDADE DO LENÇOL FREÁTICO

Lençol Freático é a camada (nível) superior das águas subterrâneas, em relação a superfície do terreno, é abastecido pelas águas das chuvas, de onde se extrai boa parte da água para consumo e produção.

A profundidade ótima do lençol freático depende de vários fatores, dentre eles:

- ✓ Profundidade do solo;
- ✓ Capacidade de retenção de água;
- ✓ Profundidade do sistema radicular da cultura;
- ✓ Frequência e quantidade de chuva ou irrigação;
- ✓ Transmissividade do solo.

A profundidade em que os solos devem ser drenados é fundamental para um projeto de drenagem, uma vez que essa profundidade está associada ao espaçamento entre drenos na área.

A profundidade a qual um solo pode ser drenado não é aquela que resulta em máxima produtividade da cultura, mais sim, aquela que maximize a relação custo/benefício.

Para melhor aproximar do valor correto da profundidade do LF, deve-se considerar duas situações distintas:

- ✓ Áreas em que parte das necessidades hídricas das culturas são satisfeitas pela ascensão capilar
Neste caso, uma profundidade excessiva do lençol pode provocar déficit hídrico na zona radicular.
- ✓ Áreas que não utilizam água de ascensão capilar
Mesmo existindo uma certa deficiência hídrica, pois a contribuição da água do lençol freático seria prejudicial, em virtude do acúmulo de sais na zona radicular.

A definição da profundidade do lençol freático, para efeito de projeto, é dependente de características do solo, da planta a ser cultivada, do regime de escoamento e de critérios de drenagem a serem estabelecidos pelo projetista.

| Culturas | Profundidade do LF (cm) |
|------------------------|-------------------------|
| Pastagens | |
| - Solo de textura fina | 60 - 80 |
| - Solo arenosos | 40 - 60 |
| Hortaliças | 50 - 80 |
| Cultivos extensivos | 90 - 120 |
| Pomares | 150 - 250 |

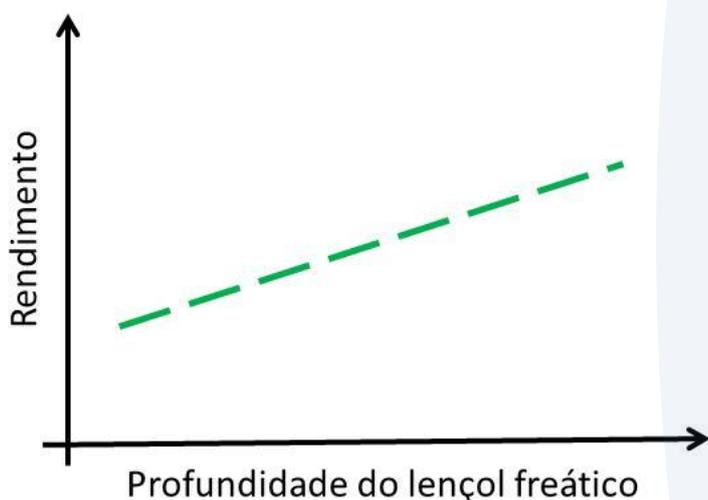
Tabela 1. Valores médios de profundidade do LF de acordo com culturas e características do solo.

As máximas produtividades das culturas estão associadas a uma profundidade ótima do lençol freático, e tal profundidade ótima depende do tipo de solo, tipo de cultura, clima e irrigação.

O lençol freático em nível superficial favorece a disponibilidade de água (por ascensão capilar), mas pode ser prejudicial por reduzir a aeração do solo e as trocas gasosas com a atmosfera.

A sensibilidade das plantas ao nível do lençol freático varia entre as espécies e com a fase do ciclo vegetativo.

Diferentes profundidades do lençol freático podem resultar em rendimentos relativos de algumas culturas.



| Culturas | Profundidade do Lençol Freático (cm) | | | | |
|-----------------|--------------------------------------|------|------|------|------|
| | 40 | 60 | 90 | 120 | 150 |
| | Rendimento relativo (%) | | | | |
| Feijão | 39,7 | 90,2 | 98,9 | 99 | 100 |
| Trigo (inverno) | 73,4 | 72,7 | 83,6 | 100 | 84,6 |
| Beterraba | 83,9 | 92,3 | 98,3 | 100 | 99,7 |
| Batatas | 89,6 | 100 | 94 | 92,3 | 95,4 |

Tabela 2. Rendimento relativo de culturas em função da profundidade do lençol freático.

A duração do excesso de umidade do solo recorrente da profundidade do lençol, submetendo as culturas à inundação, resulta em danos muitas vezes não reversíveis.

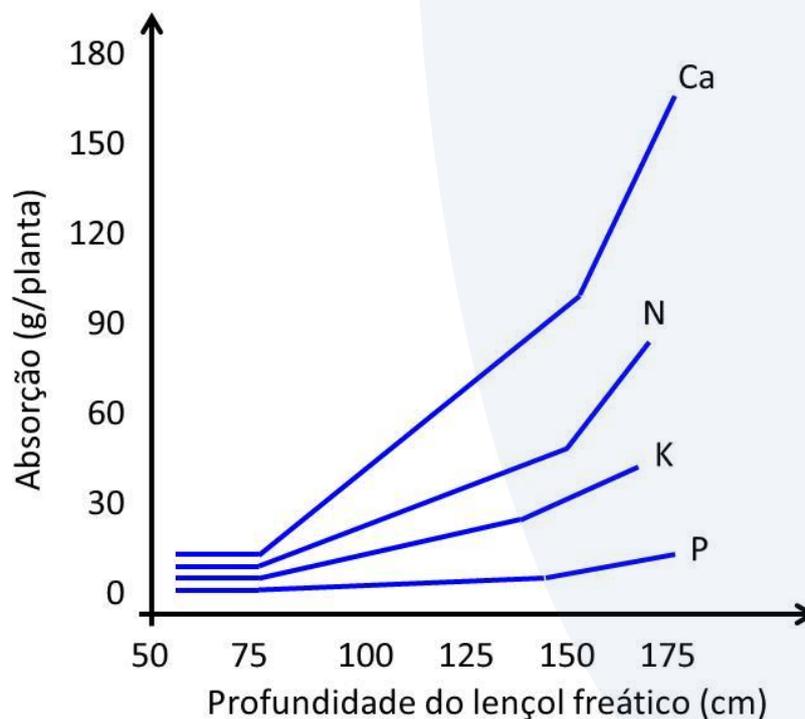
| Culturas | Número de dias de inundação | | | |
|--------------------|-----------------------------|----|-----|-----|
| | 3 | 7 | 11 | 15 |
| | Danos produzidos (%) | | | |
| FORAGEIRAS PERENES | 10 | 25 | 55 | 85 |
| MILHO | 13 | 57 | 85 | 100 |
| GIRASSOL | 10 | 28 | 50 | 72 |
| BATATINHA | 42 | 84 | 100 | 100 |

Tabela 3. Danos produzidos às culturas em função da duração de excesso de umidade do solo (inundação).

A disponibilidade e transporte de íons às raízes é um processo que envolve todas as condições de fluxo no perfil do solo, dentre outros vários fatores, que depende das condições de umidade e, portanto, da profundidade do lençol freático que pode regular a grandeza da quantidade de água no solo.

A profundidade do lençol freático tem efeito na magnitude de perda de nutrientes por percolação.

Há que se considerar que a queda na absorção de íons em decorrência da profundidade do lençol freático tem consequências diretas no desenvolvimento e rendimento das culturas.



Profundidade econômica do dreno

Quanto maior a profundidade dos drenos, maior será seu espaçamento no campo.

Isso gera uma economia: menos drenos no campo. Mas, essa economia é limitada até profundidades de 2 a 2,5 m, pois a partir daí o aumento dos custos de escavação não são compensados pela economia de material resultante do aumento no espaçamento.

Poucas máquinas abrem valas e assentam drenos além de 2,5 m.



2.9 PRÁTICAS AGRÍCOLAS EM SOLOS COM DEFICIÊNCIA DE DRENAGEM

Algumas medidas e práticas podem ser adotadas em situações de exploração de solo com deficiência de drenagem, em menor escala de intervenção na área.

- ✓ Seleção adequada de culturas;
- ✓ Se a água do lençol freático não for salina, estudar a possibilidade de se reduzir a água de irrigação e compensar parte das necessidades hídricas da cultura com água de ascensão capilar,
- ✓ Não executar práticas culturais com uma umidade excessiva do solo, pois o uso de máquinas além de deteriorar a sua estrutura, promove grandes sulcos no terreno que favorecem a retenção de água na superfície;
- ✓ Adoção de manejo do solo em função da declividade do terreno, minimizando a ocorrência de empoçamento ou acúmulo de água na superfície por maior tempo;
- ✓ Utilização da prática da subsolagem, melhorando assim as condições de aeração como também de drenagem.

3 DIAGNÓSTICO DA FALTA DE DRENAGEM

O sucesso da drenagem artificial do solo depende do diagnóstico correto do problema existente ou por estudos mais detalhados a fim de determinar a fonte de excesso de água que atinge a área.

Para esse diagnóstico é indispensável:

- ✓ Levantamento topográfico;
- ✓ Propriedades físicas do solo e profundidade do lençol freático;
- ✓ Estudos hidrológicos (precipitações intensas/previsão);
- ✓ Escoamento superficial;
- ✓ Regime dos cursos d'água;
- ✓ Fisiologia vegetal;
- ✓ Planejamento do uso da terra.

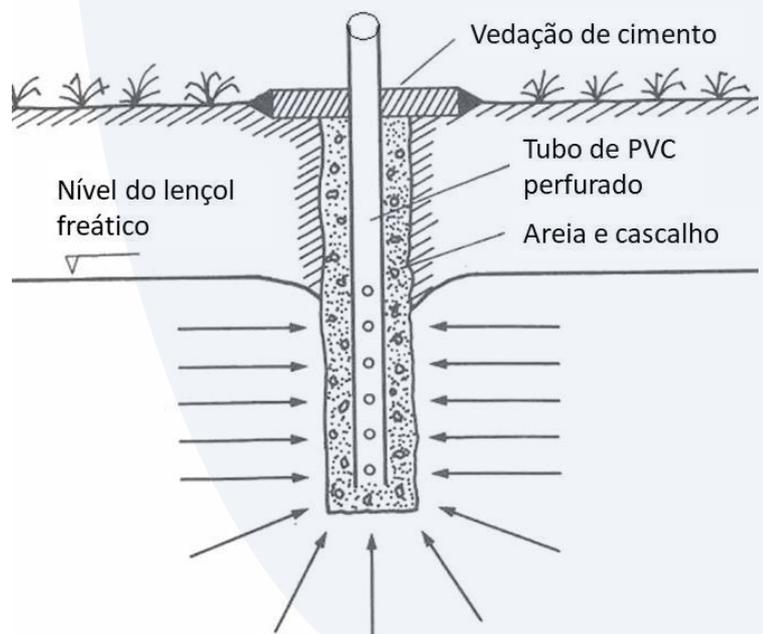
Para o caso de necessidade de drenagem subterrânea (remoção/controle do excesso de água no perfil do solo), é indispensável a complementação de informações importantes e limitantes para o desenvolvimento de projetos.

- ✓ Estudo da água subterrânea cuja caracterização é geralmente feita a partir do conhecimento do comportamento de sua superfície livre no perfil do solo, denominada superfície freática, nível freático ou simplesmente lençol freático.

3.1 POÇOS DE OBERVAÇÃO

Perfurados com trado manual, revestidos ou não com tubos de 2 polegadas, perfurados ou “ranhurados” de modo a permitir a entrada da água do lençol freático. Devem ser envelopados com tela de material sintético. Recomenda-se deixar uma sobra no tubo a partir da superfície do terreno de 0,50 m e usar um tampão na extremidade superior.

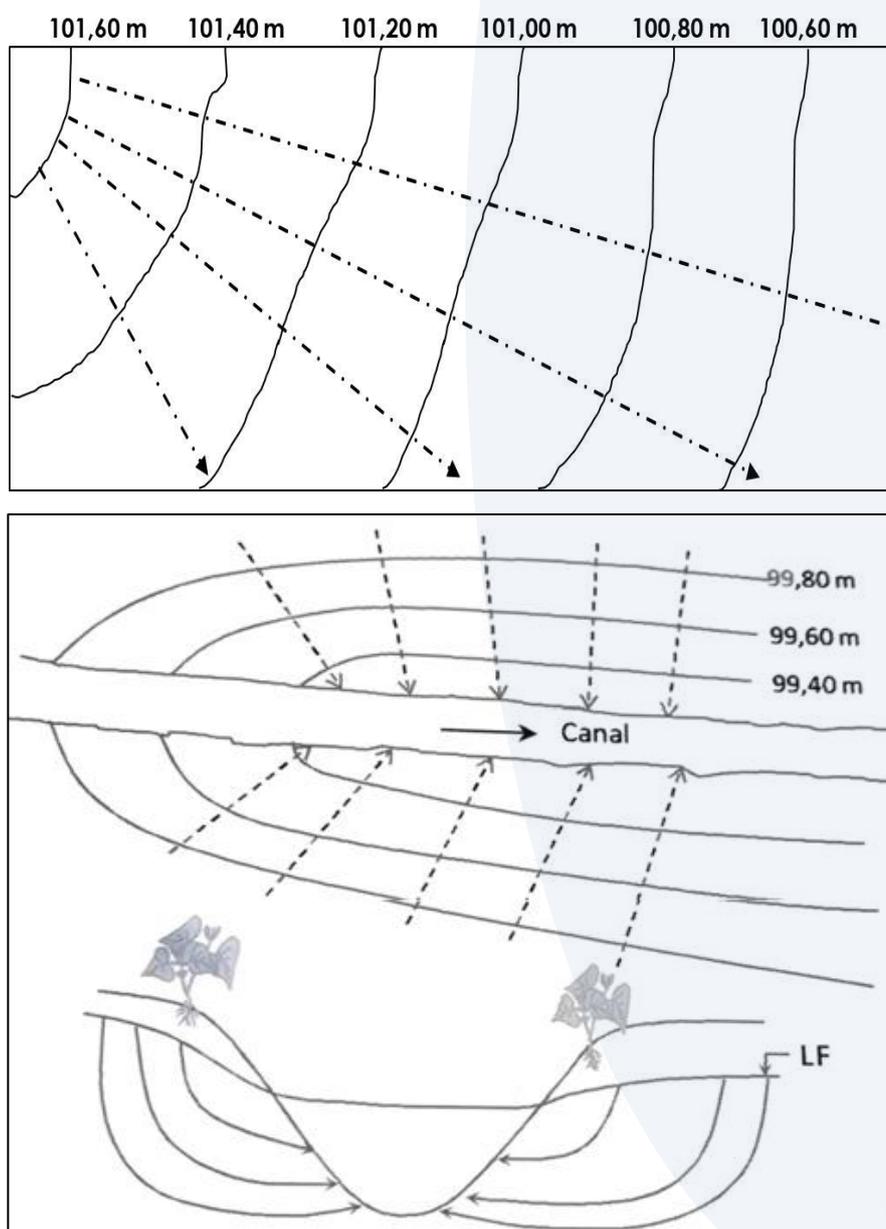
A profundidade do LF pode ser medida com uso de uma trena métrica ou pode fazer esta leitura com uso de aparelhos mais sofisticados como um medidor de nível do tipo sonoro



Através da instalação desta bateria de poços de observação, através da leitura da cota do nível do lençol freático e das coordenadas de cada poço é possível a elaboração de um mapa do lençol freático, conhecido como rede de fluxo. Este permite obter as seguintes informações:

- ✓ Curvas de nível do lençol freático;
- ✓ Gradientes hidráulicos;
- ✓ Equipotenciais;
- ✓ Direção do fluxo subterrâneo;
- ✓ Regiões de recarga;
- ✓ Regiões de descarga;
- ✓ Estimativa de fluxo subterrâneo.

As observações e medições dos poços de observação permitem traçar o mapa de isohypsas: curvas de igual cota freática (cota do terreno – profundidade do LF).



3.2 CARACTERÍSTICAS DO SOLO

Quanto das propriedades do solo, duas características são indispensáveis para o estudo e projetos de drenagem agrícola.

- ✓ Porosidade;
- ✓ Condutividade hidráulica.

O movimento da água no solo está fundamentado, dentre outras também importantes, nas características acima, seja para o entendimento da dinâmica da água no solo para fins de projeto e manejo da irrigação, seja na definição de técnicas, procedimentos e projetos de engenharia para remoção do excesso de água.

Porosidade total

$$\alpha = \frac{V_{\text{poros}}}{V_t}$$

α – porosidade total;

V_{poros} - volume de poros do solo;

V_t – volume total de solo.

$$\alpha = \left(1 - \frac{d_g}{d_p} \right) 100$$

d_g – densidade global;

d_p – densidade de partículas.

Porosidade drenável

Porosidade drenável ou porosidade efetiva é o volume de poros drenados por unidade de volume de um solo previamente saturado, quando o teor de umidade reduz de uma condição de Ψ_m nulo (solo saturado) para Ψ_m de -60 a -100 cca (- 0,06 a - 0,1 atm.).

$$\alpha' = \alpha - \theta_d$$

α' – porosidade drenável;

θ_d - umidade do solo após a drenagem.

Porosidade drenável / efetiva

Uma estimativa aproximada, aceita pela ABNT, consiste na diferença entre o conteúdo de água na saturação e a capacidade de campo (θ_{cc}).

$$\alpha' = \alpha - \theta_{cc}$$

Outra opção é a utilização da equação empírica que relaciona o valor da condutividade hidráulica do solo saturado (K_o) com o valor da porosidade efetiva (α').

$$\alpha' = \sqrt{K_o}$$

Essa equação se baseia no fato de que quanto mais grossa a textura do solo, maior será K_o e também α' .

A porosidade drenável é um parâmetro hidrodinâmico do solo de grande importância para fins de dimensionamento de sistemas de drenagem subterrânea. Representa os poros de um solo que não conseguem reter água contra a força da gravidade. Corresponde ao volume de água que é drenado livremente.

| Classificação | Porosidade drenável (%) |
|---------------|-------------------------|
| Muito baixa | 1 a 2 |
| Baixa | 2 a 10 |
| Média | 10 a 15 |
| Alta | 15 a 25 |
| Muito alta | 25 a 35 |

Tabela 4. Classes de porosidade drenável do solo como parâmetro hidrodinâmico para dimensionamento de sistemas de drenagem.

