

DIMENSIONAMENTO COMPUTADORIZADO DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR PRESSÃO - ASPERSÃO CONVENCIONAL E LOCALIZADA: I - ASPECTOS TÉCNICOS¹

Ana Flávia Ramos de Arruda²
Francisco de Souza³

RESUMO

A elaboração de um projeto de irrigação requer a análise de um número muito grande de variáveis. Em vista disto, o uso do computador tem-se tornado uma ferramenta da maior utilidade. O Sistema de Cálculo para Projeto de Irrigação (SCPI), aqui apresentado, é um "software" composto por dois programas executáveis, o SCPI000 e o SCPIB000, e quatro arquivos biblioteca, o ASPERSOR.DAT, o CLIMA.DAT, o CULTURA.DAT e o SOLOS.DAT. O programa SCPI000 realiza todos os cálculos para a elaboração de um projeto para um sistema de irrigação por pressão do tipo aspersão convencional e localizada, inclusive o cálculo dos parâmetros que descrevem o processo de infiltração da água no solo e o dimensionamento de tubulações individuais. O programa SCPIB000 tem a função de gerar ou manipular os bancos de dados utilizados pelo SCPI000. TURBO PASCAL foi a linguagem de computação utilizada na elaboração deste "software". A validação do Sistema de Cálculo para Projeto de Irrigação (SCPI) foi feita utilizando dados provenientes de três diferentes fontes. Os resultados obtidos no SCPI comprovam o funcionamento adequado do sistema para elaboração de projetos de irrigação.

PALAVRAS-CHAVE: Irrigação; Projeto; Pressurizado; computador.

COMPUTER DESIGN OF PRESSURIZED IRRIGATION SYSTEMS: I. TECHNICAL ASPECTS.

1 Trabalho extraído da Dissertação do primeiro autor submetida ao Curso de Mestrado em Irrigação e Drenagem da Universidade Federal do Ceará.

2 Eng^a.-Agr^a., M.Sc. Em Irrigação e Drenagem - Rua Prof. Dias da Rocha, 490/603, Meireles, Fortaleza, CE.

3 Professor Titular do Centro de Ciências Agrárias da UFC.

ABSTRACT

Designing irrigation projects requires a large number of parameters. Therefore, the use of microcomputer is of great importance. The "Irrigation Project System Design" (SCPI) is a software made of two executable programs - SCPI000 and SCPIB000, and four library files, ASPERSOR.DAT, CLIMA.DAT, CULTURA.DAT and SOLOS.DAT. The program SCPI000 makes all computations for designing a pressurized irrigation system, either a hand move sprinkler system or a localized one and makes the computations of infiltration parameters and design of individual pipes. The program SCPIB000 creates and edits the four library files used by SCPI000. TURBO PASCAL is the language used. Validation of SCPI was done by using three different case studies. Results confirmed the validity of the software.

KEY WORDS: Irrigation; Design; Pressurized; Computer.

INTRODUÇÃO

A elaboração do projeto de irrigação é o ponto de partida para quem quer utilizar a técnica de irrigação e, por mais simples que seja, é um problema que envolve o conhecimento de uma série de fatores, resultando em uma grande quantidade de dados a serem considerados em complexas seqüências de cálculo. Na solução deste tipo de problema, o computador tornou-se uma ferramenta indispensável, de modo a reduzir o tempo gasto e permitir a verificação de um grande número de propostas alternativas.

Atualmente o uso do computador tem sido restrito apenas a execução de programas já elaborados, havendo poucas infor-

mações e "softwares" que sejam aplicados a irrigação, em particular na área de elaboração de projetos. Isto ocorre porque a maioria dos programas existentes são estrangeiros e estão escritos em FORTRAN, linguagem já ultrapassada no ambiente científico.

O objetivo deste trabalho é apresentar os aspectos técnicos de um programa de computador para a elaboração de projetos de irrigação por aspersão convencional (ramais móveis e fixos) e localizada, denominado "Sistema de Cálculo para Projetos de Irrigação" - SCPI. Os aspectos computacionais estão em ARRUDA & SOUZA (1993).

