

DIMENSIONAMENTO DA DRENAGEM AGRÍCOLA PARA O SEMI-ÁRIDO BRASILEIRO

J. F. de Medeiros¹

RESUMO: A drenagem agrícola subterrânea no semi-árido é uma das práticas mais importante para a agricultura irrigada sustentável. Na região nordeste do Brasil, as áreas dos perímetros públicos irrigados estão em solos com baixa drenabilidade, favorecendo a formação do lençol freático, quando o sistema de irrigação utilizado apresenta baixa eficiência de aplicação ou nos anos que chove acima da média. Uma solução para isso seria fazer o monitoramento do lençol freático e programar a instalação futura do sistema de drenagem. Embora existam vários procedimentos para dimensionar um sistema de drenagem, o mais importante é se obter os parâmetros mais reais possíveis para serem utilizados nos cálculos. Esses cálculos podem ser otimizados usando ferramentas computacionais que simulem diferentes cenários, para daí se tomar uma decisão, sobretudo econômica. Para as condições do semi-árido, no dimensionamento, precisa-se considerar o período seco, onde a irrigação é o fator de recarga, e o período das chuvas, onde a chuva extrema produz elevação imediata do lençol. Para isso, elaborou-se um programa em planilha eletrônica, que introduzindo dados de solo, da planta, do ciclo hidrológico e da área, determina-se o espaçamento, assumindo-se a profundidade dos drenos, e o seu diâmetro, considerando diferentes lay-outs.

PALAVRAS-CHAVES: Dreno, projeto, planilha eletrônica.

DESIGN OF AGRICULTURAL DRAINAGE FOR THE SEMI-ARID FROM BRAZIL

ABSTRACT: The underground agricultural drainage in the Semi-árido is one of the practices most important for irrigated agriculture sustainable. In the region northeast of Brazil, the areas of the irrigated public perimeters are in soils with low drenability, favouring the formation of the groundwater, when the irrigation system utilized presents low efficiency of application or in the years that rain above of the average. This has favoured the process of soils salinization and waterlogged on the areas lowest. The solution for this would be to make the checking of the groundwater and to program the future installation of the drainage system. Though there are some procedures to design a drainage system, the most important it is if to get the possible parameters most real to be used in the calculus. These calculus can be optimized using computational tools that simulate different sceneries, for from there being overcome a decision, over all economic. For the conditions of the Semi- arid, in the design, it is needed to consider the dry period, where the irrigation is the recharge factor, and the period of rains, where the extreme rain of determined duration and return time produces rise immediate of the groundwater. For this, a program in electronic spread sheet was elaborated, that introducing data of the soil, of the plant, the hydrologic cycle and the area, to be determined the spacing, assuming itself it depth of the drains, and its diameter, considering different lay-outs.

KEYWORDS : Drain, planning, spreadsheet.

INTRODUÇÃO

¹ Engo. Agro., Doutor, Depto de Ciências Ambientais, UFERSA, Mossoró, RN.

Um projeto de drenagem agrícola completo consta de um sistema de drenagem superficial e um de drenagem subterrânea, os quais devem ser dimensionados em conjunto. Tem por objetivos reduzir a erosão do solo, retirar o excedente de água superficial dentro de um tempo máximo permitido pelas plantas, controlar o nível de aeração na zona radicular das culturas e tornar eficiente a lixiviação dos sais no perfil.

Um sistema de drenagem artificial deve permitir um escoamento de água no solo, superficial e subterraneamente, em condições hidraulicamente satisfatórias e de maneira mais eficiente do que ocorreria naturalmente. A estrutura funcional do sistema é composta por três componentes: o sistema de drenagem propriamente dito, o sistema de transporte e o sistema de saída (CRUCIANI, 1997).

A drenagem subterrânea em áreas agrícolas irrigadas no semi-árido é um dos procedimentos mais importantes para se ter uma agricultura sustentável, sobretudo em áreas que tem o solo com drenagem deficiente. O seu dimensionamento passa por várias etapas, tais como: estudo da recarga do lençol, estudo de características do solo, levantamento topográfico da área e informações sobre o comportamento da cultura em relação à profundidade do lençol (van der MOLEN et al., 2007).