Condutividade hidráulica

Expressa a “facilidade” com que determinado fluido se desloca (movimento) em um meio poroso, mostrando-se dependente das características do meio e do fluido.

A condutividade hidráulica do solo é uma propriedade que expressa à facilidade com que a água nele se movimenta, sendo de extrema importância ao manejo do solo e da água, estando associada às propriedades do solo, principalmente a estrutura e a textura. É um parâmetro determinante na capacidade de drenagem do solo.

| Classes | Cond. Hidráulica (m dia ⁻¹) |
|--------------------|-----------------------------------------|
| Muito lenta | < 0,03 |
| Lenta | 0,03 - 0,12 |
| Moderamente lenta | 0,12 - 0,50 |
| Moderada | 0,50 - 1,50 |
| Moderamente rápida | 1,50 - 3,00 |
| Rápida | 3,00 - 5,00 |
| Muito rápida | > 5,00 |

Tabela 5. Classes de condutividade hidráulica do solo, que expressam a facilidade ao movimento de água.

A determinação da condutividade hidráulica (K) pode ocorrer pelos seguintes métodos:

- ✓ Método do permeâmetro de carga constante (método de laboratório);
- ✓ Método do poço de observação do lençol freático (método de campo).

(As metodologias e procedimentos dos métodos descritos estão disponibilizados e podem ser consultadas em várias literaturas facilmente acessíveis, dissertações e teses).

A condutividade hidráulica do Solo é essencial para qualquer estudo que envolva o movimento da água no solo, seja para estudar a própria dinâmica da água, seja para estudar o transporte de elementos químicos, nutrientes e defensivos agrícolas, bem como seus impactos potenciais ao ambiente.

Movimento de água no solo – princípios:

- ✓ A água desloca-se de regiões de maior para menor energia;
- ✓ Tendência espontânea e universal de toda matéria na natureza é atingir um estado de energia mínimo (equilíbrio);
- ✓ Energia A > Energia B: movimento de A para B;
- ✓ Potencial total de água – depende da umidade do solo.

Henry Darcy (1856) foi o primeiro a estudar o fluxo de fluidos (movimento da água), a partir da observação de infiltração de solução em colunas de areia homogênea em condições de saturação, em filtros utilizados no sistema de tratamento de água de Paris.

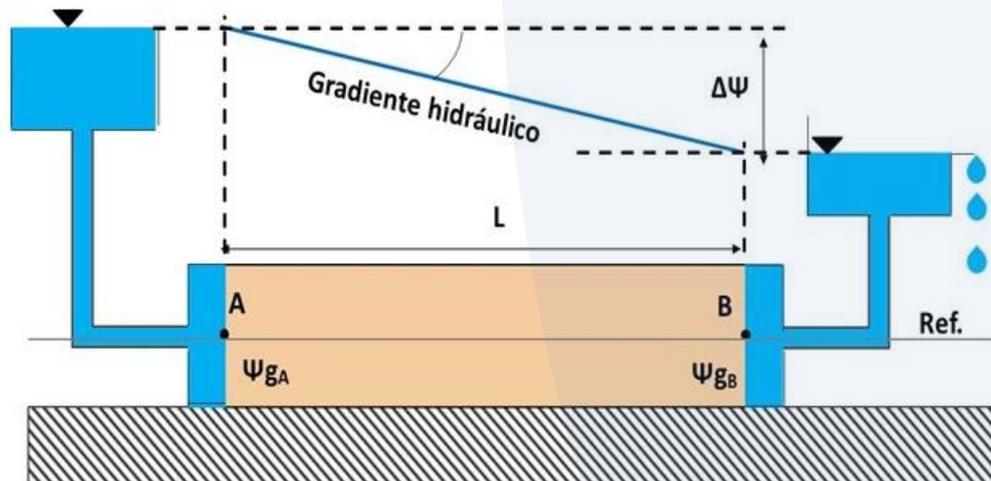
Ele constatou que a vazão é proporcional (“α”) à diferença de potencial ($\Delta\Psi$) ao longo do fluxo, à área da seção (**A**) do conduto do meio poroso e do fluido, além de inversamente proporcional ao comprimento (**L**) do conduto.

$$Q \propto A \frac{\Delta\Psi}{L}$$

O movimento de água é influenciado por uma característica intrínseca do solo, chamada condutividade hidráulica (**k**), que mede a facilidade com a qual o solo transmite a água.

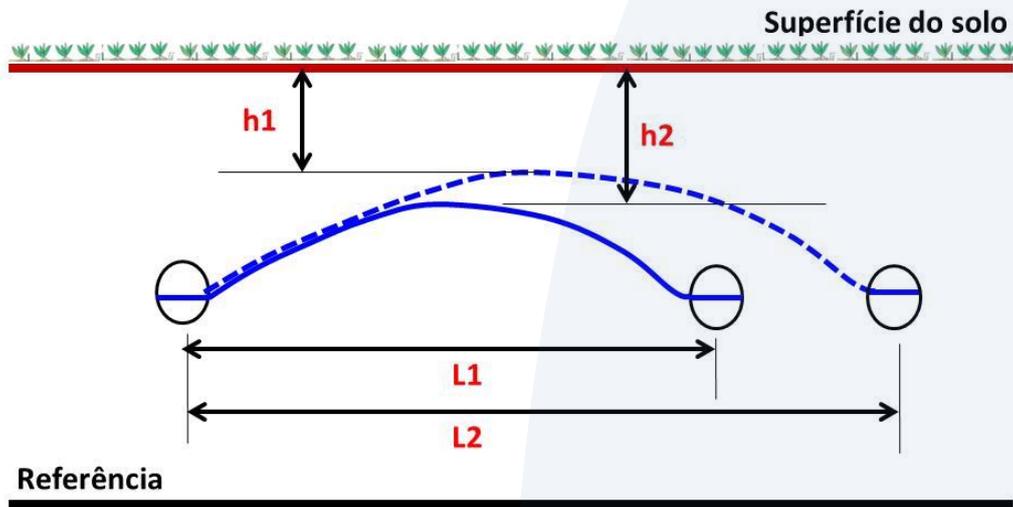
$$q = -K \frac{\Delta\Psi}{L} = -K \frac{(\Psi_A - \Psi_B)}{L} = -K \text{ Grad } \Psi$$

$$q = \frac{Q}{A} \text{ (densidade de fluxo)}$$



- ✓ Os princípios do movimento de água no solo estão fundamentados nas características hidrodinâmicas do solo e, assim também, na distância entre os caminhos preferenciais de deslocamento da água no perfil do solo.
- ✓ Importante destacar o conceito de solo como um meio poroso sob o efeito dos gradientes de potencial que determinam a capacidade de movimento da água, bem como da medida da facilidade/resistência oferecida pelo solo para esse movimento.

A redução da altura do lençol freático ou da franja capilar da água nas proximidades da profundidade do sistema radicular tem influência do espaçamento entre os drenos (que formam os caminhos preferenciais da água no perfil do solo) e das características inerentes do meio poroso.



3.3 CRITÉRIOS DE DRENAGEM

Vários critérios de drenagem foram propostos com intuito de prever o desempenho do sistema de drenagem a ser implantado, necessários ao cálculo do espaçamento entre drenos de campo.

As imposições dos critérios devem estar associadas à sensibilidade das culturas à presença de excesso de umidade no sistema radicular, bem como ao regime hidrológico de cada região.

Esses critérios atendem a uma necessidade ou desempenho desejado para sistemas a serem implantados na área em questão.

Eles são geralmente estabelecidos para as seguintes condições:

- ✓ Situação em que a recarga e a descarga se processam em condições de equilíbrio, permanecendo o lençol num certo nível por tempo prolongado, ou durante o tempo em que ocorre a recarga do solo;
- ✓ Situação de não equilíbrio na qual o lençol sofre flutuações em função da intensidade de recarga;
- ✓ Situação em que se deseja um controle da salinidade;
- ✓ Necessidade de livre trânsito de máquinas na área.

4 MÉTODOS DE DRENAGEM

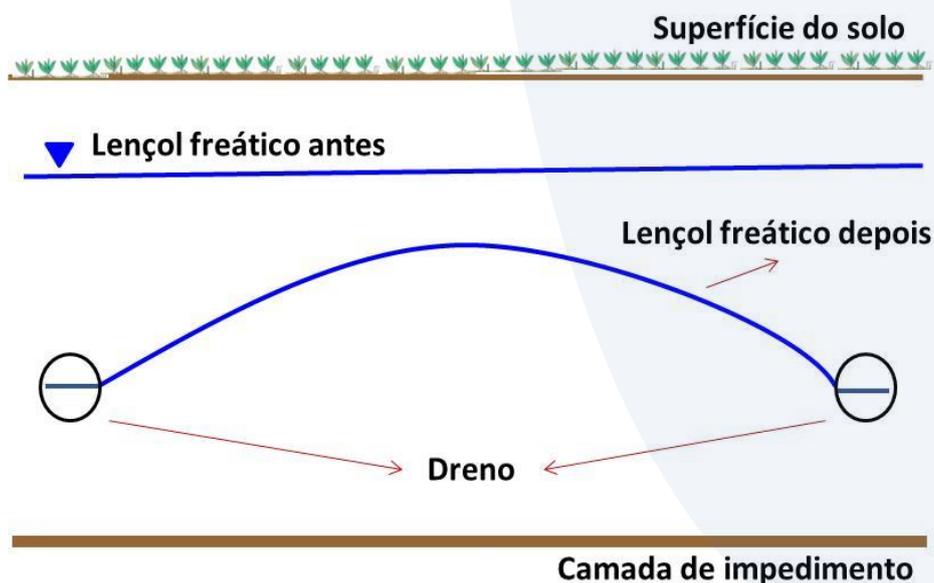
A drenagem - processo de remoção do excesso de água da superfície do solo e/ou do subsolo, possui duas formas básicas: superficial e subterrânea.

Drenagem superficial

A finalidade da drenagem superficial é a remoção do excesso de água proveniente do escoamento superficial, provocado por chuvas ou irrigação com intensidade superior à taxa de infiltração da água no solo.

Drenagem subterrânea

A finalidade da drenagem subterrânea é a remoção do excesso de água proveniente do próprio perfil do solo, provocando em demasia a ascensão capilar e a elevação do lençol freático para próximo do sistema radicular das plantas.



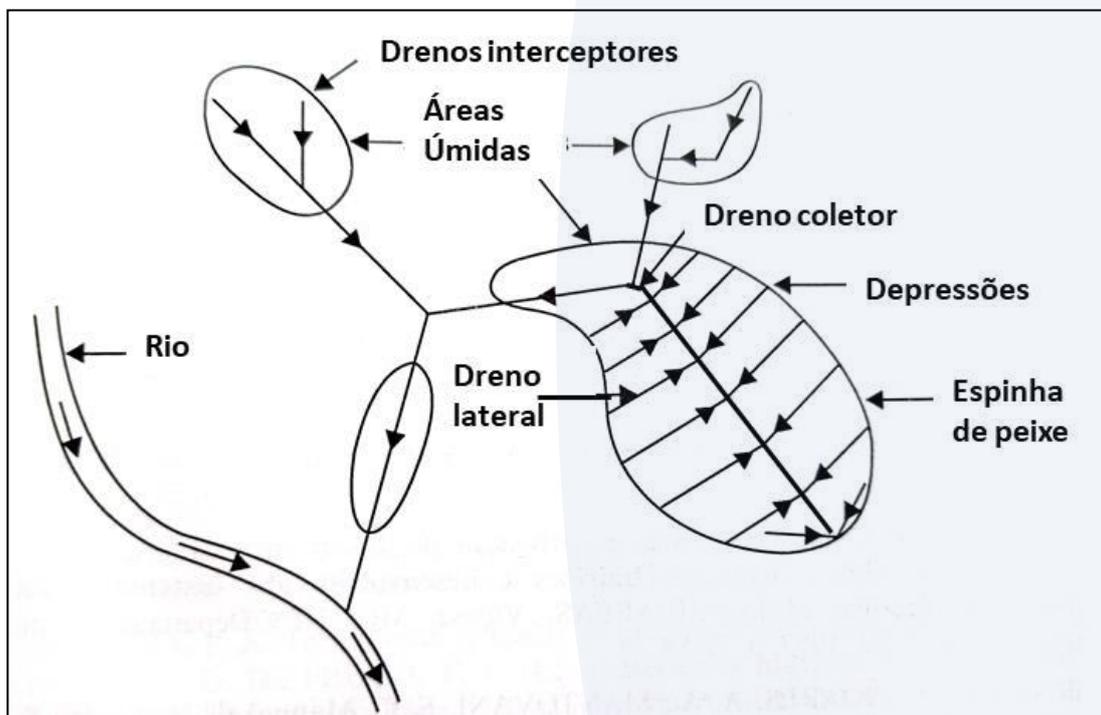
4.1 TIPOS DE DELINEAMENTO DA DRENAGEM

A distribuição da rede de drenagem na área depende fundamentalmente da topografia, de forma a facilitar sempre que possível o caminho natural do fluxo de água.

No caso de drenagem natural, os drenos podem interligar as áreas mais baixas por onde as águas escoam normalmente durante o período chuvoso.

Em áreas maiores com problemas de drenagem, é necessário construir uma rede de drenos paralelos, em grade ou no formato de espinha de peixe.

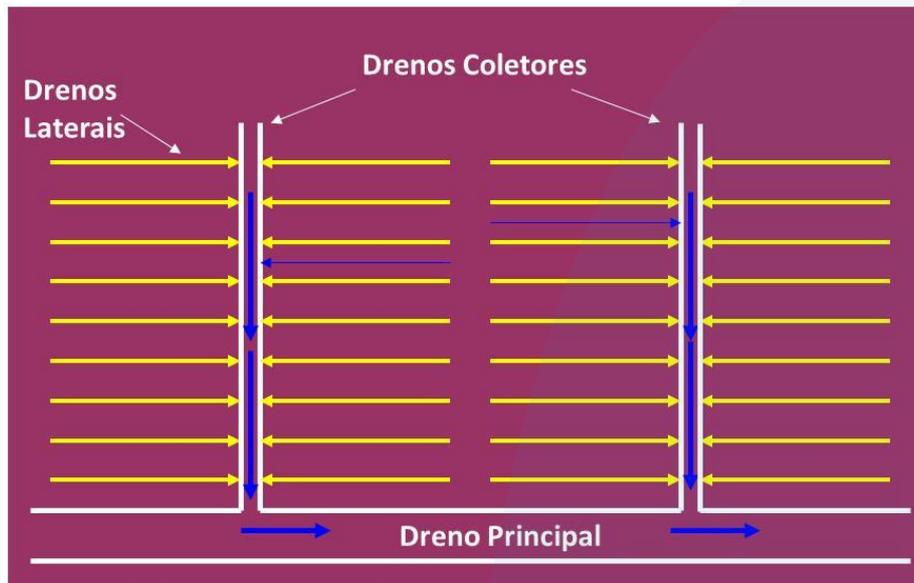
Os drenos de campo sempre estarão conduzindo a água para um sistema coletor e/ou principal.



Um sistema de Drenagem consiste em uma estrutura de diferentes categorias de drenos que são colocados na área problema de acordo com as condições locais

Dependendo da função que exercem dentro do sistema, os drenos são classificados em:

- ✓ Drenos de campo, laterais ou primários
- ✓ Drenos coletores
- ✓ Dreno principal



Esquema de um sistema de drenagem com as categorias de drenos.

DRENOS LATERAIS

Dispostos paralelamente entre si, têm como função absorver a água contida nos macroporos do solo, exercendo, deste modo, o controle da profundidade do lençol freático.

DRENOS COLETORES

Coletam a água proveniente dos drenos laterais (ou, drenos de campo, drenos primários).

DRENO PRINCIPAL

Recebe a água dos drenos coletores, transportando-a para fora da área do projeto; dependendo do tamanho da área, podem ser necessários dois ou mais drenos principais.

DRENO INTERCEPTOR

Quando se identifica a ocorrência tanto de escoamento superficial como subsuperficial das áreas mais altas para as baixas, há necessidade de construir um dreno na interseção do plano da várzea (“dreno interceptor” ou “dreno de encosta”).

4.2 INFORMAÇÕES PARA PROJETO

Um estudo do diagnóstico de problemas de drenagem e consequente elaboração de um projeto, requer uma série de informações técnicas de ordem física e agrônômica, muitas delas já abordadas e apresentadas de forma direta ou indireta.

Dentre as várias informações para projeto, resumidamente:

- a) Reconhecimento da área;
- b) Levantamento topográfico e demarcação;
- c) Georeferenciamento e fotografias aéreas;
- d) Estudo do solo;
- e) Estudo de águas superficiais e subterrâneas;
- f) Estudos hidrológicos;
- g) Qualidade da água e culturas exploradas;
- h) Histórico de uso do solo e da água.

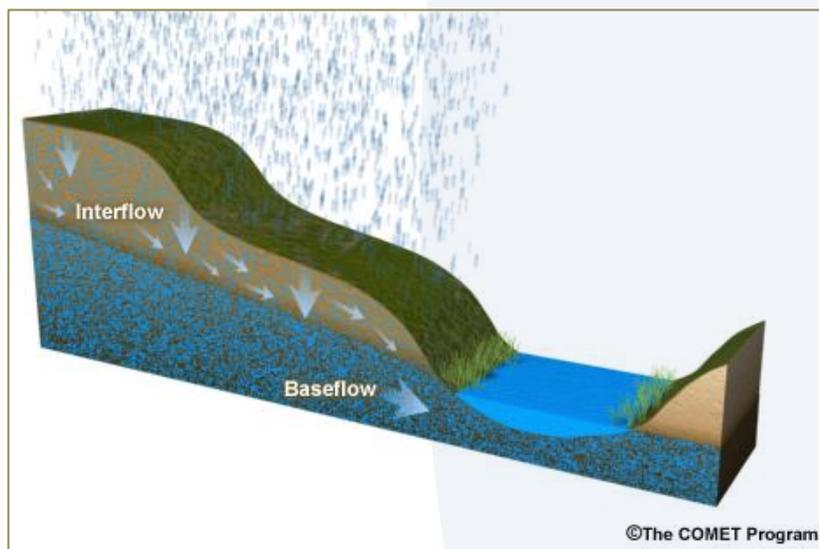
Os danos ambientais da deficiência de drenagem podem ser irreversíveis e sob o ponto de vista econômico e social também de grandes dimensões. Tratando-se, no caso específico da produção agrícola, seja em zonas úmidas ou semiáridas, o histórico de áreas comprometidas somam milhares de hectares no mundo.