REVISÃO DE LITERATURA

Segundo BERNARDO (1989), o método de irrigação por aspersão caracteriza-se pela aplicação de água no solo em forma de chuva artificial, através do fracionamento do jato de água em estruturas denominadas aspersores.

MERRIAM & KELLER (1978) definiram a irrigação localizada como o mais conveniente método de aplicação de água às plantas, uma vez que, o suprimento de água ao solo é feito a baixa tensão e de maneira suficiente a repor a demanda imposta pela evapotranspiração. Basicamente, são dois os processos empregados na irrigação localizada: o gotejamento e a microaspersão.

Para CHRISTIANSEN (1942), na elaboração de um projeto de irrigação por aspersão, primeiro é necessário decidir qual o melhor método a utilizar e se este é capaz de suprir todos os requerimentos de água da cultura; depois o diâmetro das tubulações, o diâmetro dos emissores, o tamanho da bomba e a potência requerida são determinados e os equipamentos necessários são selecionados.

Este mesmo autor estudando a hidráulica da irrigação por aspersão, afirmou que existe uma relação fundamental entre a pressão, a vazão e a potência requerida para funcionamento da linha com os aspersores. Os critérios para dimensionamento hidráulico de um sistema de irrigação por aspersão propostos por Christiansen são: a

variação da pressão em uma linha de tubulações com aspersores não deve exceder a 1,2 da pressão de serviço do aspersor; a variação da vazão dos aspersores na linha não pode exceder a 10 % e a vazão média do aspersor não deve exceder a vazão mínima em mais do que 2,4 %. Estes critérios foram adotados pelo SCPI.

Para a irrigação localizada, de acordo com BENAMI & OFEN (1984), citados por OLITTA (1986), três opções de projeto são disponíveis: as tubulações são dimensionadas para proporcionar uma variação máxima na vazão dos emissores em funcionamento, de 10 % da vazão do emissor operando na pressão de serviço; as laterais são dimensionadas para uma variação máxima na vazão dos emissores de 10 %; o dimensionamento é feito utilizando-se emissores compensadores de pressão. A primeira opção foi a utilizada no SCPI.

Para KELLER & KARMELI (1975), a linha de derivação em um sistema de irrigação localizada é similar a linha principal de sistemas de aspersão fixo mas, em termos de tamanho, ela se assemelha as laterais. Quanto ao dimensionamento das linhas principais, subprincipais e adutoras o mesmo é feito utilizando-se os critérios econômicos baseados no custo das tubulações e nos custos da energia.

A utilização de sistemas de computação tem demonstrado ser a mais proveitosa e eficiente ferramenta para projetar, avaliar e planejar uma irrigação para várias culturas em diferentes tipos de solo.

Um modelo para projetar irrigação por aspersão do tipo pivô central por computador foi apresentado por KELSO & JARRET (1978). GRIFFIN (1978) criou um programa de computador para avaliar a performance dos aspersores em sistemas do tipo "solid set". ZAZUETA et al. (1983) desenvolveram um pacote de "software" que consiste em uma série de programas para microcomputadores para projeto, operação e manutenção de sistemas de irrigação localizada. ALLEN (1984) desenvolveu algumas rotinas, em linguagem FORTRAN, para planejamento e projetos preliminares de irrigação. SOUZA (1989) utilizou um programa

de computador para testar diferentes funções-objetivo para otimizar a procura na escolha dos bocais para pivô-central.

Vários autores têm aplicado a micro-computação para a simulação do sistema solo-água-planta com o objetivo de determinar quanto e quando irrigar (AMIR et al., 1980; CALMON et al., 1989; SMITH, 1989; SOUZA, 1992; XEVI E FEYEN, 1989).

METODOLOGIA

A metodologia adotada é apresentada em seus dois aspectos principais: (1) Elaboração de projetos de irrigação e (2) Estruturação de programas de computador.

1. ELABORAÇÃO DE PROJETOS DE IRRIGAÇÃO

As técnicas de elaboração de projetos de irrigação utilizadas são referentes aos sistemas de irrigação por aspersão convencional portátil e semiportátil, canhão hidráulico e aspersão fixa, podendo ser aplicadas também aos sistemas de irrigação localizada, como gotejamento e microaspersão.