As maiores dificuldades para dimensionar a drenagem é se obter essas características, pois são de difícil estimativa, devido a grande variabilidade. O dimensionamento propriamente dito, que consiste em se determinar a profundidade e espaçamento dos drenos e seu respectivo diâmetro, pode ser feito por várias equações, que apresentam diferentes graus de precisão e são utilizadas em função do critério de drenagem adotado.

A maioria das equações utilizadas no dimensionamento dos drenos não tem solução explícita, necessitando de cálculos iterativos envolvendo muitas variáveis. O ILRI basicamente recomenda usar a equação de Hooghoudt, mesmo para o período das chuvas (RITZEMA, 1994). CRUCIANI (1997) sugere usar equação de Hooghoudt para o período seco e a de Glover e van Schilfgaard para o período das chuvas, fluxo variável. O manual da FAO 56 (van der MOLEN, 2007) apresenta um programa computacional para dimensionar um sistema de drenagem, adotando equações de fluxo permanente para o período seco e as de fluxo variável para período chuvoso.

Para simplificar o dimensionamento de drenos subterrâneos para as condições do semi-árido nordestino e servir como ferramenta didática para as disciplinas de drenagem agrícola, este trabalho tem como objetivo desenvolver um procedimento de cálculo para dimensionar drenos subterrâneos, o qual pode ser utilizado em planilha eletrônica.

MATERIAL E MÉTODOS

O dimensionamento proposto consiste em calcular o espaçamento entre os drenos, e suas respectivas dimensões, adotando-se, por tentativa, a profundidade dos mesmos. Os drenos, depois de instalados, devem satisfazer aos critérios de drenagem, que são: (I) Para o período chuvoso: depois de uma chuva extrema, os drenos devem possibilitar o rebaixamento do lençol freático para profundidades em função do tempo após a chuva. (II) Para o período seco (de irrigação): o sistema de drenagem deve manter o nível do lençol freático a uma profundidade média compatível com a cultura.

O cálculo do espaçamento dos drenos horizontais se baseia na equação do fluxo não permanente de Dupuit:

$$\alpha \frac{\partial h}{\partial t} = K \frac{\partial}{\partial x} \left(h \frac{\partial h}{\partial x} \right)$$

Para o critério de drenagem (I), a equação de Dupuit apresenta as seguintes soluções para o cálculo do espaçamento (S) dos drenos (CRUCIANI, 1997):

Quando $D = 0$ (Eq. de Glover):

$$S^2 = \frac{9.K.t}{2\alpha} \left(\frac{h_o.h_t}{h_o - h_t} \right)$$

Quando $D > 0$ (Eq. de van Schilfgaarde):

$$S^2 = \frac{9.K.d.t}{\alpha \cdot \ln \left[\frac{h_o(2d + h_t)}{h_t(2d + h_o)} \right]}$$

em que:

α - porosidade drenável, em cm^3/cm^3 , determinado pela raiz quadrada da condutividade hidráulica, expressa em cm/dia , RITZEMA, 1994

h – altura do L.F. acima dos drenos a um dado instante e numa dada posição, em m

h_o - altura do L.F. acima dos drenos após recarga, em m

h_t - altura do L.F. acima dos drenos após um tempo “t” que houve a recarga, em m

K – condutividade hidráulica do solo, em m/dia

d – espessura da camada equivalente de Hooghoudt, em m

$$d = \frac{D}{2,5 \frac{D}{S} \ln \left(\frac{D}{P} \right) + 1}$$

Sendo D a distância do dreno à barreira e P o perímetro molhado do dreno.

Para o critério de drenagem (II) utiliza-se a equação para regime permanente (de Hooghoudt, para quando se considera apenas dois estratos de solo e o dreno fica instalado na interface das camadas):

$$S^2 = \frac{8.K_2.h_{in}.d + 4.K_1.h_{in}^2}{q}$$

Em que:

K_1 - é a condutividade hidráulica da camada de solo acima dos drenos, em m/dia

K_2 - é a condutividade hidráulica da camada de solo abaixo dos drenos, em m/dia

h_{in} – altura do L.F. acima dos drenos que fica constante para a recarga q (m/dia)

produzida pela percolação profunda que ocorre no período das irrigações, em m.

Este valor é adotado como a altura do lençol freático antes da chuva de projeto.