No Brasil, tem-se o registro de muitas áreas de projetos inviabilizados e economicamente não recuperáveis, em decorrência da não adoção de medidas preventivas de manejo e remoção das águas excedentes ou de qualidade inferior.

Portanto, é importante destacar todas as informações possíveis para a elaboração de projetos de drenagem na agricultura.

5 DRENAGEM SUPERFICIAL

A drenagem superficial tem como principal objetivo a eliminação da água da superfície do solo (terreno), tendo também importância no controle de inundações e no processo de acúmulo e remoção da água no perfil do solo.



https://download.comet.ucar.edu/memory-stick/hydro/basic_int/runoff/navmenu.php_tab_1_page_2.4.0.htm

5.1 SISTEMAS DE DRENAGEM SUPERFICIAL

Os sistemas de drenagem superficial, em áreas planas, são projetados para eliminar o excesso de água que se acumula na superfície.

Para áreas em declive, o sistema de drenagem deve ser relacionado com os valores máximos de picos de descarga.

A drenagem superficial pode ser feita por meio dos seguinte sistemas/tipos:

- ✓ Natural;
- ✓ Camalhão;
- ✓ Dreno interceptor;
- ✓ Drenos rasos e paralelos;
- ✓ Sistematização do terreno.

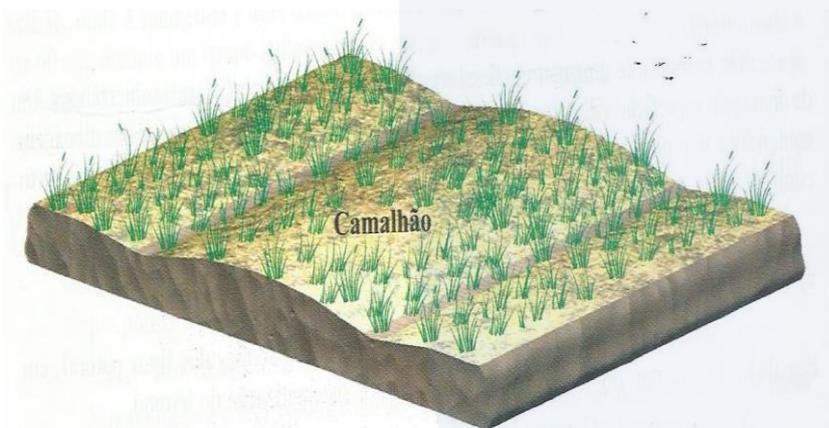
Sistema natural

Interconectar as depressões do terreno por meio de drenos que conduzem a água para pontos de descarga natural da área. Sempre que possível, os drenos devem ser rasos e com as faces laterais pouco inclinadas, para não interferirem nas práticas agrícolas. É indicado para situações em que o nivelamento do terreno se torna dispendioso.



Sistema em camalhão

Consiste de camalhões largos e em sequência, com depressões nas interseções entre eles, as quais funcionam como drenos. É indicado para áreas úmidas com pouca declividade e com solos argilosos pouco permeáveis.



- ✓ Em solos com drenagem muito lenta, a largura varia de 6 a 12 m; com drenagem lenta, de 10 a 20 m; e com drenagem média, de 15 a 30 m;
- ✓ É indicado para áreas úmidas com pouca declividade e com solos argilosos pouco permeáveis.

Sugestões do Serviço de Conservação de Solo do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA – SCS):

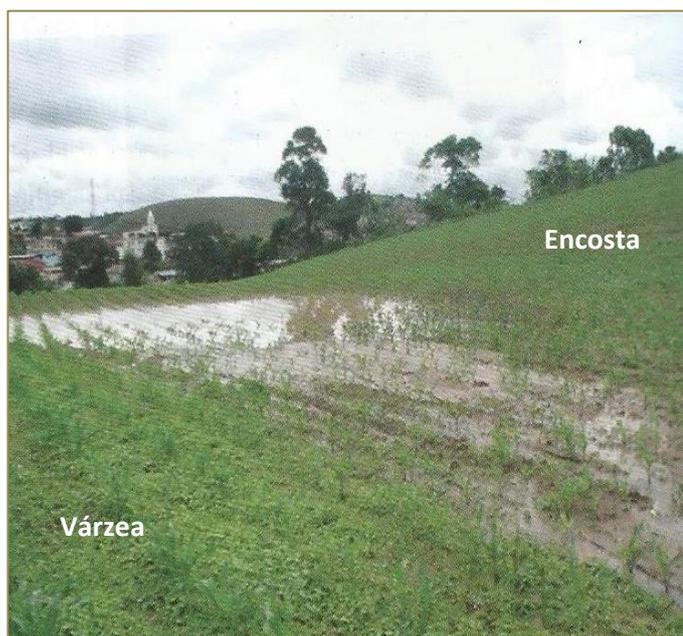
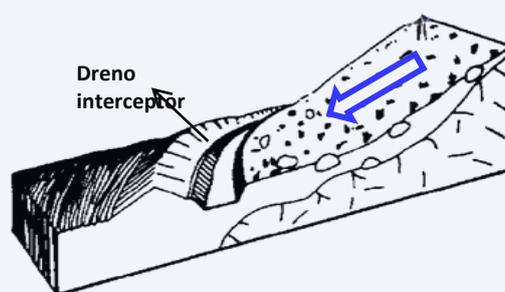
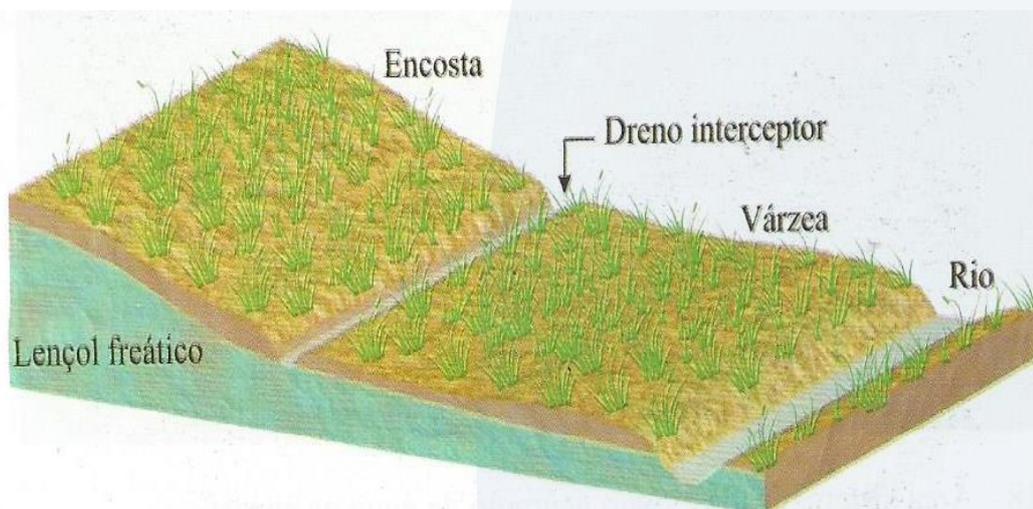
- ✓ Altura do centro dos camalhões entre 15 e 50 cm;
- ✓ Comprimento até 300 m;
- ✓ Largura de acordo com o tipo de solo.

Dreno interceptor

Consiste em interceptar, por meio de drenos construídos na base das encostas, os escoamentos superficiais e subterrâneo de águas provenientes das partes altas do terreno, conduzindo-os para fora das partes baixas do terreno.

- ✓ São valas escavadas no solo, de seção transversal trapezoidal, com profundidade que variam entre 1,5 e 2,0 m.
- ✓ É um sistema bastante eficiente, pois reduz a necessidade de drenagem das partes baixas do terreno.

Tem sido muito utilizado em várzeas derivadas por encostas, sendo geralmente suficiente para resolver os problemas de drenagem quando a várzea é estreita.



5.2 TIPOS DE DRENOS

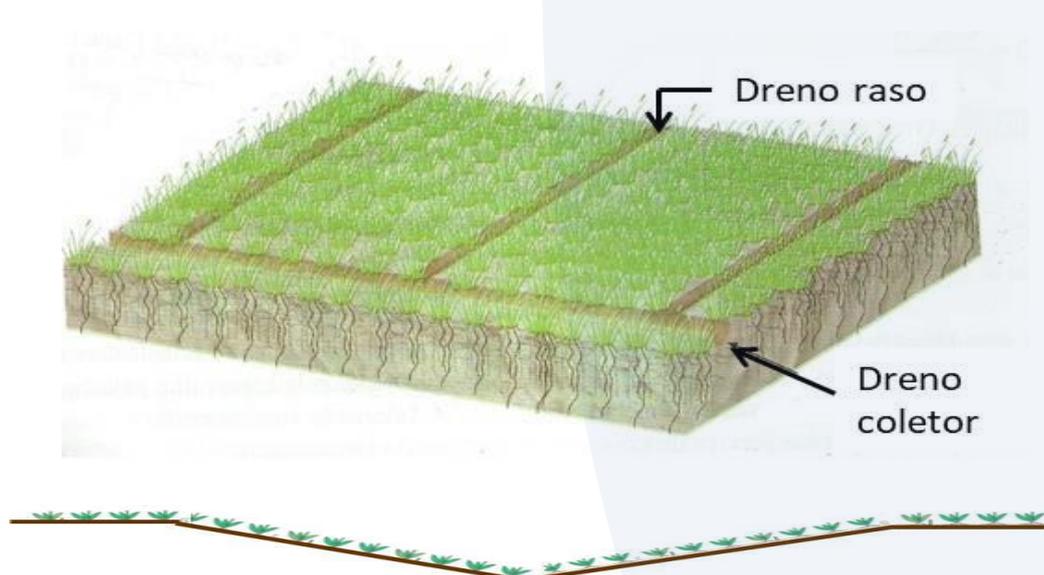
Drenos rasos e paralelos

Consistem de valetas paralelas abertas na direção perpendicular à declividade predominante da área, as quais coletam o escoamento superficial que ocorre em sulcos de irrigação ou ao longo das linhas de plantio.

- ✓ Devem ser usadas em áreas planas que apresentam depressões rasas.
- ✓ As valetas são abertas com profundidades entre 15 e 50 cm, sendo construídas com taludes suaves, a fim de facilitar o tráfego de máquinas na área.
- ✓ O espaçamento entre os drenos depende da posição e da quantidade de depressões no terreno.



<https://blog.aegro.com.br/drenagem-do-solo-na-agricultura/>



Sistematização do terreno

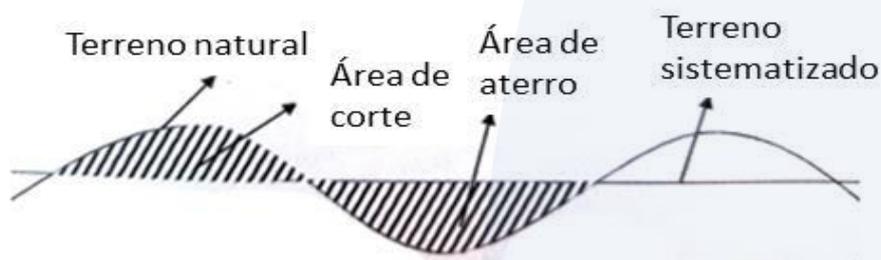
Consiste na técnica de escavar (cortar), transportar e aterrar o solo, ou simplesmente movê-lo e aplainá-lo, mudando a configuração original do terreno.

O objetivo da sistematização é tornar o terreno com declividades uniformes em uma ou duas direções, facilitando a infiltração e a drenagem das águas de superfície.

Na sistematização é indispensável a observação da altura de corte, respeitando a profundidade agricultável do solo.

A depender da extensão de irregularidade do terreno, os custos de movimentação do solo podem tornar a operação pouco recomendada economicamente.

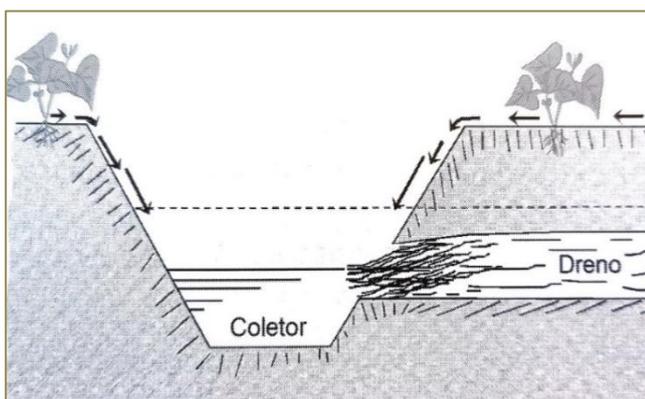
Trata-se de um serviço que exige conhecimentos de topografia e é executado a partir de métodos para um melhor ajuste de cortes e aterros (Método dos Quadrados Mínimos, Método do Centróide, ...).



<http://www.canaonline.com.br/conteudo/alcoolvale-sistematizacao-do-solo-e-realizada-visitando-a-safra-atual-e-a-proxima.html>

Drenos abertos

Para a drenagem superficial é comum a implantação de estruturas abertas (dreno tipo aberto). Emprega menos tecnologia e apresenta algumas vantagens e limitações..



Os drenos abertos podem operar com as funções de remoção da água na parcela drenada (dreno lateral) e como coletor para transporte da água para região fora do terreno ou conexão com o dreno principal.

Vantagens:

- ✓ Menor custo de instalação;
- ✓ Visualização direta de funcionamento;
- ✓ Exerce a função de drenagem superficial e subterrânea.

Desvantagens:

- ✓ Perda de área de plantio;
- ✓ Maior exigência de manutenção devido a ocorrência de desbarrancamento, assoreamento e presença de vegetação);
- ✓ Dificuldade para o tráfego de máquinas e implementos.

O formato trapezoidal predomina e suas dimensões tem relação direta com o tipo de solo, estabelecendo inclinações seguras das paredes laterais, evitando o desbarrancamento.



5.3. CONTROLE DE INUNDAÇÕES

Quando parte da água proveniente da chuva ou irrigação excessiva não se infiltra no solo, escoando sobre a superfície, há que ser removida por meio de uma estrutura hidráulica (canais) para região externa à área explorada. Em várias situações, comumente isso ocorre devido a drenagem natural não ser suficiente.

Igualmente, em função da situação topográfica, a interceptação desses escoamentos superficiais e a condução para pequenos cursos d'água que margeiam as baixadas do terreno, torna-se na maioria das vezes suficiente para a solução do problema de inundação e/ou acúmulo de água não desejada para a cultura.

Situação semelhante também ocorre nas proximidades de grande rios, que na época de chuvas causam inundações frequentes. No caso, devem ser protegidas por diques e canais de maior porte.

Situações comuns são facilmente visualizadas em áreas de baixada com contribuição de escoamento de regiões com declividade acentuada (encostas)



http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/jorge/downloads/APOSTILA/IT134%20Drenagem/drenagem_versao2.9.pdf

Vazão a ser eliminada

A estimativa da vazão do escoamento produzido pelas chuvas em determinada área é indispensável para o dimensionamento dos canais para remoção.

A fórmula racional, entre outras, estima a vazão máxima em uma área submetida a uma intensidade máxima de precipitação, com um determinado tempo de concentração.

A partir da vazão estimada, o dreno deverá ser projetado para receber e transportar as vazões que ocorrerem na área correspondente.

$$Q = \frac{C i A}{360}$$

Q – vazão máxima de escoamento, $m^3 s^{-1}$;

C – coeficiente de escoamento;

A – área de contribuição, ha;

i – intensidade máxima de chuva para um duração correspondente ao tempo de concentração da bacia, $mm h^{-1}$.

O tempo de concentração é o tempo transcorrido para que uma partícula de água se desloque do ponto mais remoto da bacia hidrográfica da bacia até a sua saída. Várias equações estão disponíveis na literatura, segundo as condições de estudo e aplicação.

| Declividade (%) | Tipo de solo | | |
|--------------------------|--------------|--------|----------|
| | Arenoso | Franco | Argiloso |
| Florestas | | | |
| 0 a 5 | 0,10 | 0,30 | 0,40 |
| 5 a 10 | 0,25 | 0,35 | 0,50 |
| 10 a 30 | 0,30 | 0,50 | 0,60 |
| Pastagens | | | |
| 0 a 5 | 0,10 | 0,30 | 0,40 |
| 5 a 10 | 0,15 | 0,35 | 0,55 |
| 10 a 30 | 0,20 | 0,40 | 0,60 |
| Terras cultivadas | | | |
| 0 a 5 | 0,30 | 0,50 | 0,60 |
| 5 a 10 | 0,40 | 0,60 | 0,70 |
| 10 a 30 | 0,50 | 0,70 | 0,80 |

Tabela 6. Valores de coeficientes de escoamento (C) em função das características dos solos (tipo de solo e declividade).

Equação de intensidade-duração-frequência de chuva

$$i = \frac{k T^a}{(t + b)^c}$$

- i – intensidade máxima de chuva, mm h⁻¹;
- k, a, b, c – parâmetros de ajustes, dependentes das condições climáticas da região de estudo;
- T – tempo de retorno, anos;
- t – tempo de duração da chuva, min.

Dimensionamento do dreno

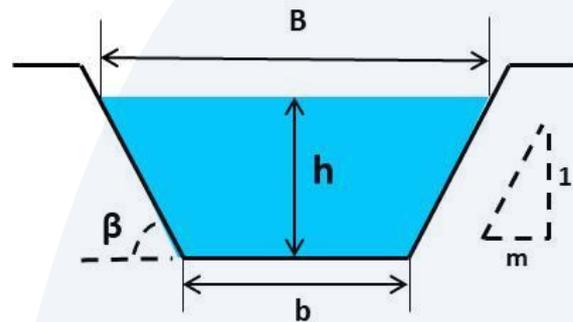
Quando for o caso de projetar o dreno coletor, este deve ser dimensionado para transportar todas as outras vazões que ocorrem na área: vazão da drenagem subterrânea, vazão decorrente do escoamento superficial, vazão do dreno de encosta e aquela proveniente de pequeno curso d’água ou dreno natural que percorre a área.

O dimensionamento atende aos critérios utilizados para canais abertos em terra, com geometria trapezoidal.



Parâmetros necessários para o dimensionamento do dreno (trapezoidal):

- ✓ Vazão a ser transportada, Q;
- ✓ Base maior do canal, B;
- ✓ Base menor do canal, b;
- ✓ Talude do canal, m;
- ✓ Rugosidade do canal, n;
- ✓ Declividade do canal, l.