De uma maneira geral, a elaboração de um projeto de irrigação pressurizada pode ser dividida em seis etapas importantes, a saber: cadastramento das informações técnicas; cálculo das necessidades hídricas da cultura; cálculo dos parâmetros básicos da irrigação; determinação do "layout" do sistema e dimensionamento das tubulações; dimensionamento da estação de bombeamento e cálculo do consumo de energia; e quantificação do material necessário ao funcionamento do sistema.

No desenvolvimento do SCPI, os dados básicos a serem levantados foram classificados em: dados do projeto; dados da irrigação; dados de clima; dados de solo; dados da cultura; dados da fonte hídrica e dados topográficos (mapas). Os dados necessários para a identificação do projeto são: nome do projeto; localidade; estado; área total a ser irrigada (ha); cultura; sistema de irrigação. Os dados que informam sobre as condições gerais disponíveis para realização da irrigação são: tipo de sistema

de irrigação; eficiência da irrigação; coeficiente de uniformidade; jornada de trabalho diária e disponibilidade de energia. Com relação ao clima os seguintes dados deverão ser levantados: localização da estação meteorológica - latitude, longitude e altitude; precipitação média mensal (mm); temperatura média mensal ($^{\circ}\text{C}$); umidade relativa média mensal (%); evaporação média mensal (mm); número de horas de sol média mensal (unidade); velocidade do vento média mensal (m/s); direção do vento. Os principais parâmetros de solo a serem considerados são: textura; capacidade de campo; ponto de murcha; densidade aparente; infiltração; condutividade elétrica; percentagem de sódio intercambiável e pH. As características da cultura são: cultura; coeficiente de cultivo; profundidade radicular; ciclo; altura média; espaçamento entre linhas e entre plantas; fator cultural. Da fonte hídrica os dados necessários são: tipo de fonte hídrica; vazão disponível (m^3/h); distância ao campo a ser irrigado (m); altura de sucção (m); altura de recalque (m); condutividade elétrica da água (micromhos/cm); relação de adsorção de sódio (RAS).

A metodologia utilizada pelo SCPI para determinar a necessidade de água da cultura calcula: evapotranspiração potencial; precipitação dependente; evapotranspiração real ou da cultura; uso consuntivo diário; necessidade líquida de irrigação; necessidade bruta de irrigação; gasto mensal de água; vazão unitária.

O SCPI adota duas metodologias diferentes para o cálculo das lâminas de irrigação, de acordo com o método de irrigação a ser utilizado. Na irrigação por aspersão, o cálculo das lâminas de irrigação é feito considerando a água disponível do solo. Os seguintes cálculos são realizados: lâmina líquida; lâmina bruta; turno de rega; período de irrigação; lâmina bruta diária e vazão estimada. A metodologia para irrigação localizada adotada pelo SCPI é a proposta por KELLER & KARMELLI (1975). São calculados: dose bruta diária; lâmina diária; lâmina bruta total; lâmina líquida; vazão estimada.

O "layout" do sistema é um fator que depende do projetista. O SCPI permite trabalhar com oito tipos de "layout" diferentes, cada um com até quatro laterais, no caso da aspersão convencional ou canhão hidráulico, ou com várias laterais, se o sistema é do tipo aspersão fixa ou localizada. O SCPI permite ainda o dimensionamento de sistemas com qualquer número de laterais.

No SCPI a seleção dos emissores pode ser feita de duas maneiras: utilizando um banco de dados com as características de alguns emissores existentes no mercado, ou a partir de uma escolha particular do projetista que apenas informa ao computador as características do emissor escolhido (dado de INPUT).

Para a irrigação por aspersão são calculados: tempo de irrigação por posição; número de posições por dia; número máximo de posições; número de emissores na lateral; comprimento real da lateral; número de posições na principal; comprimento real da principal; número de laterais funcionando; número total de laterais do sistema; número total de posição irrigada por dia; número de dias de irrigação; número total de emissores do sistema; vazão da lateral; vazão total do sistema; área irrigada por dia; área total irrigada.