Sabendo-se a taxa de percolação profunda (p) e a lâmina total de irrigação (LTI), a recarga (q) é estimada por:

$$q = LTI.p$$

Procedimento para o cálculo do espaçamento dos drenos:

Consiste em determinar o espaçamento dos drenos por tentativa, assumindo-se a profundidade dos drenos e adotando-se espaçamentos até que o mesmo satisfaça a cultura tanto no período seco como no período das chuvas.

Dados necessários para o dimensionamento:

- Do solo: Condutividade hidráulica acima (K_1) e abaixo (K_2) dos drenos; porosidade drenável acima dos drenos (α_1), profundidade da barreira ($G + D$) e o seu relevo (declividades)
- Da planta: profundidade do lençol freático tolerado pela cultura para dias após um encharcamento (I_t) e para o período seco (nível constante - I_{in})
- Da irrigação: Lâmina média percolada por dia, devido a irrigação
- Do clima: Precipitação pluviométrica extrema para o um tempo de retorno de 5 a 10 anos e duração de um a três dias e evapotranspiração no período seco e das chuvas.

Sequência de cálculos:

- Assume-se uma profundidade para os drenos
- Calcula-se a lâmina média de percolação – recarga do período seco (q)

- Calcula-se a espessura da camada equivalente de Hooghoudt (d), assumindo um perímetro molhado médio
- Calcula-se a altura do L.F. acima dos drenos (h_{in}) para o período seco

$$h_{in} = \frac{-2K_2d + (4K_2^2d^2 + K_1S^2q)^{0,5}}{2K_1}$$

- Determina-se a elevação do L.F. (Δh) devido à lâmina percolada (R) proveniente da chuva extrema (de projeto)

$$\Delta h = \frac{R}{\alpha}$$

A lâmina percolada é estimada pela diferença entre a precipitação extrema para duração de um dia e o escoamento superficial e evapotranspiração, desprezando a variação de armazenamento, pois se considera que a área é irrigada e, portanto, estaria na capacidade de campo por ocasião da chuva extrema.

- Determina-se a altura do L.F. acima dos drenos depois da chuva de projeto (h_o)

$$h_o = h_{in} + \Delta h$$

- Calcula-se a condutividade hidráulica média da camada de solo saturado:

$$K_s = \frac{K_1h_o + K_2D}{h_o + D}$$

- Calcula-se a altura do L.F. acima dos drenos para 1, 2 e 3 dias, pelo menos (h_t);

$$h_t = \frac{2dh_o}{(2d + h_o) \cdot \exp\left(\frac{9K_s d \cdot t}{\alpha_1 S^2}\right) - h_o}$$

- Calcula-se a profundidade do L.F. para todos os períodos (período seco, depois da recarga e um, dois e três dias após, pelo menos):

$$I = G - h$$

- Compara-se o I calculado com o mínimo exigido pela cultura

Dimensionamento de drenos entubados

Aplica-se a equação de Manning para seção transversal circular, com o tubo funcionando com 50 a 60% da seção cheia (RITZEMA, 1994).

Para os drenos parcelares, o fluxo pode ser considerado uniformemente variado, neste caso, a vazão fica 1,73 vezes a vazão se o fluxo fosse uniformemente não variado.

$$Q = 1,73.0,312 \cdot \frac{1}{n} D^{2,67} \cdot I^{0,5} = 38 \cdot D^{2,67} \cdot I^{0,5}$$

Isto trabalhando com seção cheia; Q, em m³/s; D, em m; e I, em m/m e 1/n=70 (tubo corrugado).

Considerando o dreno funcionando com 60% da seção cheia e Q, em m³/dia, e que a vazão que chega ao dreno corresponde ao produto da área de ação do dreno (comprimento -L x espaçamento - S) com a recarga diária (q – m/dia), o comprimento máximo do dreno para um dado diâmetro pode ser calculado por:

$$L = \frac{2.10^6 \cdot D^{2,67} \cdot I^{0,5}}{S \cdot q}$$

A recarga diária (q), para fluxo variável, depois de selecionado o espaçamento, determina-se para o intervalo entre dias que produz o maior rebaixamento.