A vazão (Q) pode ser estimada pela fórmula racional e, quando necessário considerar outras contribuições.

A base menor do canal (b) pode ter um valor atribuído.

O talude do canal (m) é atribuído em função do tipo de solo no qual o canal será construído.

A rugosidade (n) é dependente da equação a ser utilizada para determinação da velocidade da água no canal (Equação de Manning mais comumente utilizada).

Para que haja escoamento adequado, é necessário definir uma declividade do dreno (l). Por decisão do projeto, é importante observar a topografia e/ou regularidade do terreno, bem como o tipo de material.

A segurança do canal deve ser assegurada adotando-se uma borda livre capaz de evitar eventual transbordamento.

| Tipo de solo | Vel. Máxima (m s ⁻¹) | Coefficiente de Manning (n) | Inclinação do talude (m) |
|-----------------|----------------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| Arenoso | 0,30 - 0,70 | 0,030 - 0,040 | 3 : 1 |
| Franco-arenoso | 0,50 - 0,70 | 0,030 - 0,035 | 2,5 : 1 a 2,5 : 1 |
| Franco-argiloso | 0,60 - 0,90 | 0,03 | 1,5 : 1 a 2 : 1 |
| Argiloso | 0,90 - 1,50 | 0,025 - 0,030 | 1,1 a 2 : 1 |
| Cascalho | 0,90 - 1,50 | 0,030 - 0,035 | 1 : 1 a 1,5 : 1 |
| Rocha | 1,20 - 1,80 | 0,030 - 0,040 | 0,25 : 1 a 1 : 1 |

Tabela 7. Velocidade máxima de água no canal, coeficiente de Manning e inclinação de taludes em função do tipo de solo.

| Vazão do canal (m ³ /s) | Borda livre (m) |
|------------------------------------|-----------------|
| Até 0,39 | 0,20 - 0,30 |
| 0,40 a 0,69 | 0,30 - 0,50 |
| 0,70 - 0,99 | 0,60 - 0,80 |
| 1,00 - 2,99 | 0,70 - 0,80 |

Tabela 8. Borda livre de canais de acordo com a vazão a ser transportada.

Dimensionamento do dreno

Área de escoamento do canal

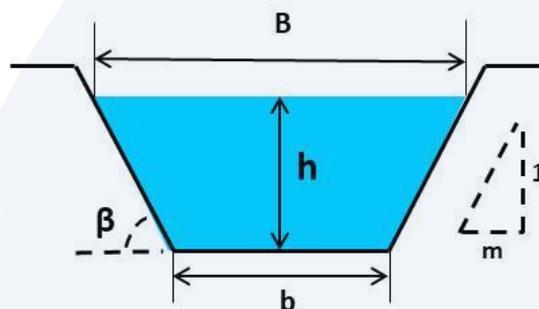
$$A = b h + m h^2$$

A – área ou seção de escoamento do canal (dreno), m²;

b – base menor do canal, m;

h – altura de água no canal, m;

m – talude do canal (cotangente).



Perímetro molhado e Raio hidráulico

$$P = b + 2 h \sqrt{m^2 + 1}$$

$$R_h = \frac{A}{P}$$

P – perímetro molhado, m;

R_h – raio hidráulico, m;

Velocidade de escoamento (Equação de Manning)

$$V = \frac{1}{n} R_h^{2/3} I^{1/2}$$

V – velocidade de escoamento, m s⁻¹;

n – coeficiente de rugosidade;

I – declividade do canal, m m⁻¹.

Indispensável observar a declividade do canal, visto que com o aumento da velocidade a vazão também aumenta. No caso de canal em terra ou não revestido, adotar a declividade adequada e recomendada.

Passo a passo:

1. Dados de entrada (Q, b, n, I)
2. Atribuir um valor de h (altura da água no dreno)
3. Estimar a velocidade da água pela equação de Manning
4. Calcular a vazão em função da velocidade estimada (Q = A V)
5. Comparar a vazão de projeto com a vazão calculada
 - a) Se a vazão de projeto = vazão calculada, o valor de h atribuído estará correto;
 - b) Caso contrário, o valor de h deverá ser ajustado (maior ou menor) até que a vazão calculada seja igual a vazão de projeto.

Outra alternativa de dimensionamento é fixar a carga hidráulica (h), ajustando-se a menor base (b) do dreno.

APLICAÇÃO

Um sistema de drenagem será dimensionado para escoar uma vazão de 120 L s^{-1} . Deseja-se que o escoamento se dê com uma carga de água de $0,30 \text{ m}$ no dreno coletor, escavado em solo franco-argiloso (coeficiente de Manning, $n = 0,030$). O terreno foi sistematizado com uma declividade no sentido do dreno de $0,4 \%$. O talude usado será de $1:1$ e a profundidade total do dreno deverá ser de $1,3 \text{ m}$.

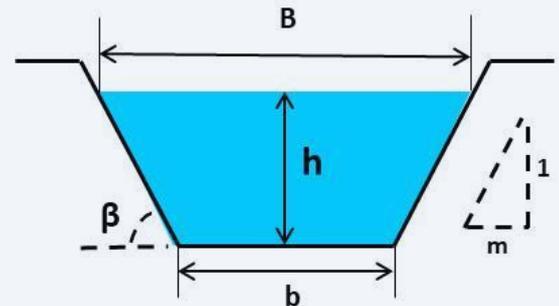
- ✓ Verificar se uma seção transversal de base igual a $0,20 \text{ m}$ terá essa capacidade.
- ✓ Caso contrário, proponha soluções.

$$Q = 120 \text{ L s}^{-1}$$

$$b = 0,20 \text{ m}$$

$$h = 0,30 \text{ m}$$

$$m = 1$$



Área de escoamento do canal

$$A = b h + m h^2$$

$$A = 0,2 \times 0,30 + 1,0 \times 0,3^2 \quad A = 0,15 \text{ m}^2$$

Perímetro molhado e Raio hidráulico

$$P_m = b + 2 h \sqrt{m^2 + 1}$$

$$P_m = 0,2 + 2 \times 0,3 \sqrt{1^2 + 1} = 1,05 \text{ m}$$

$$R_h = \frac{A}{P_m} = \frac{0,15}{1,05} = 0,14 \text{ m}$$

Velocidade de escoamento (Equação de Manning)

$$V = \frac{1}{n} R_h^{2/3} i^{1/2} \quad n = 0,030$$

$$i = 4/100 \text{ m}$$

$$V = \frac{1}{0,030} 0,14^{2/3} 0,004^{1/2} \quad V = 0,57 \text{ m s}^{-1}$$

Vazão calculada (Equação de continuidade)

$$Q = A V \quad Q = 0,15 \times 0,57 = 0,0855 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

$$Q_{\text{calc.}} = 85,5 \text{ L s}^{-1}$$



A seção de escoamento do dreno não é suficiente para escoar uma vazão de projeto de 120 L s^{-1} .

Ajustes/correção no dimensionamento:

- ✓ Aumentar a carga hidráulica (h);
- ✓ Aumentar a largura da base (b);
- ✓ Reduzir a inclinação das paredes (m).

A inclinação das paredes são fixadas em função do tipo de solo (evitar desbarrancamento). A carga hidráulica é definida considerando a margem de segurança para eventuais eventos extremos e menor desgaste das próprias paredes e fundo do canal devido ao fluxo.

A largura da base, normalmente, é mais conveniente de ajuste, mesmo tratando de escavação com uso de máquina especial com concha sob medidas.

Qualquer que seja a modificação para ajuste na configuração do canal, há que atender a segurança construtiva e operacional, com maior importância de canais de terra em terreno para agricultura.

No caso de ajuste na base menor no canal, o procedimento segue a mesma ordem de verificação.

Atribuindo um aumento no valor da base menor:

$$b = 0,35 \text{ m}$$

$$A = 0,195 \text{ m}^2$$

$$P = 1,20 \text{ m}$$

$$R_h = 0,16 \text{ m}$$

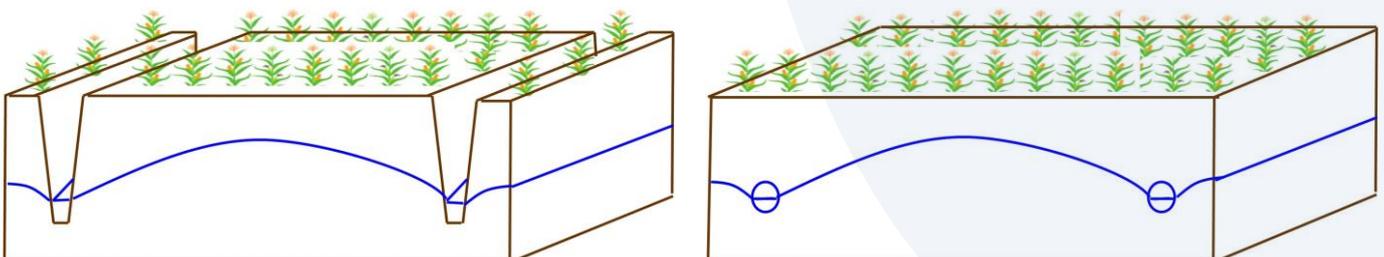
$$V = 0,63 \text{ m s}^{-1}$$

$$Q_{\text{calc.}} = 122,0 \text{ L s}^{-1}$$

Como a vazão calculada é ligeiramente superior a vazão de projeto, as dimensões do canal oferecem segurança ao escoamento.

6 DRENAGEM SUBTERRÂNEA

A drenagem subterrânea consiste em eliminar o excesso de água no perfil do solo e exercer um certo controle sobre a profundidade do lençol freático, permitindo um desenvolvimento normal das culturas.



No caso da drenagem subterrânea há predominância de estruturas hidráulicas para remoção da água no perfil do solo, instaladas no próprio perfil em profundidades adequadas para essa finalidade.



6.1 SISTEMAS DE DRENAGEM

Os sistemas, estruturas ou tipos de drenos para remoção de água do perfil do solo, são definidos levando em consideração diversos fatores de ordem técnica, agrônômica, operacional e econômica, devendo ser criteriosamente analisados.

1. Sistema aberto;
2. Sistema fechado;
3. Sistema semiaberto.

SISTEMA ABERTO: Toda a rede de drenos é construída em valas.

Vantagens:

- ✓ Baixo custo;
- ✓ Visualização direta do desempenho;
- ✓ Exerce função de drenagem superficial,

Desvantagens:

- ✓ Perda de área de plantio;
- ✓ Maior exigência de manutenção; (desbarrancamento, assoreamento, vegetação);
- ✓ Dificuldade para o tráfego de máquinas e implementos.



SISTEMA FECHADO: Toda a rede de drenos é constituída por tubos de drenos fechados e enterrados

Vantagens:

✓ Aproveitamento de toda a área.

Desvantagens:

✓ Elevado custo;

✓ Impossibilidade de visualização de obstruções;

✓ Difícil manutenção.



<https://www.drenotec.com.br/drenagem/drenagem-agricola/>



SISTEMA SEMI-ABERTO: Os drenos laterais são de perímetro fechado e os drenos coletores e principal são abertos.

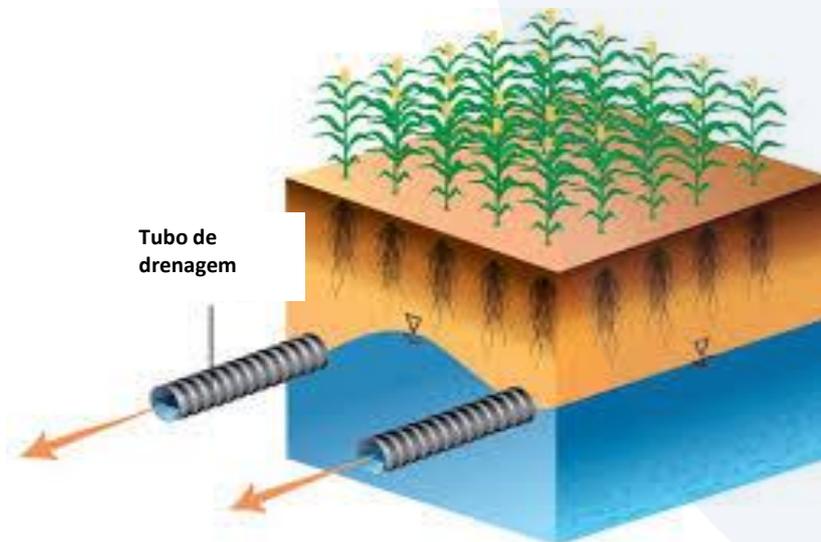
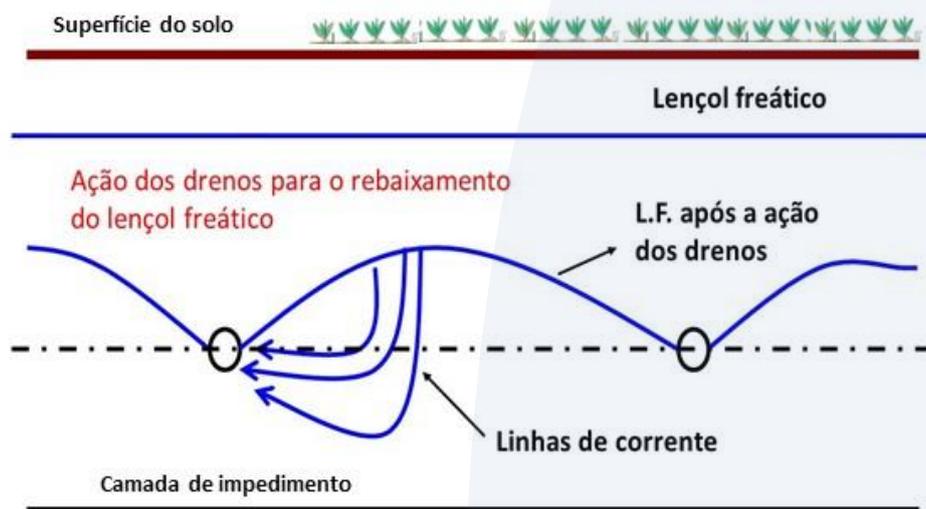
É o sistema que melhor se adapta à maioria das condições e situações de necessidade de drenagem, portanto, apresenta boa relação custo benefício e pode ser recomendado para maioria das situação de necessidade de drenagem.



6.2 MOVIMENTO DA ÁGUA PARA OS DRENOS

O movimento da água para os drenos ocorre segundo os princípios da hidrodinâmica de meios porosos. Linhas de fluxo são definidas de acordo com os potenciais de energia da água no solo.

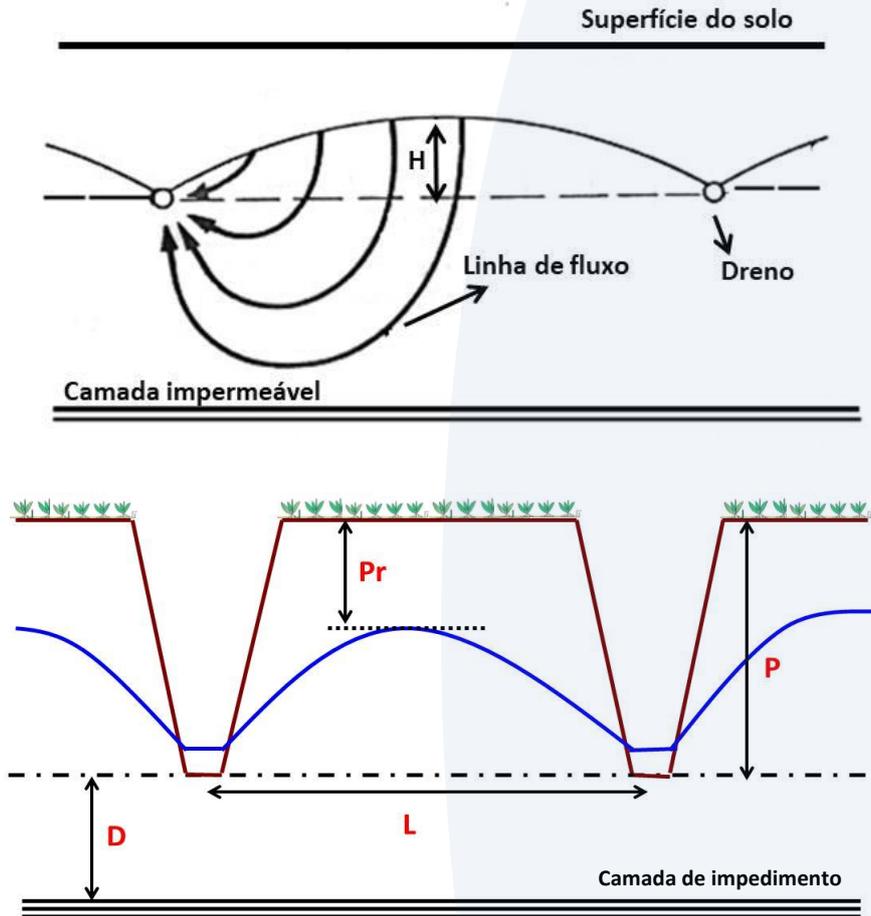
Visualmente, é fácil constatar que os drenos descrevem caminhos preferenciais para o escoamento da água.



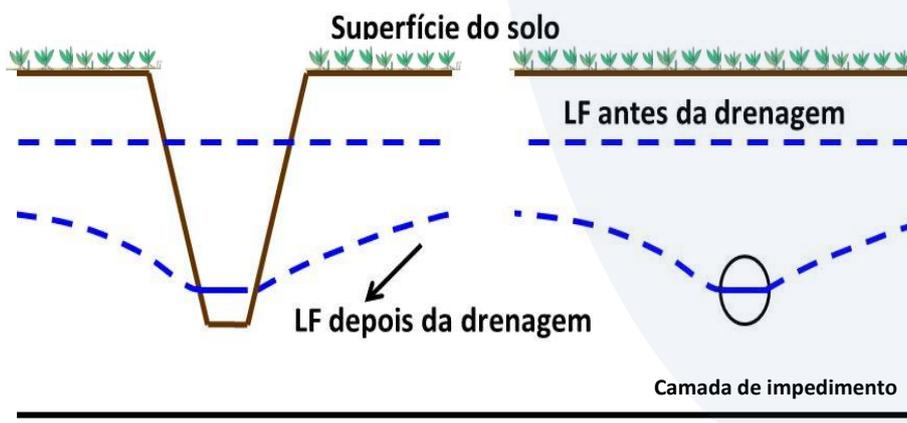
<https://www.canr.msu.edu/agriculture/uplo ads/files/agriculturaldrainage-2-2-18-web.pdf>

6.3 ESPAÇAMENTO E PROFUNDIDADE DOS DRENOS

Quando dois drenos são instalados em linhas paralelas, e na mesma profundidade, cada um exerce, separadamente, influência sobre o lençol até a metade do espaçamento entre os drenos. Nesse ponto, ocorre a menor distância da superfície do solo até ao lençol freático, profundidade considerada nas teorias de drenagem, e conseqüentemente nos planejamentos de drenagem.