Na irrigação localizada são calculados: tempo de irrigação por posição; número de posições por dia; número máximo de posições; número de emissores na lateral; comprimento real da lateral; número de laterais por derivação; comprimento real da derivação; área do setor; número total de setores; número de setores funcionando simultaneamente; número de setores irrigados por dia ou número total de posições irrigadas por dia; período de irrigação; número de dias de irrigação; número de laterais no setor; número de emissores no setor; número de laterais em funcionamento; número total de derivações; número total de laterais; número total de emissores; vazão da lateral; vazão da derivação; vazão do setor; vazão total do sistema; área irrigada por dia; área total irrigada.

No dimensionamento das tubulações o SCPI permite o cálculo da perda de carga

por sete diferentes equações: Hazen-Williams; Manning; Darcy-Weisbach; Scobey; Flamant e Cruciani, Fair-Whipple-Hsião I e II.

O dimensionamento da estação de bombeamento compreende as seguintes etapas: seleção da bomba; dimensionamento do motor; cálculo da altura máxima de sucção e cálculo do consumo de energia. No final, o SCPI mostra uma relação contendo todo os equipamentos e acessórios para a implantação do sistema de irrigação.

2. ESTRUTURAÇÃO DOS PROGRAMAS DE COMPUTADOR

A estruturação do SCPI foi baseada na metodologia da modulação. Assim, o problema foi dividido em vários módulos, de acordo com as etapas propostas para a elaboração de um projeto de irrigação. Estes módulos foram abordados separadamente, como um problema independente, o que resultou nos seguintes programas específicos: Programa Principal: Não realiza cálculos, estabelece as variáveis e constantes e controla o fluxo do programa; Módulo 1: Cadastra todas a informações necessárias a um projeto de irrigação (INPUT); Módulo 2: Calcula as necessidades hídricas da cultura a ser irrigada; Módulo 3: Calcula os parâmetros básicos da irrigação; Módulo 4: Faz o dimensionamento hidráulico das tubulações de um sistema de irrigação; Módulo 5: Faz o dimensionamento das estações de bombeamento; Módulo 6: Elabora todo o projeto de irrigação; Módulo 7: Descreve a infiltração da água no solo a partir de dados de campo; Módulo 8: Faz o dimensionamento hidráulico de tubulações individuais; Módulo 9: Programa de ajuda, com recomendações básicas sobre o uso do "software".

Para mais fácil compreensão da estruturação e desenvolvimento do SCPI, classificaram-se os programas em cinco categorias distintas: programas de cálculo; programas auxiliares; programas biblioteca; programa de ajuda e programas executáveis ou programas principais.

Os programas de cálculo são aqueles que realizam todos os cálculos para elabo-

ração do projeto de irrigação. Eles foram nomeados segundo as etapas de atuação dentro da metodologia de cálculo de projeto. Assim, tem-se: SCPI001: Cadastramento de Informações; SCPI002: Cálculo das Necessidades Hídricas da Cultura; SCPI003: Cálculo dos Parâmetros Básicos da Irrigação; SCPI004: Dimensionamento das Tubulações de uma Rede; SCPI005: Dimensionamento das Estações de Bombeamento; SCPI006: Elaboração do Projeto de Irrigação; SCPI007: Teste de Infiltração; SCPI008: Dimensionamento de Tubulações Individuais.

Os programas biblioteca permitem a criação ou o manuseio dos seguintes bancos de dados: CULTURA.DAT: contém a relação com características das culturas; CLIMA.DAT: relaciona dados meteorológicos de municípios; SOLOS.DAT: contém dados oriundos de um mapeamento de solos; ASPERSOR.DAT: contém dados dos fabricantes de equipamentos de irrigação.

Os programas executáveis ou programas principais têm por finalidade apenas controlar o fluxo dos programas, interligando-os. O SCPI000 interliga todos os programas que realizam o projeto de irrigação e o SCPIB000, todos os programas que criam ou manipulam os bancos de dados.