Entretanto, por motivos econômicos, é comum trabalhar com dois ou mais diâmetros para cada dreno. Neste caso, se determina por tentativa, o maior diâmetro que deve ser utilizado, que é aquele de menor calibre que o seu comprimento calculado ainda fica acima do comprimento do dreno, e utiliza-se outro de diâmetro imediatamente inferior. Usando os dois diâmetros, o comprimento máximo de cada tubo que pode ser utilizado seria de 85% do valor calculado, para três diâmetros, 75% e para quatro, 65%.

Para dreno coletor entubado, pode-se calcular o diâmetro mínimo para a vazão que passa em cada trecho, assumindo que água ocupa no máximo 60% da seção do tubo. Assim, o diâmetro mínimo pode ser calculado por:

$$D = 1,874 \cdot \left(\frac{Q \cdot n}{I^{0,5}} \right)^{0,375}$$

sendo “n” o coeficiente de rugosidade de Manning para o material do tubo utilizado.

Para exemplificar o uso da planilha elaborada a partir do modelo de cálculo proposto, considerou-se uma área retangular de 400 x 200 m, com declividades de 0,003 m/m, nas duas direções, cultura que tolera determinadas profundidades do lençol freático, equação para chuva extrema, dados hidrológicos e de solos apresentados na Figura 1, valores estes comuns aos perímetros irrigados no Nordeste do Brasil que utilizam solos não aluviais. Para fazer diferentes simulações de dimensionamentos, consideram-se duas profundidades da camada impermeável, duas condutividades hidráulicas do solo, e se assumiu duas profundidades dos drenos. Além disso, ainda se considerou os drenos sendo instalados em duas direções (longitudinal e transversal).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 é mostrado um exemplo numérico para drenos parcelares dimensionados pela planilha de cálculo elaborada segundo o modelo proposto neste trabalho. Verifica-se que solos característicos de perímetros irrigados do Nordeste instalados fora dos aluviais, como é o caso do Nilo Coelho e Bebedouro, em Petrolina, e do DIBA, em Alto Rodrigues, RN, podem ter a drenagem subterrânea dimensionada com precisão pela metodologia proposta, pois os resultados obtidos responderam muito bem as variáveis consideradas.

Os espaçamentos apresentados na Tabela 1 correspondem aos valores ajustados para que tivesse um número inteiro de drenos, arredondando-se sempre para baixo.

Tabela 1. Espaçamento e comprimento do dreno para diferentes diâmetros, calculados pela planilha de cálculo elaborada para o modelo proposto, para diferentes situações.

| Direção | Prof. Bar. | G | K1 | K2 | S | Compr. Calc. Adotado | | | |
|---------|------------|-----|-----|-----|-------|----------------------|-------|------|------|
| | | | | | | D=125 | D=100 | D=75 | D=50 |
| Long | 1,5 | 1,0 | 1,2 | 0,8 | 18,19 | 0 | 49 | 262 | 89 |
| Long | 1,5 | 1,0 | 3,6 | 2,4 | 11,11 | 84 | 195 | 90 | 31 |
| Long | 1,5 | 1,2 | 1,2 | 0,8 | 20,00 | 0 | 40 | 269 | 91 |
| Long | 1,5 | 1,2 | 3,6 | 2,4 | 11,11 | 128 | 168 | 78 | 26 |
| Long | 3,0 | 1,0 | 1,2 | 0,8 | 25,00 | 0 | 113 | 214 | 73 |
| Long | 3,0 | 1,0 | 3,6 | 2,4 | 18,19 | 163 | 146 | 68 | 23 |
| Long | 3,0 | 1,2 | 1,2 | 0,8 | 33,33 | 0 | 109 | 217 | 74 |
| Long | 3,0 | 1,2 | 3,6 | 2,4 | 22,22 | 201 | 123 | 57 | 19 |
| Transv. | 1,5 | 1,0 | 1,2 | 0,8 | 18,19 | 0 | 0 | 99 | 101 |
| Transv. | 1,5 | 1,0 | 3,6 | 2,4 | 11,11 | 0 | 61 | 104 | 35 |
| Transv. | 1,5 | 1,2 | 1,2 | 0,8 | 20,00 | 0 | 0 | 97 | 103 |
| Transv. | 1,5 | 1,2 | 3,6 | 2,4 | 11,11 | 0 | 80 | 90 | 30 |
| Transv. | 3,0 | 1,0 | 1,2 | 0,8 | 25,00 | 0 | 0 | 117 | 83 |
| Transv. | 3,0 | 1,0 | 3,6 | 2,4 | 18,19 | 0 | 96 | 78 | 26 |
| Transv. | 3,0 | 1,2 | 1,2 | 0,8 | 33,33 | 0 | 0 | 116 | 84 |
| Transv. | 3,0 | 1,2 | 3,6 | 2,4 | 22,22 | 0 | 113 | 65 | 22 |