- Pr – profundidade do sistema radicular / profundidade do LF;
- P – profundidade dos drenos;
- L – espaçamentos entre drenos;
- D – profundidade da camada de impedimento abaixo dos drenos.



A profundidade do dreno no dimensionamento de um sistema de drenagem é preestabelecida pelo projetista, correspondendo à profundidade mínima de instalação do dreno no campo, admitindo-se que a área tem uma superfície uniforme com certa declividade média.

Na maioria dos casos, a declividade dos drenos varia entre 0,1 e 0,5%, promovendo melhor escoamento.

| Tipo de solo | Cond. hidráulica (mm dia ⁻¹) | Espaç. entre drenos (m) | Profundidade dos drenos (m) |
|----------------|---------------------------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| Textura fina | < 1,5 | 10 a 20 | 1,0 a 1,5 |
| Textura média | 1,5 a 5,0 | 15 a 25 | 1,0 a 1,5 |
| | 5,0 a 20 | 20 a 35 | 1,0 a 1,5 |
| | 20,0 a 65,0 | 30 a 40 | 1,0 a 1,5 |
| Textura grossa | 65,0 a 125,0 | 30 a 70 | 1,0 a 2,0 |
| Turfa | 125,0 a 250,0 | 30 a 100 | 1,0 a 2,0 |

Tabela 9. Valores médios de profundidade e espaçamento de drenos de acordo com o tipo de solo.

No estabelecimento da profundidade do dreno deve-se considerar:

- ✓ A profundidade da camada impermeável do solo;
- ✓ A profundidade efetiva do sistema radicular da cultura;
- ✓ A cota do ponto de descarga da área a ser drenada;
- ✓ A profundidade máxima que a máquina consegue operar durante a instalação/abertura dos drenos.

Na maioria dos casos, a profundidade dos drenos varia entre 1,0 e 3,0 m.

Em regiões áridas e semiáridas, a profundidade dos drenos deve ser aquela que seja limitada por camadas de impedimento, uma vez que necessita-se de um balanço adequado de sais, por conseguinte drenos mais profundos.

6.4 REGIMES E EQUAÇÕES DE FLUXO

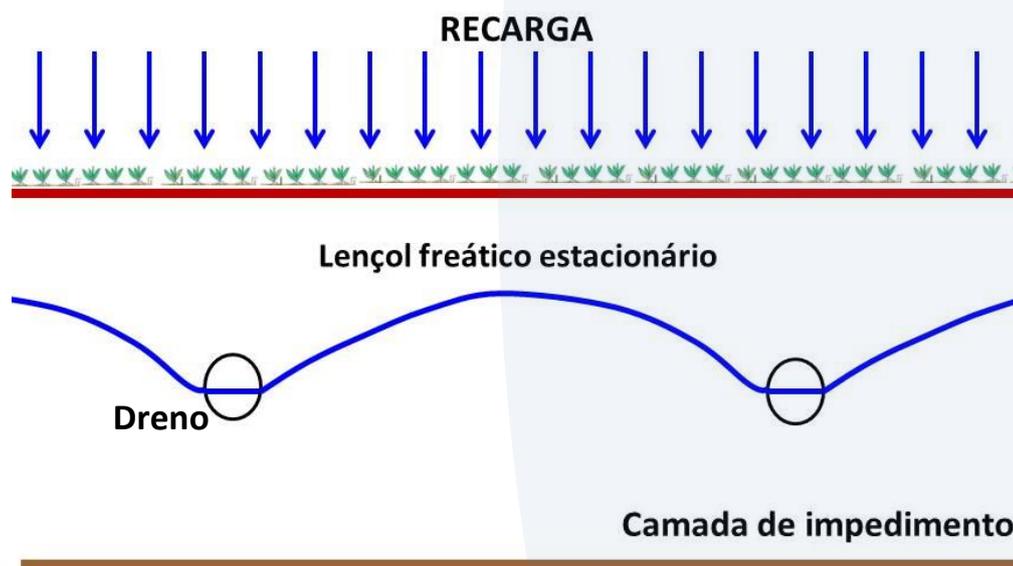
São dois os regimes de escoamento de água para os drenos:

- ✓ Regime permanente ou fluxo contínuo
- ✓ Regime variável

Regime permanente ou fluxo contínuo

Admite-se que o lençol freático se mantém estável no tempo numa profundidade. Isso ocorre quando a quantidade de água que chega ao lençol freático é igual àquela descarregada pelos drenos, situação caracterizada pela ocorrência de chuvas com baixa intensidade e longa duração.

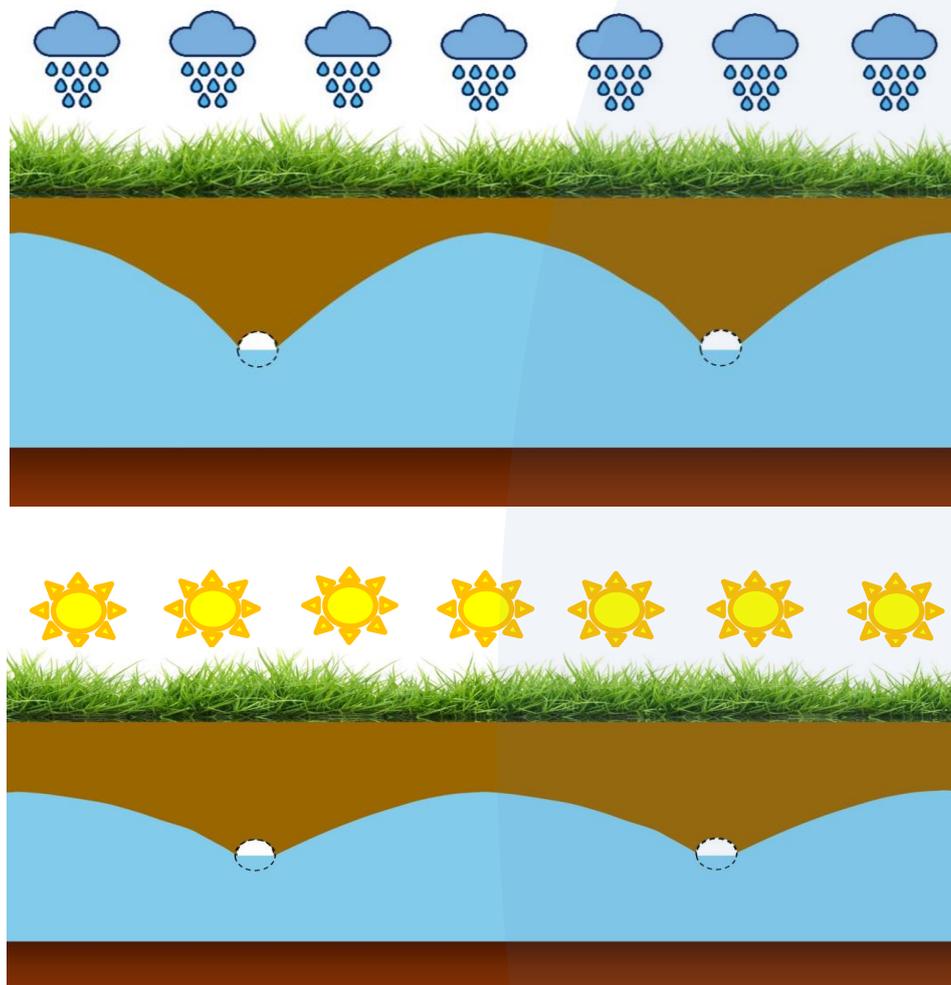
No caso de fluxo permanente (contínuo), se pode entender que a profundidade do lençol freático pouco se altera, visto que a quantidade de água descarregada pelo dreno corresponde ao aporte que chega ao lençol.



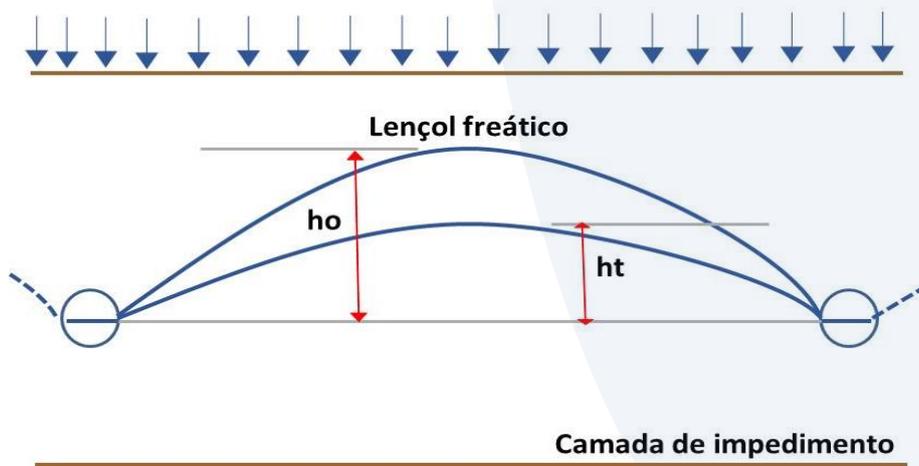
- ✓ Condição de fluxo permanente corresponde ao caso de uma recarga de intensidade constante, baixa e de longa duração;
- ✓ Evidentemente, este não é o caso de regimes pluviométricos de países de clima tropical, como o Brasil. Logo, equações de dimensionamento em condições de fluxo permanente não são aconselháveis para as nossas condições;
- ✓ O mesmo ocorre em condições de irrigação, onde o lençol freático, além de sofrer flutuações entre as irrigações, dificilmente se mantém a uma profundidade constante com o tempo, como estabelece o pressuposto do modelo (recarga uniformemente distribuída).

Regime variável ou fluxo variável

A posição do lençol freático se eleva em decorrência de chuva ou irrigação, ou desce quando cessam esses eventos. No Brasil, de maneira geral, as precipitações pluviais são de alta intensidade e curta duração, sendo a teoria do regime variável mais aplicável.



RECARGA (CHUVA INTENSA OU IRRIGAÇÃO)



h_o – altura inicial do LF entre os drenos

h_t – altura final do LF entre os drenos

6.5 EQUAÇÕES DE DRENAGEM PARA FLUXO CONTÍNUO

Admite-se que o lençol freático se mantém estável no tempo numa profundidade. Isso ocorre quando a quantidade de água que chega ao lençol freático é igual àquela descarregada pelos drenos.

Equação de Donann

$$L^2 = \frac{4 K_o (B^2 - D^2)}{R}$$

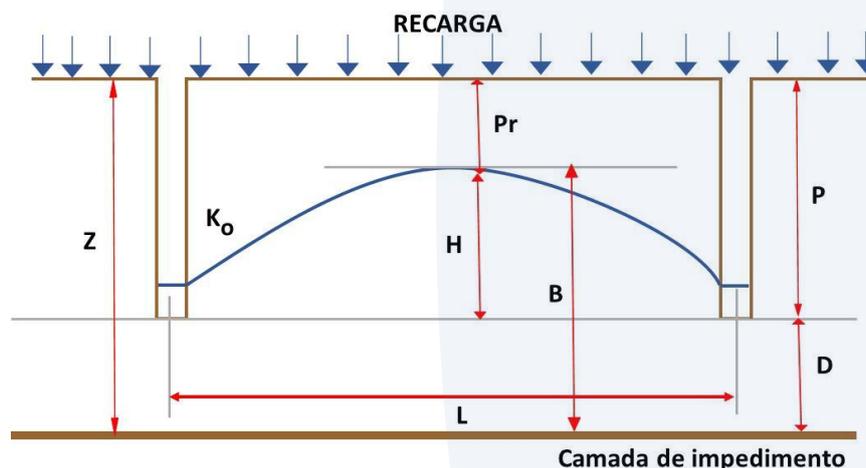
L – espaçamento entre os drenos, m;

K_o – condutividade hidráulica saturada, m dia⁻¹;

B – distância entre a altura do LF e a camada impermeável, m;

D – distância da superfície da água até a camada impermeável, m;

R – recarga ou quantidade de água a drenar, m dia⁻¹.



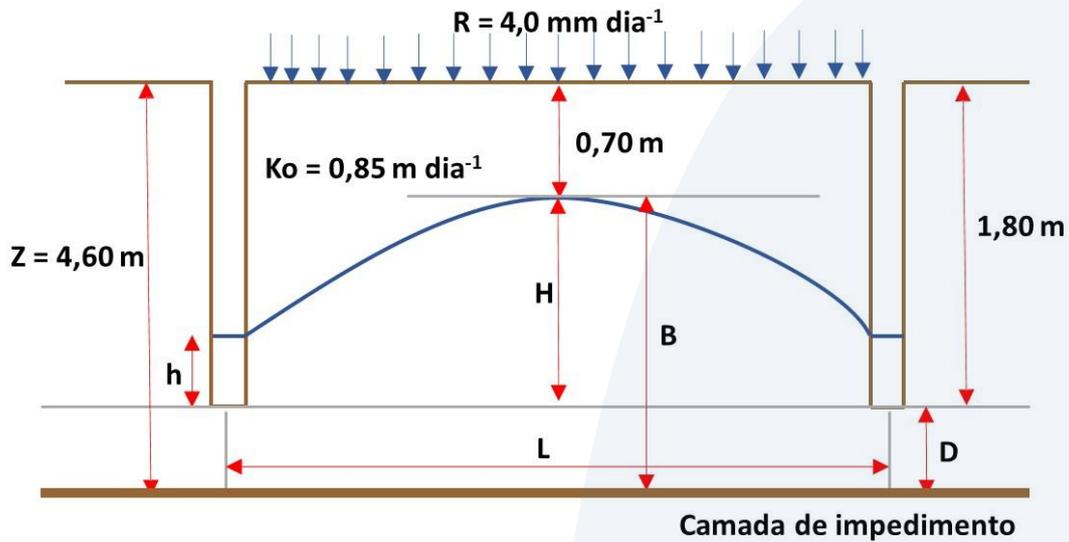
Pressupostos:

- ✓ O solo é homogêneo, de condutividade hidráulica K_o , e os drenos são paralelos e espaçados entre si;
- ✓ Há uma camada impermeável à uma profundidade vertical “D”, abaixo dos drenos;
- ✓ A recarga do lençol freático, isto é, a percolação “R” é constante.

APLICAÇÃO

Uma área irrigada deve ser drenada a uma profundidade de 1,80 m. O perfil do solo apresenta uma condutividade hidráulica de 0,85 m dia⁻¹ e a camada impermeável encontra-se na profundidade de 4,6 m. O sistema deve ser delineado de tal forma que, com uma recarga do excesso de água de irrigação que aumenta o L.F. em 4,0 mm dia⁻¹, o nível não ultrapasse 0,7 m da superfície.

a) Determinar o espaçamento entre os drenos.



$$R = 4,0 \text{ mm dia}^{-1}$$

$$K_o = 0,85 \text{ m dia}^{-1}$$

$$D = Z - P = 4,60 - 1,80 = 2,80 \text{ m}$$

$$B = Z - Pr = 4,60 - 0,70 = 3,90 \text{ m}$$

$$L^2 = \frac{4 K_o (B^2 - D^2)}{R}$$

$$L^2 = \frac{4 \times 0,85 (3,90^2 - 2,80^2)}{0,004} = 6264,5$$

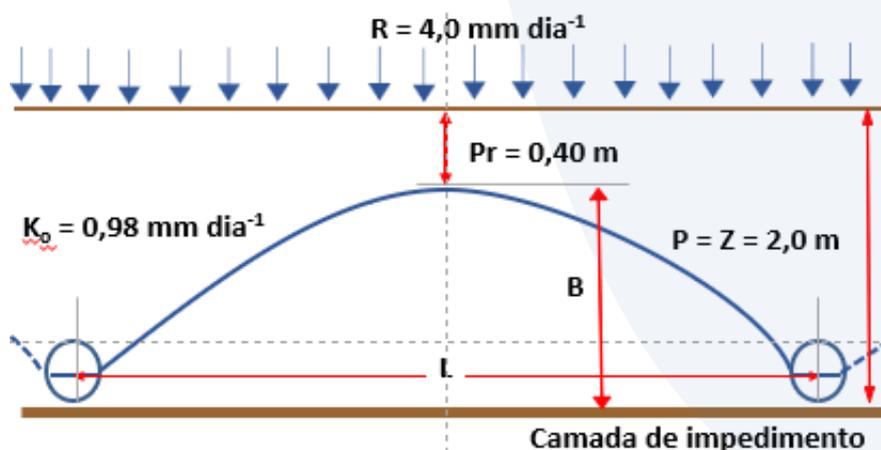
$$L = 79,14 \text{ m} \cong 80,0 \text{ m (entre drenos)}$$

Equação de Donann (drenos assentados sobre a camada de impedimento; $D = 0,0 \text{ m}$)

$$L^2 = \frac{4 K_o B^2}{R}$$

APLICAÇÃO

Após avaliação criteriosa do perfil do solo de uma área a ser drenada, identificou-se uma camada de impedimento na profundidade de 2,0 m. A condutividade hidráulica estimada foi de 0,98 m dia⁻¹. Determinar o espaçamento entre os drenos, instalados sobre a camada de impedimento, considerando que para uma recarga do excesso de água de irrigação que aumenta o L.F. em 4,0 mm dia⁻¹, o nível não ultrapasse 0,40 m da superfície.