O "software" desenvolvido está disponível para microcomputadores de 16 bits, IBM PC/XT/AT e compatíveis, com memória mínima de 640 KB, um acionador de disco ("drive") 3 1/2" ou de 5 1/4" de alta densidade, impressora e disco rígido "winchester" (opcional), em ambiente MS-DOS compatível.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para testar a validade do SCPI000 são utilizados dados que correspondem a irrigação por aspersão convencional do tipo ramais móveis. Estes dados foram provenientes do projeto de irrigação elaborado pelas empresas consorciadas TAHAL/SONDOTÉCNICA (1971), sob o patrocínio do DNOCS/MINTER para pequenos lotes de irrigação do Perímetro Curu-Paraipaba, no município de São Luís do Curu (CE).

O lote dimensionado, chamado lote de campo típico, tem 96 m de largura e comprimento de 168 m, totalizando uma área de 1,61 ha. A cultura implantada era hortaliça, irrigada por aspersão, convencional. A eficiência de irrigação foi de 70% com jornada de trabalho de 18 horas. A fonte hídrica do projeto é o Rio Curu. A água é bombeada em duas estações de bombeamento e distribuída para os lotes por redes de canais e tubulações, não havendo uma bomba específica para cada lote. Desta maneira, utilizaram-se dados fictícios de altura de sucção e recalque para dimensionamento de uma bomba para o lote, a fim de que o projeto realizado pelo SCPI ficasse completo. A fonte de energia disponível é elétrica.

Os dados de evapotranspiração potencial propostos no projeto foram calculados a partir de medidas feitas em um tanque de evaporação. Os resultados obtidos pelo SCPI para a demanda hídrica da cultura foram bastante aproximados aos da TAHAL/SONDOTÉCNICA (1971). O mês de máxima demanda hídrica foi outubro, onde a evapotranspiração potencial foi de 237 mm/mês, a evapotranspiração real de 189,6 mm/mês e o uso consuntivo de 6,12 mm/dia. A necessidade líquida de irrigação foi de 185,6 mm/mês e a bruta de 265,14. O gasto mensal de água foi de 2.651,43 m³/ha mês e a vazão unitária, para as 18 horas de funcionamento do sistema, de 1,32 l/s ha, enquanto que para a TAHAL/SONDOTÉCNICA (1971) a vazão unitária foi de 1,35 l/s ha. Segundo os cálculos do SCPI, nos meses de março, abril e maio não é necessário se fazer irrigação.

O "layout" utilizado no projeto foi o de número 2 e os aspersores da marca NAAN, modelo Butor, com pressão de serviço de 3 atm, vazão de 1,04 m³/h, precipitação de 7,2 mm/h, espaçados de 12 m entre laterais e 12 m entre emissores. O sistema de irrigação foi formado por duas linhas laterais funcionando, simultaneamente, cada uma com 8 emissores. A FIGURA 01 mostra a disposição das tubulações no campo e suas características hidráulicas, segundo os resultados obtidos pelo SCPI e que conferem com os da TAHAL/SONDOTÉCNICA.