CONCLUSÕES:

O modelo proposto para dimensionar drenos subterrâneos para perímetros irrigados do Nordeste utilizando a planilha eletrônica apresenta-se viável, pois assumem diferentes critérios de drenagem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CRUCIANI, D.E. **Drenagem agrícola para recuperação dos solos afetados por sais.** In: GHEYI, H.R.; QUEIROZ, J.E. de; MEDEIROS, J.F. de. (Eds.) **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada.** Campina Grande: UFPB, SBEA, 1997. p.209-238.

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

RITZEMA, H.P. (ed.) **Drainage principles and applications.** 2.ed. completely revised. Wageningen: ILRI, 1994. 1125p. (ILRI Publication, 16)

Van der MOLEN, W.H.; BELTRÁN, J.M.; OCHS, W.J. **Guidelines and computer programs for the planning and design of land drainage systems.** Rome: FAO, 2007. 228p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 62).

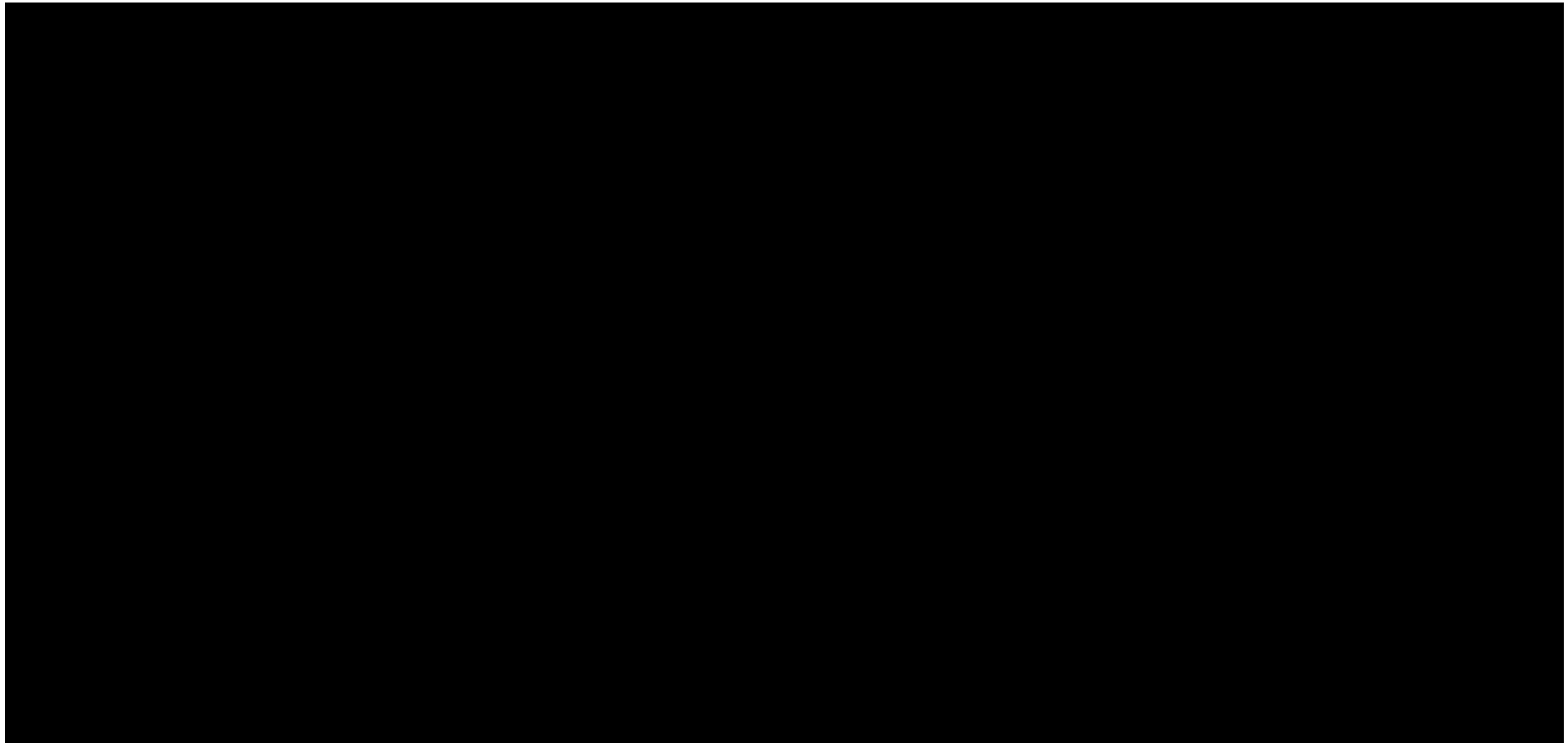


Figura 1. Parte da planilha que mostra os dados de entrada e o cálculo do espaçamento dos drenos.

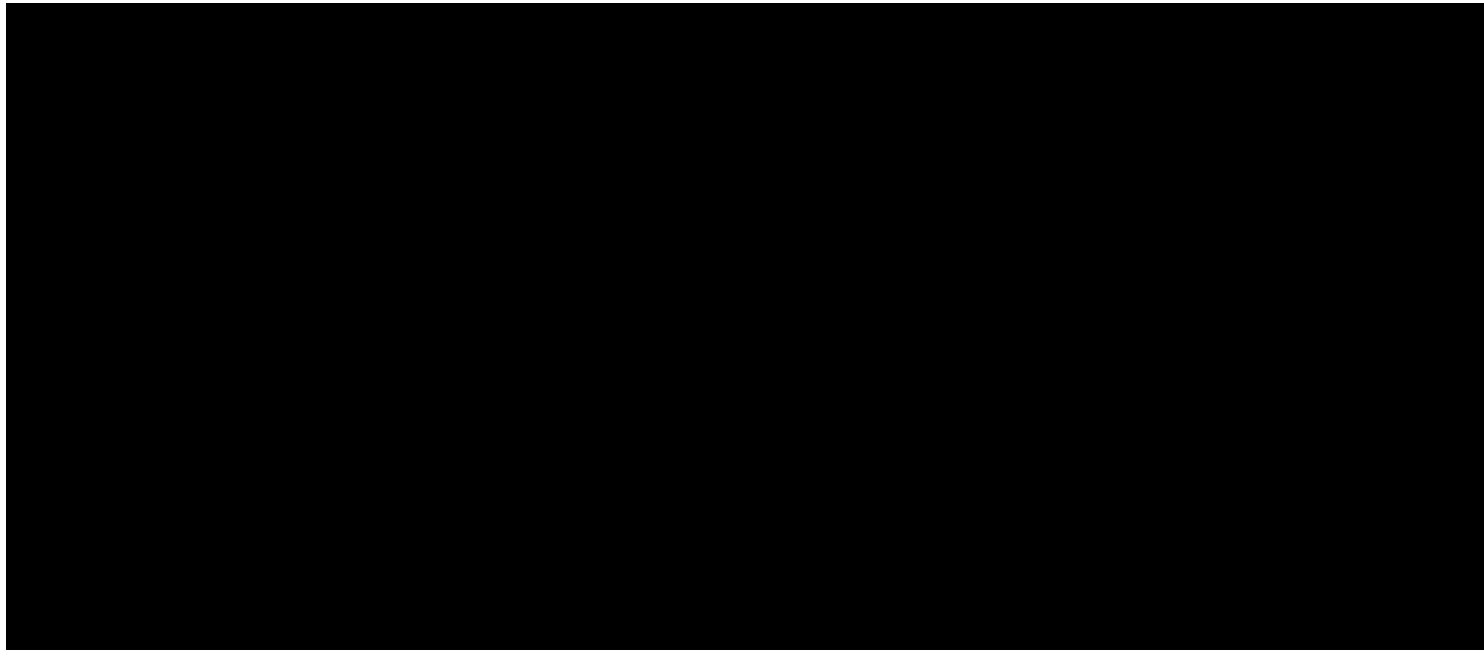


Figura 2. Parte da planilha utilizada para calcular o diâmetro dos drenos com seus respectivos comprimentos.