$$R = 4,0 \text{ mm dia}^{-1}$$

$$K_o = 0,98 \text{ m dia}^{-1}$$

$$B = Z - Pr = 2,00 - 0,40 = 1,60 \text{ m}$$

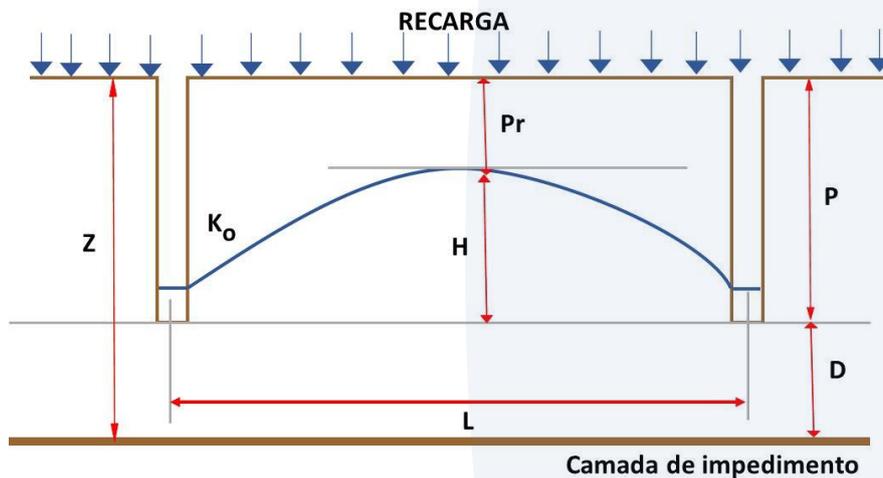
$$L^2 = \frac{4 \times 0,98 \times 1,60^2}{0,0040} = 2508,8$$

$$L \cong 50,0 \text{ m (entre drenos)}$$

Equação de Hooghoudt

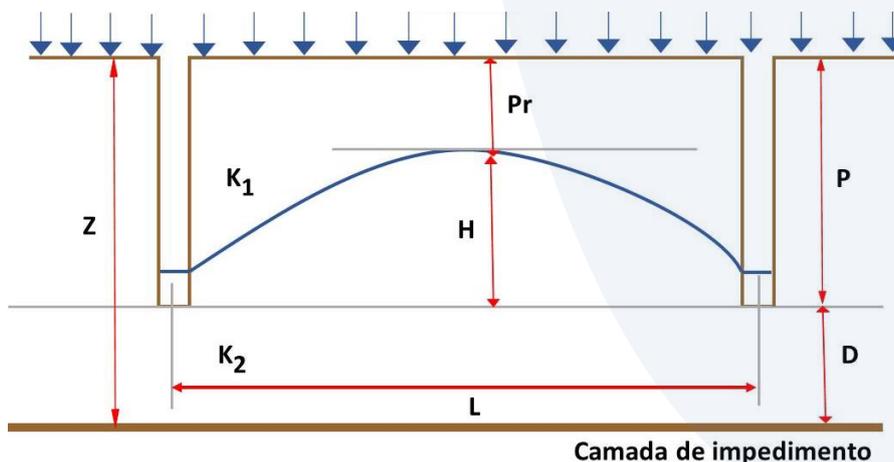
Utilizando as mesmas suposições de Donnan, esse modelo inclui, além do fluxo horizontal, o fluxo radial para os drenos.

$$L^2 = \frac{4 K_o (H^2 + 2HD)}{R} = \frac{4 K_o H^2}{R} + \frac{8 K_o H D}{R}$$



Considerando um solo estratificado em dois horizontes de condutividades K_1 e K_2 , com os drenos na interface dos dois horizontes:

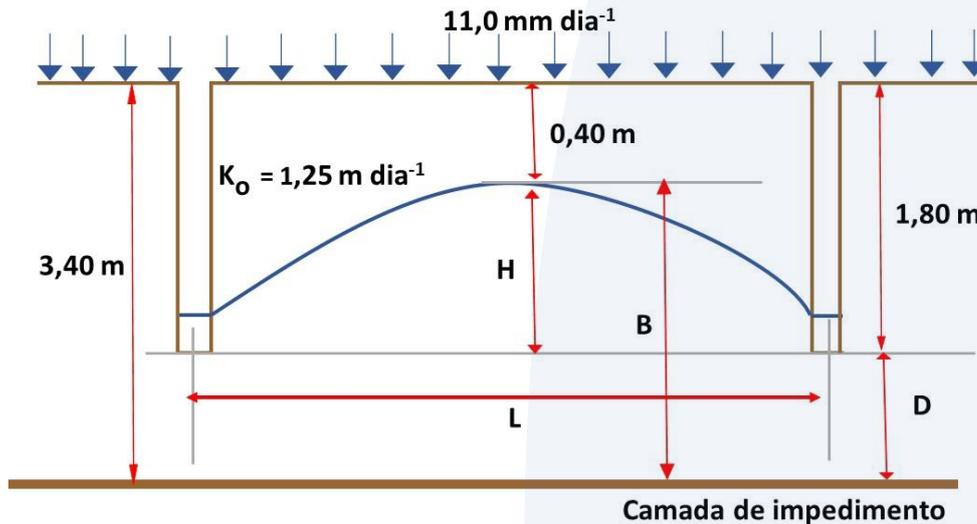
$$L^2 = \frac{4 K_1 H^2}{R} + \frac{8 K_2 H D}{R}$$



APLICAÇÃO

Uma área irrigada deve ser drenada a uma profundidade de 1,80 m. O perfil do solo apresenta uma condutividade hidráulica de 1,25 m dia⁻¹ e camada impermeável encontra-se na profundidade de 3,4 m. O sistema deve ser delineado de tal forma que, com uma recarga do excesso de água de irrigação que aumenta o L.F. em 11,0 mm dia⁻¹, o nível não ultrapasse 0,40 m da superfície.

a) Determinar o espaçamento entre os drenos.



$$R = 11,0 \text{ mm dia}^{-1}$$

$$K_o = 1,25 \text{ m dia}^{-1}$$

$$D = Z - P = 3,40 - 1,80 = 1,60 \text{ m}$$

$$H = Z - P_r = 1,80 - 0,40 = 1,40 \text{ m}$$

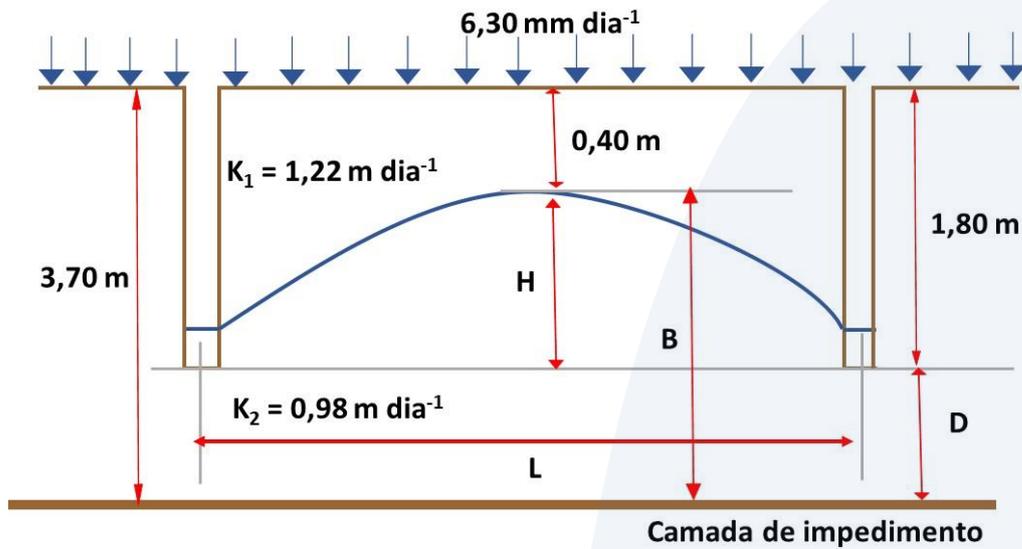
$$L^2 = \frac{4 K_o (H^2 + 2HD)}{R} = \frac{4 \times 1,25 (1,40^2 + 2 \times 1,40 \times 1,60)}{0,011} = 2927,27$$

$$L = 54,10 \text{ m} \cong 54,0 \text{ m (entre drenos)}$$

APLICAÇÃO

O solo apresenta um perfil estratificado com condutividades hidráulicas de 1,22 m dia⁻¹ na camada superior e 0,98 m dia⁻¹ na camada inferior. A camada impermeável encontra-se na profundidade de 3,7 m. O sistema deve ser delineado para uma recarga do excesso de água que aumenta o L.F. em 6,30 mm dia⁻¹. O nível do LF não deve ultrapassar 0,40 m da superfície.

a) Determinar o espaçamento entre os drenos.



$$R = 6,30 \text{ mm dia}^{-1}$$

$$K_1 = 1,22 \text{ m dia}^{-1}$$

$$K_2 = 0,98 \text{ m dia}^{-1}$$

$$D = Z - P = 3,70 - 1,80 = 1,90 \text{ m}$$

$$H = P - P_r = 1,80 - 0,40 = 1,40 \text{ m}$$

$$L^2 = \frac{4 K_1 H^2}{R} + \frac{8 K_2 H D}{R} = \frac{4 \times 1,22 \times 1,40^2}{0,0063} + \frac{8 \times 0,98 \times 1,40 \times 1,90}{0,0063} = 4828,44$$

$$L = 69,49 \text{ m} \cong 70,0 \text{ m (entre drenos)}$$

Equação de Hooghoudt – corrigida

Foi introduzido o conceito de “estrato equivalente ou camada equivalente”, reduzindo a profundidade “D” a um valor equivalente e menor “ d_e ”, tornando o fluxo essencialmente horizontal.

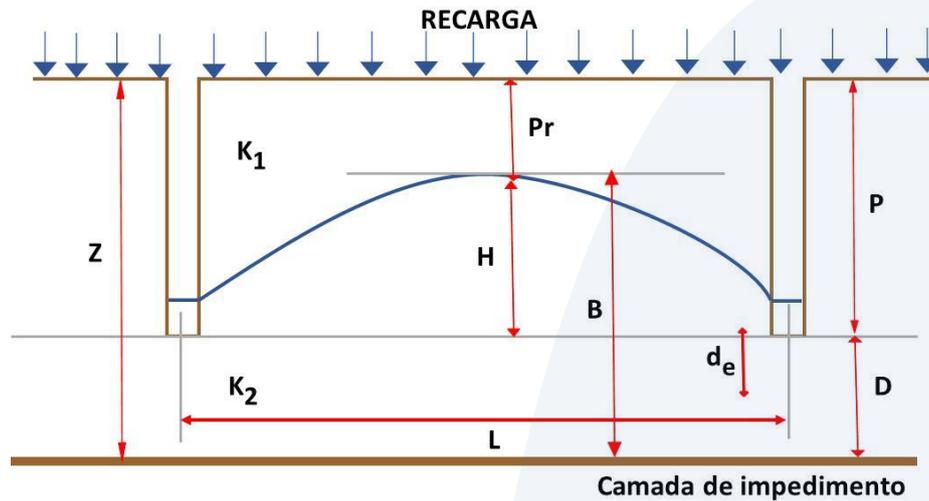
$$L^2 = \frac{4 K_1 H^2}{R} + \frac{8 K_2 H d_e}{R}$$

$$d_e = \frac{D}{2,55 \left(\frac{D}{L_{est}} \right) \ln \left(\frac{D}{P_m} \right) + 1}$$

L_{est} – espaçamento estimado, m;

P_m – perímetro molhado do dreno, m.

Nesse caso, a **determinação do espaçamento** entre os drenos ocorre **por tentativas**.



- ✓ Atribui-se um valor de “Lest” para determinação de “de”, uma vez também definido o perímetro molhado dos drenos;
- ✓ Com o valor de “de” é calculado o valor “L” pela equação;
- ✓ Esse procedimento se repete tantas vezes até que o valor de “L” se aproxime do valor de “Lest”.

Correção de van Beers

Para substituir o processo de tentativas para determinação da camada equivalente (d_e), van Beers propôs um fator de correção (C). O valor “L” final é subtraído desse fator.

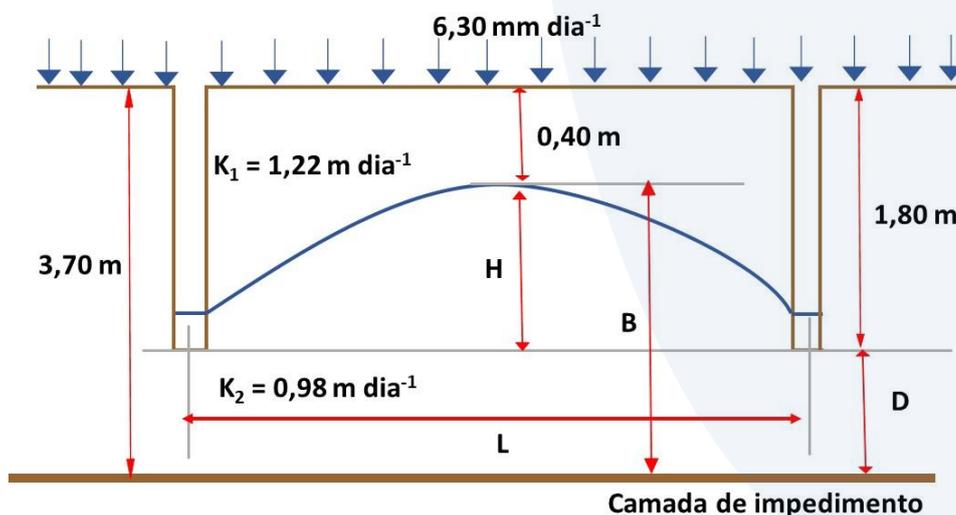
$$C = D \ln \left(\frac{P}{P_m} \right)$$

P_m – perímetro molhado do dreno, m.

APLICAÇÃO

O solo apresenta um perfil estratificado com condutividades hidráulicas de $1,22 \text{ m dia}^{-1}$ na camada superior e $0,98 \text{ m dia}^{-1}$ na camada inferior. A camada impermeável encontra-se à $3,7 \text{ m}$. O sistema deve ser delineado para uma recarga do excesso de água que aumenta o L.F. em $6,30 \text{ mm dia}^{-1}$. O nível do LF não deve ultrapassar $0,40 \text{ m}$ da superfície.

a) Determinar o espaçamento entre os drenos, instalados à $1,80 \text{ m}$, sendo esses com diâmetro de 150 mm e seção de escoamento pela metade.



$$L^2 = \frac{4 K_1 H^2}{R} + \frac{8 K_2 H D}{R} = \frac{4 \times 1,22 \times 1,40^2}{0,0063} + \frac{8 \times 0,98 \times 1,40 \times 1,90}{0,0063} = 4828,44$$

$$L \cong 69,50 \text{ m}$$

Correção de van Beers (Tubo – diâmetro = 150 mm; seção de escoamento pela metade):

$$C = D \ln \left(\frac{P}{P_m} \right) = 1,6 \ln \left(\frac{1,8}{\pi 0,15} \right) = 2,14 \text{ m} \quad L' = 69,50 - 2,14 \cong 67,40 \text{ m}$$

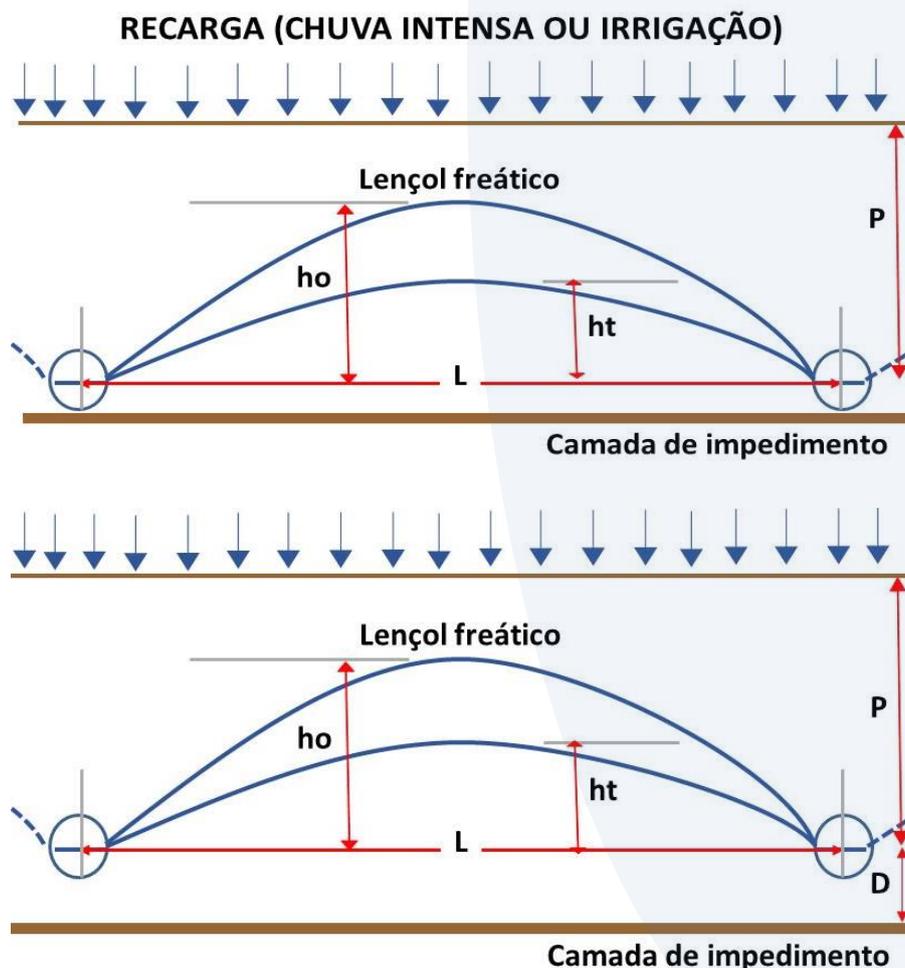
6.6 EQUAÇÕES DE DRENAGEM PARA FLUXO VARIÁVEL

A posição do lençol freático se eleva em decorrência de chuva ou irrigação, ou desce quando cessam esses eventos. Em condições de precipitações pluviais de alta intensidade e curta duração, a teoria do regime variável é mais aplicável.

Assim como no regime permanente, são várias as equações desenvolvidas.

São duas as condições apresentadas para a estimativa do espaçamento entre drenos:

- ✓ Drenos sobre a camada de impedimento;
- ✓ Drenos afastados da camada de impedimento.



h_0 – altura inicial do LF entre os drenos;

h_t – altura final do LF entre os drenos.