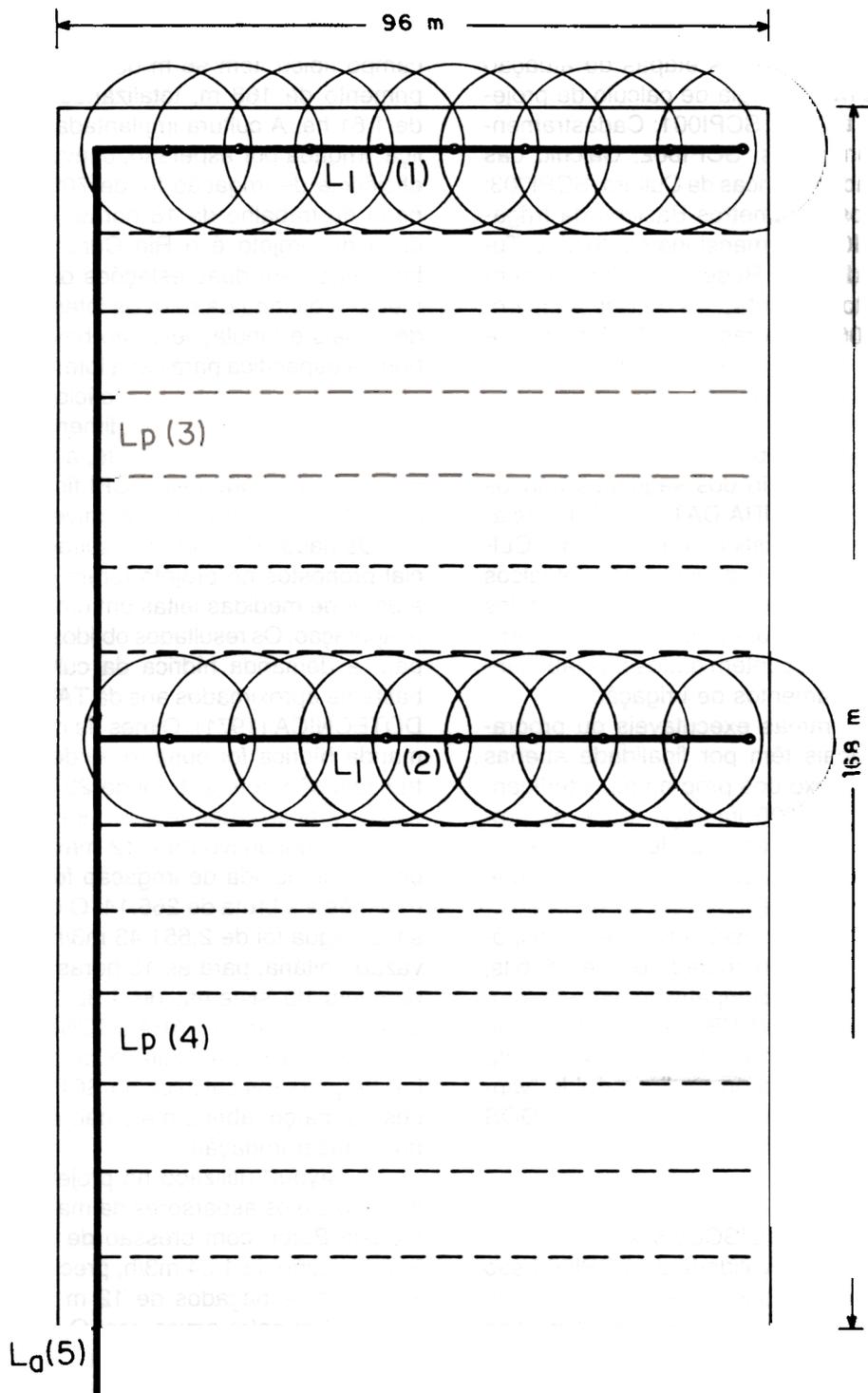


FIGURA 1

Disposição das tubulações no campo. Lote de campo - Típico DNOCS - São Luis do Curuce. (LAY OUT Nº 2, SÉRIE Nº 2).

CA (1971). A diferença no valor da jornada de trabalho calculada foi unicamente devido ao arredondamento dos números durante os cálculos do SCPI.

O dimensionamento da bomba foi feito considerando a vazão do sistema de 16,64 m³/h e a carga de pressão requerida na saída da bomba de 37,7 m. Idealizou-se uma sucção com mangueira plástica de 4 m de comprimento, para uma altura de bombeio de 2m. O coeficiente de perda de carga localizada na sucção foi de 4,4, considerando uma válvula de pé com crivo. Para o recalque, o coeficiente de perda de carga localizada foi de 13,95, utilizando-se as seguintes peças: ligação de pressão, redução, curva dupla e válvula de retenção. A bomba selecionada foi de marca KING, modelo K-50-40-238, com potência de 5 CV, com um motor de 165 mm de diâmetro e rotação de 3500 rpm. A entrada da bomba é de 2 polegadas e a saída de 1,5. O diâmetro da mangueira de sucção foi de 2,5 polegadas e a altura máxima de sucção calculada foi de 3,9 m. Utilizando-se esta bomba, o consumo anual de energia elétrica para cada lote do projeto foi de 27.904,84 kW/ano, e, como a rede elétrica é de baixa tensão, não foi necessário dimensionar um transformador.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitem concluir que o "software" desenvolvido apresentou soluções compatíveis com outros projetos, com a vantagem de dimensionar um sistema de irrigação por etapas, caso desejado, permitindo uma maior rapidez nos cálculos de projeto, reduzindo o tempo de sua elaboração. Seu uso é ideal para situações de pré-projeto, uma vez que permite testar várias opções de "layout", para uma mesma área e, com a relação de material apresentada para cada "layout", permite fazer uma análise econômica prévia do sistema.

Recomenda-se, para a melhoria do "software", continuar os estudos visando utilizar mais de uma cultura em vários tipos de solos; calcular o coeficiente da cultura (K_c),

de acordo com seu ciclo de desenvolvimento; utilizar outros métodos para cálculo da evapotranspiração potencial (ET_p); dimensionar as tubulações com o diâmetro comercial interno e incluir uma rotina para fazer a análise econômica do projeto elaborado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R. G. **Irrigation Design Software**. Department of Agricultural and Irrigation Engineering, Utah State University, Logan, Utah, 1984.
- AMIR, I.; GOFMAN, E.; PLEBAN, S.; NIR, D. and RODEH, M. **Computerized Scheduling of Complex Irrigation Systems**. American Society of Agricultural Engineers, 23 (6): 1413-1423, 1980.
- ARRUDA, A. F. R. e SOUZA, F. **Dimensionamento Computadorizado de Sistemas de Irrigação por Pressão - Aspersão Convencional e Localizada : II - Aspectos Computacionais**. (no prelo).
- BERNARDO, Salassier. **Manual de Irrigação**. Universidade Federal de Viçosa. 5a. edição, Viçosa, Minas Gerais, 1989.
- CALMON, M. De Goes; VADAS, R. Gaal; REGO, N. Calasans and RAES, D. **Computer Support Systems for Irrigation Scheduling - Example Pirapora Project (Brazil)**. mimeografado, 1989.
- CHRISTIANSEN, J. E. **Irrigation by Sprinkling**. Bulletin 670, University of California, Berkeley, California, 1942.
- GRIFFIN, S. G. **Computer Programming Solid Set Systems**. American Society of Agricultural Engineers, Utah State University, Logan, Utah, 1978.
- HARGREAVES, G. H. **Potencial Evapotranspiration and Irrigation Requirements for Northeast Brazil**. Utah State University, Logan, Utah, USA, 1974.

- KELLER, J. and KARMELI, D. **Trickle Irrigation Design**. 1st edition, Glendora, California, USA, 1975.
- KELSO, G. L. and JARRET, A. R. **Computer Model for Center Pivot Sprinkler Desing**. ASAE, Utah State University, Utah, 1978.
- MERRIAM, J. L. and KELLER, J. **Farm Irrigation : System Evaluation: A Guide for Management**. Utah State University, Logan, Utah, USA, 1978.
- OLLITA, A. F. L. **Capítulo 11: Projeto de Irrigação Localizada em Elaboração de Projetos de Irrigação**. Programa Nacional de Irrigação, Fundação CTH, Brasília, Distrito Federal, pp. T11.1-T11.57, 1986.
- SMITH, M. **Use of Computers in Consumptive Water Use and Irrigation Scheduling**. Land and Water Development Division. FAO, Rome, Italy, 1989.
- SOUZA, F. **Center Pivot - Hydraulic Analysis, Design and Management**. Internacional Irrigation Center, Department of Agricultural and Irrigation Engineer, Logan, Utah, 1989.
- SOUZA, F. **Manejo Computadorizado da Irrigação Utilizando o Programa "Cropwat" da FAO: Estudo de Caso de Híbridos de Milho (Zea mays, L.) no Vale do Curu - Ceará**. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, 1992. (Tese para o concurso de professor titular).
- TAHAL/SONDOTÉCNICA. **Aproveitamento Hidro-Agrícola da Bacia do Rio Curu - Projeto Executivo - Área de Paraipaba**. DNOCS/ MINTER, 2a. DR, Vol. 4, Fortaleza, Ceará, 1971.
- XEVI, E. and FEYEN, J. **Combined Soil Water Dynamic Model (SWATRER) and Summary Crop Simulation Model (SUCROS)**. Laboratory of Land Management, Heverlee, Belgium, 1989.
- ZAZUETA, F. S.; SMAJSTRLA, and HARRISON, D. S. **Trickle Irrigation Utilities**. University of Florida, Gainesville, Florida, USA, 1983.