Equação de Boussinesq-Glover

Desenvolvida para a condição de “barreira rasa”, considerando apenas movimento horizontal em direção aos drenos.

$$L^2 = \frac{9 K_o t}{2 \alpha} \left[\frac{h_o h_t}{(h_o - h_t)} \right]$$

L – espaçamento entre os drenos, m;

K_o – condutividade hidráulica do solo saturado, m dia⁻¹;

t – tempo necessário para o rebaixamento do LF, dias;

α – porosidade drenável do solo, decimal;

h_o – altura do LF, sobre a camada de impedimento, logo após a recarga, m;

h_t – altura do LF após passados “t” dias, m.

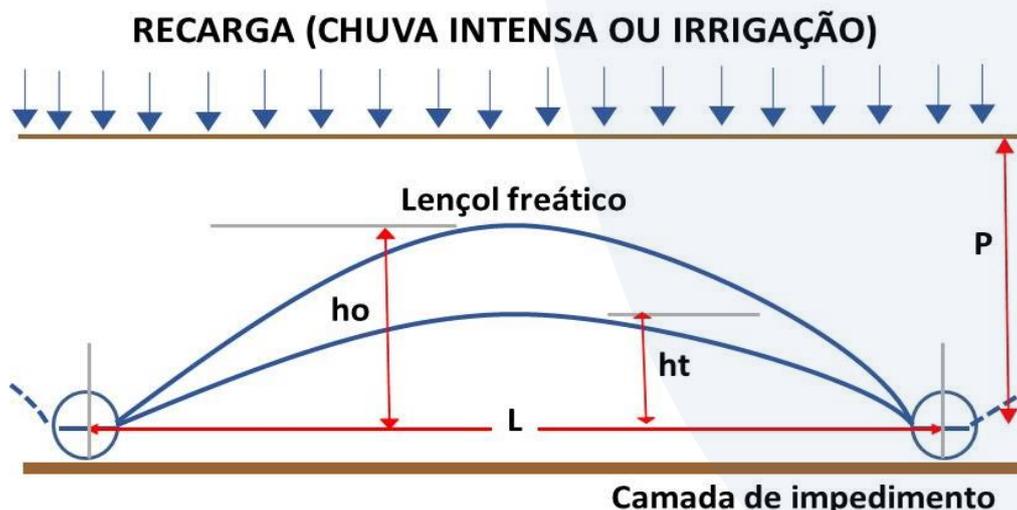
APLICAÇÃO

- ✓ Camada rochosa: 1,10 m de profundidade;
- ✓ Condutividade hidráulica do solo saturado: 0,45 m dia⁻¹;
- ✓ Tempo necessário para o rebaixamento do LF: 15 dias;
- ✓ Porosidade drenável do solo: 7%;
- ✓ Coeficiente de escoamento do solo: 0,50;
- ✓ Equação de chuva intensa da região:

$$i = \frac{1436,743 T^{0,125}}{(t + 24,980)^{0,781}}$$

i – intensidade da chuva, mm h⁻¹;
 T – tempo de retorno, anos;
 t – duração da chuva, minutos.

- ✓ Considerar uma chuva com duração de 6 horas e tempo de retorno de 5 anos;
 - ✓ Altura do LF após rebaixamento: 50 cm.
- a) Determinar o espaçamento entre os drenos.



Para uma com duração de 6hs e tempo de retorno de 5 anos:

$$i = \frac{1436,743 (5)^{0,125}}{(360 + 24,980)^{0,781}} = 16,8 \text{ mm h}^{-1}$$

- ✓ Total precipitado = $16,8 \text{ mm h}^{-1} \times 6 \text{ horas} = 100,8 \text{ mm}$;
- ✓ Considerando um coeficiente de escoamento de 0,50, a quantidade infiltrada corresponde a 50,4 mm;
- ✓ Para uma porosidade drenável de 7%, a infiltração de água equivale a uma altura de 72,0 mm de água;
- ✓ Para um altura do LF de 50 cm entre os drenos, a altura de água após a chuva ultrapassa 1,10 m de profundidade do solo até a camada impermeável;
- ✓ Assim, o LF aflorou a superfície: $h_o = 1,10 \text{ m}$ e o excedente dever ser drenado superficialmente.

$$K_o = 0,45 \text{ m dia}^{-1}$$

$$t = 15 \text{ dias}$$

$$\alpha = 0,07$$

$$h_o = 1,10 \text{ m}$$

$$h_t = 0,50 \text{ m}$$

$$L^2 = \frac{9 \times 0,45 \times 15}{2 \times 0,07} \left[\frac{1,10 \times 0,50}{(1,10 - 0,50)} \right] = 397,77$$

$$L \cong 20,0 \text{ m}$$

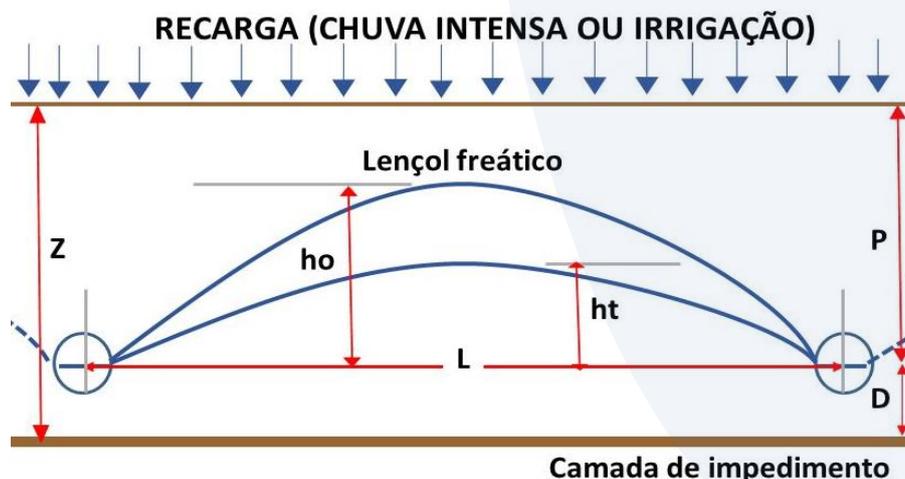
Verificar a viabilidade técnica e econômica de drenos nesse espaçamento.

Equação de Glover-Dumm

Desenvolvida para a condição de drenos afastados da camada de impedimento, portanto, devendo ser utilizada a correção de van Beers ou o conceito de camada equivalente.

$$L^2 = \frac{\pi^2 K_o D t}{\alpha \ln \left(1,16 \frac{h_o}{h_t} \right)}$$

D – distância entre o fundo do dreno e a camada de impedimento, m.



APLICAÇÃO

- ✓ Camada rochosa: 3,30 m de profundidade;
- ✓ Condutividade hidráulica do solo saturado: 0,45 m dia⁻¹;
- ✓ Tempo necessário para o rebaixamento do LF: 15 dias;
- ✓ Porosidade drenável do solo: 7%;
- ✓ Coeficiente de escoamento do solo: 0,50;
- ✓ Equação de chuva intensa da região:

$$i = \frac{1436,743 T^{0,125}}{(t + 24,980)^{0,781}}$$

i – intensidade da chuva, mm h⁻¹;
T – tempo de retorno, anos;
t – duração da chuva, minutos.

- ✓ Considerar uma chuva com duração de 6 horas e tempo de retorno de 5 anos;
- ✓ Altura do LF após rebaixamento: 50 cm;
- ✓ Drenos instalados à 1,50 m.

a) Determinar o espaçamento entre os drenos.

$$K_o = 0,45 \text{ m dia}^{-1}$$

$$t = 15 \text{ dias}$$

$$\alpha = 0,07$$

$$h_o = 1,47 \text{ m}$$

$$h_t = 0,90 \text{ m}$$

$$D = 3,30 - 1,50 = 1,80 \text{ m}$$

$$L^2 = \frac{\pi^2 \times 0,45 \times 1,80 \times 15}{0,07 \ln \left(1,16 \frac{1,47}{0,90} \right)} = 2680,70$$

$$L = 51,77 \text{ m}$$

(Tubo: diâmetro de 150 mm e seção de escoamento pela metade)

$$C = D \ln \left(\frac{P}{P_m} \right) = D \ln \left(\frac{P}{\pi r} \right) = 1,8 \ln \left(\frac{1,50}{\pi 0,15} \right) = 2,08 \text{ m}$$

$$L' = 51,77 - 2,08 \cong 50,0 \text{ m}$$

Equação de Schilfgaarde

Também desenvolvida para descargas instantâneas e drenos afastados da camada de impedimento, não é tão popular quanto a equação de Glover-Dumm; deve ser utilizada a correção de Van Beers ou o conceito de camada equivalente.

$$L^2 = \frac{9 K_o D t}{\alpha \ln \left[\frac{h_o (2D + h_t)}{h_t (2D + h_o)} \right]}$$

APLICAÇÃO

Determinar o espaçamento entre os drenos para a condição anterior, utilizando a equação de Schilfgaarde.

$$K_o = 0,45 \text{ m dia}^{-1}$$

$$t = 15 \text{ dias}$$

$$\alpha = 0,07$$

$$h_o = 1,47 \text{ m}$$

$$h_t = 0,90$$

$$D = 1,80 \text{ m}$$

$$L^2 = \frac{9 \times 0,45 \times 1,80 \times 15}{0,07 \ln \left[\frac{1,47 (2 \times 1,80 + 0,90)}{0,90 (2 \times 1,80 + 1,47)} \right]} = 4206,55$$

$$L = 64,85 \text{ m}$$

(Tubo: diâmetro de 150 mm e seção de escoamento pela metade)

$$C = D \ln \left(\frac{P}{P_m} \right) = D \ln \left(\frac{P}{\pi r} \right) = 1,8 \ln \left(\frac{1,50}{\pi 0,15} \right) = 2,08 \text{ m}$$

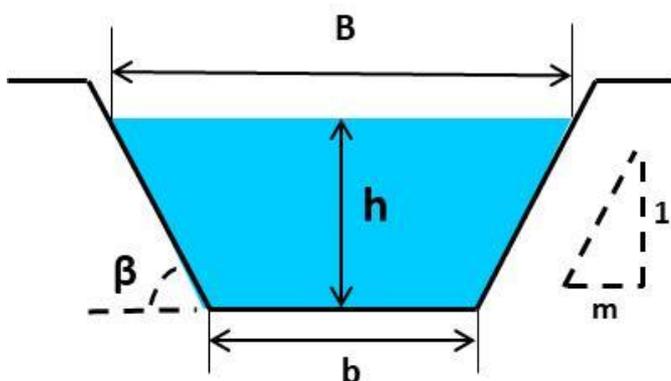
$$L' = 64,85 - 2,08 \cong 63,0 \text{ m}$$

6.7 DIMENSIONAMENTO DE DRENOS

Drenos abertos

Nesse caso a seção transversal é sempre suficiente para transportar a vazão subterrânea escoada, que não ultrapassa poucos litros por segundo.

A profundidade sempre é pré-definida e adotam-se todos os critérios técnicos para a adoção adequada da inclinação dos taludes. O fator econômico da operação de abertura das valas também é importante.



Drenos fechados

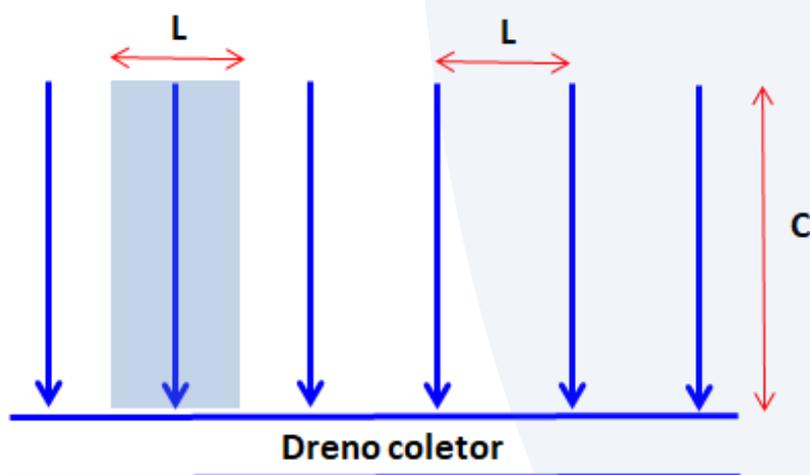
Quando a opção é pelo uso de drenos tubulares, é possível uma avaliação cuidadosa de forma a se obter economia na escolha do diâmetro comercial.

Nesse caso, sempre é necessário, inicialmente, estimar a vazão que estará sendo transportada.



Estimativa da vazão subterrânea

Há que levar em consideração a área de contribuição resultante da disposição em campo dos drenos paralelos entre si e espaçados de acordo com os critérios adotados.



L – espaçamento, m;
C – comprimento, m.

Área de contribuição para cada dreno lateral instalado = $L \times C$ (m²).

Regime permanente

Quando nessa condição de regime permanente, com a área sob recarga, a vazão escoada por cada dreno será o produto da área de contribuição ($L \times C$) pela recarga (R). Smedema & Rycroft (1983) sugerem o uso de um coeficiente de segurança de 30%.

$$Q = 1,30 \left(\frac{L \times C \times R}{24 \times 3600} \right)$$

Q – vazão do dreno, e, regime permanente, $m^3 s^{-1}$;

L – espaçamento entre drenos, m;

C – comprimento do dreno, m;

R – recarga constante, $mm \text{ dia}^{-1}$.

Regime variável

Nesse caso tem-se que a vazão decresce à medida que a carga hidráulica diminui de h_0 para h_t , ao longo de “ t ” dias.

É comum adotar uma vazão média ao longo de “ t ” dias.

$$Q = \frac{(h_0 - h_t) \alpha \times L \times C}{t \times 24 \times 3600}$$

Q – vazão média escoada pelo do dreno, $m^3 s^{-1}$;

h_0 – altura do LF, sobre a camada de impedimento, logo após a recarga, m;

h_t – altura do LF após passado “ t ” dias, m.

α – porosidade drenável do solo, decimal;

t – tempo necessário para o rebaixamento do LF, dias;

L – espaçamento entre drenos, m;

C – comprimento do dreno, m.

Cálculo do diâmetro do dreno tubular

Uma vez conhecendo-se a vazão a ser drenada, o diâmetro do tubo pode ser determinado a partir da equação de Manning (modificada), assumindo uma seção circular parcialmente cheia.

$$D = \left(\frac{Q n}{k l 0,5} \right)^{0,375}$$

D – diâmetro teórico do dreno tubular, m;

Q – vazão média escoada pelo do dreno, $m^3 s^{-1}$;

n – coeficiente de rugosidade de Manning;

k – coeficiente que depende da relação entre a lâmina de água no dreno e o diâmetro (y/D);

l – declividade de assentamento do dreno, $m m^{-1}$.

| Material do tubo | Coefficiente "n" de Manning |
|------------------------------|-----------------------------|
| Concreto sem acabamento | 0,014 - 0,016 |
| Manilhas de argila | 0,012 - 0,015 |
| PVC ou polietileno liso | 0,009 - 0,011 |
| PVC ou polietileno corrugado | 0,015 - 0,017 |

Tabela 10. Valores usuais do coeficiente de rugosidade de Manning "n" para drenos tubulares.

| Y/D | k |
|-----|-------|
| 0,5 | 0,156 |
| 0,6 | 0,209 |
| 0,7 | 0,260 |
| 0,8 | 0,304 |
| 0,9 | 0,331 |
| 1,0 | 0,334 |
| 1,0 | 0,311 |

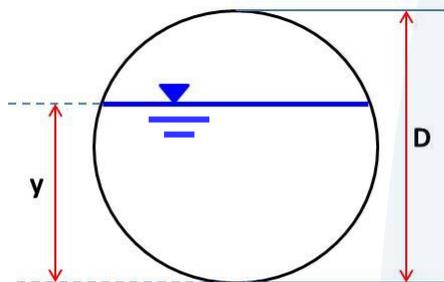


Tabela 11. Valores do coeficiente "k" para uso da equação de Manning modificada, aplicada a seções circulares parcialmente cheias.

APLICAÇÃO

Para uma área a ser drenada, sob condição de regime permanente e com recarga de 4,0 mm dia⁻¹, drenos espaçados de 70,0 m serão instalados com comprimento de 200,0 m. O terreno apresenta declividade de 3 por mil. A opção foi por tubos de polietileno corrugado (coeficiente de Manning, n = 0,016) com fator k = 0,209 (relação lâmina de água e diâmetro do tubo – Y/D = 0,6).

a) Determinar a vazão a ser drenada (escoada) e o diâmetro dos drenos.

$$Q = 1,30 \left(\frac{L \times C \times R}{24 \times 3600} \right) = 1,30 \left(\frac{70,0 \times 200,0 \times 0,004}{24 \times 3600} \right)$$

$$Q = 8,426 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

$$D = \left(\frac{Q \cdot n}{k \cdot 10,5} \right)^{0,375} = \left(\frac{0,0008426 \times 0,016}{0,209 \times 0,003 \cdot 0,5} \right)^{0,375}$$

$$D = 0,0797 \text{ m } (\cong 80,0 \text{ mm})$$

Comercialmente há disponibilidade de tubo corrugado de polietileno para drenagem com diâmetro nominal de 65, 110 e 160 mm. Portanto, tubo de 110 mm (diâmetro interno de 96 mm), será suficiente para assegurar o escoamento da vazão subterrânea prevista.



6.8 MATERIAIS DE DRENAGEM

São vários os tipos de materiais utilizados para drenagem, desde a construção de dutos (caminhos preferenciais para a água) de pedras, tijolos, bambu, cerâmicas, PVC.

Os materiais mais recentemente desenvolvidos apresentam durabilidade e flexibilidade para assentamento em curva e desnível, sem comprometimento da operação e funcionalidade.

O dreno deve apresentar espaços ou furos que permitam facilmente a entrada da água e sua condução para os pontos de descarga. Ao seu entorno são usados materiais filtrantes para evitar a deposição de solo, argila e detritos que resultem em impedimento ao escoamento (ex. assoreamento).



https://techduto.com.br/wp-content/uploads/2017/05/techduto_agro.pdf



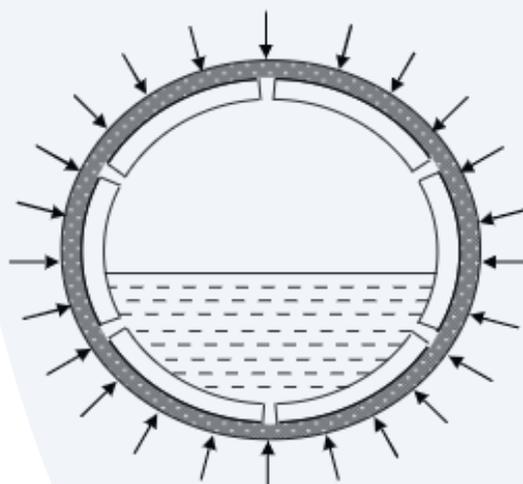
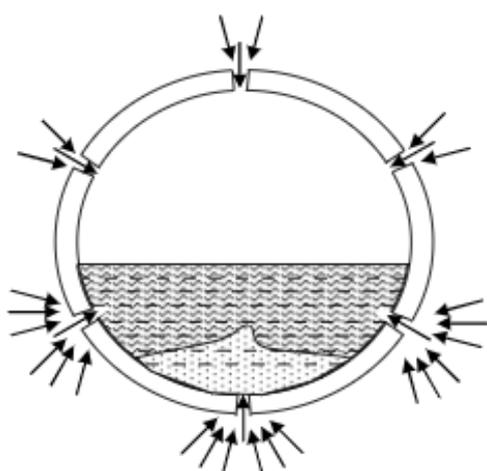
<https://www.ntcbrasil.com.br/tubo-dreno-pead-corrugado-para-drenagem/>

Instalação de drenos

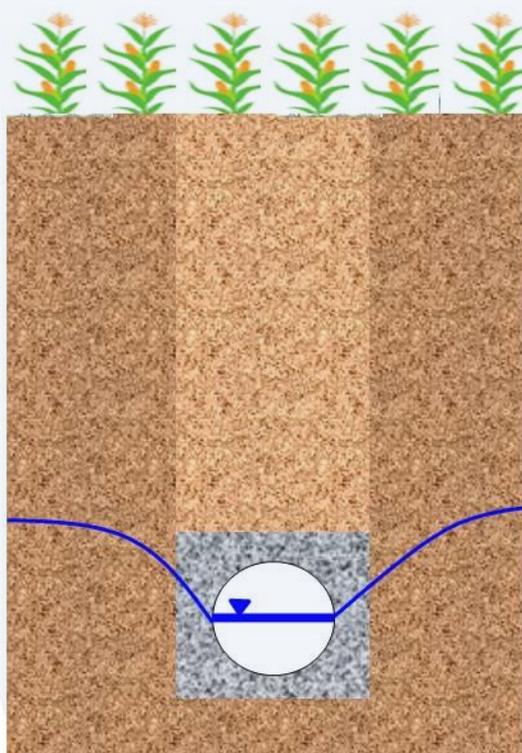
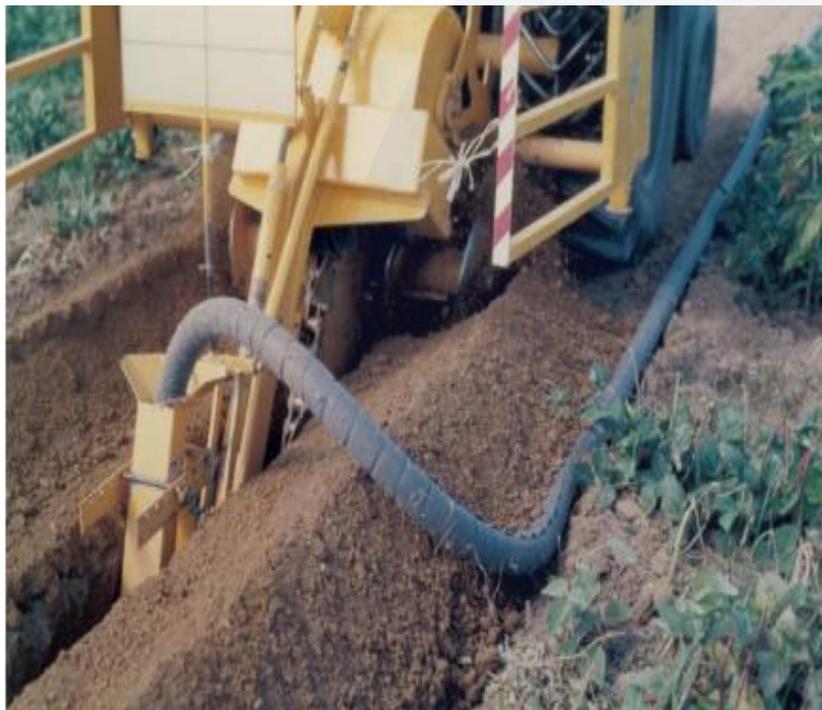
Os drenos são instalados em sua maioria com uso de maquinários, principalmente em áreas de maior dimensão e amplitude do projeto desenvolvido.



<http://docplayer.com.br/67974762-Execucao-de-drenagem-agricola-com-geotextil-bidim-como-envoltorio-dos-tubos-drenos-nos-projetos-de-irrigacao-manicoba-e-curaca-da-codevasf.html>



<http://docplayer.com.br/67974762-Execucao-de-drenagem-agricola-com-geotextil-bidim-como-envoltorio-dos-tubos-drenos-nos-projetos-de-irrigacao-manicoba-e-curaca-da-codevasf.html>



7 SALINIDADE DO SOLO

A salinização do solo, como o próprio nome indica, é o processo de acúmulo de sais minerais na forma de íons (Na^+ e Cl^-) nos solos ocasionando a sua improdutividade. Os sais minerais ficam acumulados, geralmente, em razão da evaporação da água que cobre a superfície. O processo de salinização do solo é muito comum em áreas áridas ou semiáridas, que geralmente também são propensas a apresentar desertificação. Isso significa que em todas as regiões que apresentam climas nos quais a evaporação é maior do que a precipitação, é necessário ter cuidado no manejo dos recursos hídricos.

7.1 A ORIGEM DOS SAIS

O problema da salinização dos solos agricultáveis acompanha a humanidade desde tempos remotos. Os livros de História citam o caso da civilização dos Sumérios, que ocupavam a antiga Mesopotâmia (atual Iraque), e que salinizaram as terras ao longo do rio Eufrates devido ao fato de manejarem mal a irrigação. Esse tipo de problema perdura até hoje: estima-se que cerca de 20% da área irrigada no mundo esteja de alguma forma salinizada; no semiárido brasileiro também há problemas dessa ordem de grandeza.



A salinização pode ser um processo pedogenético natural do solo (*salinização primária*) ou um processo causado pela ação do Homem (*salinização secundária*).

1. Salinização primária
2. Salinização secundária: elevação do lençol freático
3. Salinização secundária: irrigação sem lixiviação
4. Salinização secundária: irrigação com água salina



Salinização primária

A salinização primária pode ser originada da intrusão marinha, da ação de ventos ou da presença de lençol freático raso em zonas árida ou semiárida; este último processo parece ser o mais frequente. Em zonas úmidas, à medida que o material rochoso vai sendo intemperizado durante a formação do solo, o perfil é intensamente lixiviado; os sais se deslocam para a zona saturada e de lá para os rios que correm para o mar. Já em regiões semiáridas, como a lixiviação é menos intensa, os sais se acumulam na zona saturada que ocupa a parte mais baixa da topossequência. Quando o lençol freático está raso, ocorre fluxo ascendente (ou capilar) em direção à superfície; a água evapora e os sais salinizam as camadas mais rasas do perfil. Esse fenômeno é possível porque, nessas regiões, a evapotranspiração potencial é maior que a precipitação pluvial.

Salinização secundária

O principal processo de salinização secundária se deve à irrigação realizada com perdas excessivas por percolação profunda e ausência de drenagem. Esse problema ocorre principalmente quando se irriga por sulcos ou por inundação, em solos com camada de impedimento rasa. Nesse caso, com o passar dos anos, o lençol freático vai subindo e, quando atinge cerca de 1 a 2 m de profundidade, inicia-se o fluxo ascendente em direção à superfície, salinizando-a.

7.2 CARACTERIZAÇÃO DA SALINIZAÇÃO

Os inconvenientes da salinização dos solos agrícolas podem ser divididos em três problemas básicos: excesso de sais na solução do solo, excesso de sódio trocável nas micelas e excesso de íons tóxicos.

Quando a solução do solo apresenta excesso de sais, o potencial osmótico desta diminui e a planta tende a apresentar dificuldade na absorção de água pelas raízes. Quando esse problema é ligeiro, sua constatação é difícil, exigindo que a produtividade da cultura seja comparada ano a ano, para caracterizar o decréscimo. Entretanto, quando o problema é severo, as plantas não se desenvolvem a contento, apresentam folhas coriáceas e verde azuladas e, muitas vezes, não produzem.

O problema do excesso de sódio trocável pode se expressar do ponto de vista físico ou químico. Do ponto de vista físico, o excesso de sódio promove o aumento da dupla camada iônica das micelas de argila, de forma que, quando o solo seca, apresenta-se maciço ou desestruturado, acarretando uma série de problemas de manejo (dificuldade de destorroamento, dificuldade de infiltração, aeração deficiente, entre outros). Do ponto de vista químico, o excesso de sódio acarreta a elevação do pH, causando dificuldade de absorção de certos micronutrientes (como o Cu e Zn, por exemplo); por competição, a absorção de potássio e cálcio também pode ser comprometida.

| Problema | Efeitos | |
|-------------------------------------|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Excesso de sais | Redução do potencial osmótico | Dificuldade de absorção de água pela cultura |
| Excesso de Na trocável | Desestruturação do solo | Comprometimento da disponibilidade de nutrientes para a cultura |
| Excesso de Cl e B | Toxicidade para a cultura devido à absorção excessiva | |
| Excesso de Na em relação ao Ca e Mg | | |

O excesso de cloreto, sódio e boro na solução do solo ou na água aplicada via irrigação pode causar a absorção desses elementos em excesso, que tendem a se acumular nas bordas das folhas, dando o aspecto de queimadura. Embora esse problema ocorra mais frequentemente quando se irriga por aspersão, pode ocorrer, também, quando se utilizam métodos de irrigação que não molham as folhas, se a solução do solo apresentar níveis elevados.

7.3 NECESSIDADE DE LIXIVIAÇÃO

A irrigação em regiões semiáridas deve ser realizada com a aplicação de certa fração de lixiviação para evitar que os sais presentes na água de irrigação se acumulem no solo. Quando a irrigação é conduzida com uma eficiência de aplicação excessivamente alta (sem esta fração), existe o risco de salinização do solo, mesmo que a água de irrigação seja relativamente de boa qualidade. Esse problema é comum em vertissolos, pois estes têm velocidade de infiltração e percolação muito baixas.



<https://eos.com/pt/blog/salinizacao-do-solo/>



Quanto mais salina é a água de irrigação ou mais sensível é a cultura à salinidade, mais lixiviação deve existir para manter o rendimento da cultura em nível elevado. A quantidade de sais que deve ser lixiviada abaixo da zona radicular da cultura depende da concentração de sais na água de irrigação e no solo, da tolerância da cultura à salinidade e do manejo da irrigação.

7.4 RAZÃO DE LIXIVIAÇÃO

A razão de lixiviação de sais representa a fração mínima da quantidade total de água aplicada que deve passar através da zona radicular, para prevenir a redução no rendimento econômico da cultura.

A salinidade do solo deve ser continuamente monitorada e considerada no manejo da irrigação, de forma a manter um balanço adequado de sais na zona radicular da cultura.

A razão de lixiviação pode ser calculada para os casos de irrigação por aspersão de baixa frequência e aspersão de alta frequência:

Aspersão de baixa frequência

$$RL = \frac{LS}{IRN+LS} = \frac{CE_i}{CE_d} = \frac{CE_i}{5 CE_e - CE_i}$$

Aspersão de alta frequência

$$RL = \frac{LS}{IRN+LS} = \frac{CE_i}{CE_d} = \frac{CE_i}{2 (\text{máx}CE_e)}$$

RL – razão de lixiviação, adimensional;

LS – lâmina de irrigação para lixiviar o excesso de sais na zona radicular, mm;

CE_i – condutividade elétrica da água de irrigação, $dS m^{-1}$ (mmhos cm^{-1});

CE_d – condutividade elétrica da água de drenagem, $dS m^{-1}$ (mmhos cm^{-1});

CE_e – condutividade elétrica do extrato de saturação do solo na zona radicular para uma apropriada redução da produção, $dS m^{-1}$ (mmhos cm^{-1});

máx CE_e – condutividade elétrica do extrato de saturação do solo que reduz a produtividade para zero, $dS m^{-1}$ (mmhos cm^{-1}).

APLICAÇÃO

Calcular a razão de lixiviação e a lâmina adicional de lixiviação necessárias para um sistema de irrigação por aspersão, utilizado na cana-de-açúcar, considerando que a IRN é 25,0 mm e a condutividade elétrica da água de irrigação é 2,5 $dS m^{-1}$. A condutividade elétrica do extrato de saturação do solo na zona radicular que proporciona 10 % de redução na produção é 3,4 $dS m^{-1}$.

$$RL = \frac{2,5}{5 \times 3,4 - 2,5} = 0,172$$

Reorganizando a equação:

$$RL = \frac{LS}{IRN+LS} \quad \Rightarrow \quad LS = \frac{RL \times IRN}{1 - RL} = \frac{0,172 \times 25,0}{1 - 0,172} = 5,2 \text{ mm}$$

Existem informações na literatura de tolerância das culturas à salinidade em função da condutividade elétrica do extrato de saturação do solo. Essas informações podem ser utilizadas para selecionar as culturas mais adaptadas à qualidade da água disponível para irrigação e ao nível médio de salinidade a que elas estarão submetidas. Quanto maior a concentração salina na zona radicular, menor será o número de culturas adaptadas e o retorno econômico. Há uma relação de redução da produção em função da condutividade elétrica do extrato de saturação do solo na zona radicular .

Tabela 11. Redução da produção de culturas (extensivas, frutíferas e olerícolas) em função da condutividade elétrica do extrato de saturação do solo na zona radicular (CEe, dS m^{-1}).

| Cultura | Redução da produção esperada no nível de CEe (dS m^{-1}) indicado | | | | |
|----------------|------------------------------------------------------------------------------|-----|------|------|------|
| | 0% | 10% | 25% | 50% | 100% |
| Algodoeiro | 7,7 | 9,6 | 13,0 | 17,0 | 27,0 |
| Soja | 5,0 | 5,5 | 6,2 | 7,5 | 10,0 |
| Sorgo | 4,0 | 5,1 | 7,2 | 11,0 | 18,0 |
| Amendoim | 3,2 | 3,5 | 4,1 | 4,9 | 6,5 |
| Milho | 1,7 | 2,5 | 3,8 | 5,9 | 10,0 |
| Feijoeiro | 1,0 | 1,5 | 2,3 | 3,6 | 6,5 |
| Cana-de-açúcar | 1,7 | 3,4 | 6,0 | 10,3 | 19,0 |
| Laranjeira | 1,7 | 2,3 | 3,3 | 4,8 | 7,9 |
| Limoeiro | 1,7 | 2,3 | 3,3 | 4,8 | 7,9 |
| Videira | 1,5 | 2,5 | 4,1 | 6,7 | 12,0 |
| Abacateiro | 1,3 | 1,8 | 2,5 | 3,7 | 6,0 |
| Coqueiro | 4,0 | 6,8 | 11,0 | 18,0 | 32,0 |
| Beterraba | 4,0 | 5,1 | 6,8 | 9,6 | 15,0 |
| Tomateiro | 2,5 | 3,5 | 5,0 | 7,6 | 12,5 |
| Pimentão | 1,5 | 2,2 | 3,3 | 5,1 | 8,5 |
| Alface | 1,3 | 2,1 | 3,2 | 5,2 | 4,0 |
| Cebola | 1,2 | 1,8 | 2,8 | 4,3 | 7,2 |

O processo de lixiviação é parte do controle da salinidade do solo, indispensável para a manutenção das melhores condições de manejo, de forma a evitar os efeitos mínimos da presença de sais na zona radicular das culturas, resultando no maior rendimento e retorno econômico.



8 LITERATURA CONSULTADA E RECOMENDADA

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. Manual de irrigação. 8 ed. Viçosa: UFV, 2006. 625p.

COSTA, R. N. T. Drenagem agrícola (Apostila, UFC). Disponível em http://www.gpeas.ufc.br/disc/dren/apostila_drenagem.pdf

CRUCIANI, D. E. A Drenagem na agricultura. 4 ed. São Paulo. Editora Nobel, 1989. 337p.

DUARTE, S. N.; SILVA, Ê. F. F.; MIRANDA, J. H.; MEDEIROS, J. F.; COSTA, R. N. T.; GHEYI, H. R. Fundamentos de drenagem agrícola. Piracicaba: LEB/ESALQ/USP, 2023. 339p.

DUARTE, S. N.; ARAÚJO, J. C.; COSTA, R. N. T.; GHEYI, H. R. Hidrologia: conceitos e exercícios com aplicações práticas. Piracicaba: FEALQ, 2024. 563p.

FRIZZONE, A. A. ; REZENDE, R.; CAMARGO, A. P.; COLOMBO. A. Sistema pivô central. Editora Eduem – Editora da Universidade Estadual de Maringá, 2018. 355p.

MELLO, J. L. P. Drenagem agrícola (Apostila, UFRRJ). Disponível em http://www.ufrrj.br/institutos/it/deng/jorge/downloads/Drenagem_Versao%203.0.pdf

MILLAR, A. A. Drenagem de terras agrícolas: bases agronômicas. São Paulo, McGraw-Hill do Brasil, 1978. 276p.

PAULINELLI, A., DOURADO NETO, D., MANTOVANI, E. C. Diferentes abordagens sobre agricultura irrigada no Brasil: técnica e cultura. Piracicaba: ESALQ – USP, 2021. 598p. Disponível em <http://www.livrosabertos.sibi.usp.br/portaldelivrosUSP/catalog/book/630>

PIZARRO, F. Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos. Madrid, 1978. 521p.

Trata-se de uma excepcional contribuição às atividades de ensino e formação acadêmica nos Cursos de Agronomia e Engenharia Agrícola, facilitando o entendimento e o aprendizado. Sem dúvida também atende aos técnicos da grande área de Ciências Agrárias e demais profissionais. O formato de apresentação reflete a experiência dos autores no ofício de formadores de recursos humanos qualificados. Está muito bem destacada a importância dos fundamentos da Drenagem Agrícola e suas aplicações, por meio de uma linguagem simples e acessível aos interessados e profissionais da agricultura irrigada.

Francisco Adriano de Carvalho Pereira
Professor Titular - UFRB
Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas

ISBN: 978-65-01-12298-4



www.agrofins.com.br