

EPANET-IRRIG: Aperfeiçoamento do EPANET para Aplicações em Sistemas de Irrigação

Kennedy Flávio Meira de Lucena

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – IFPB

Avenida 1º de Maio, 720 – Jaguaribe – João Pessoa (PB)

kennedyflavio@yahoo.com.br

RESUMO: O dimensionamento de sistemas de irrigação exige a análise de muitas alternativas para que se obtenha a opção mais viável técnica e economicamente, o que requer na maioria das situações o auxílio de modelos computacionais. Existem diversos modelos computacionais disponíveis para o dimensionamento e análise de redes hidráulicas, mas com uso mais difundido no meio acadêmico. Neste trabalho, faz-se uma apresentação do modelo computacional denominado EPANET-IRRIG versão 1.0, que é um aperfeiçoamento do software EPANET 2.0, no qual foram inseridas novas funcionalidades que dizem respeito à melhoria de interface e, principalmente, ao desenvolvimento de um módulo para o dimensionamento hidráulico-econômico e a avaliação de redes hidráulicas. Os primeiros resultados obtidos com o EPANET-IRRIG já permitem ao usuário confiabilidade para o dimensionamento e a avaliação de sistemas de irrigação por gotejamento, microaspersão e aspersão. A interface criada para o módulo de irrigação permite agora que extensas redes, com numerosos pontos emissores, sejam mais facilmente modeladas. Os custos da rede de irrigação e da energia podem ser detalhadamente identificados, permitindo uma análise mais criteriosa do projeto com grande versatilidade.

PALAVRAS-CHAVE: modelo computacional, dimensionamento de sistemas de irrigação pressurizada, custos.

ABSTRACT: The design of irrigation systems requires the analysis of many alternatives to obtain the most viable option technically and economically, which in most cases requires the help of computer models. There are several computer models available for the design and analysis of hydraulic networks, but with more widespread use in academia. In this paper, we make a presentation of the computational model called EPANET-IRRIG version 1.0, which is an improvement of EPANET 2.0 software, which were inserted new features that relate to the improvement of interface and especially the development of a module for the hydraulic-economic assessment and hydraulic networks. The first results obtained with the EPANET-IRRIG already allow the user reliability for the design and evaluation of drip, trickle and sprinkler irrigation systems. The interface created for the module now allows extensive irrigation networks, with numerous points issuers can be more easily modeled. The cost of the irrigation network and energy can be identified in detail, allowing for a more thorough examination of the project with great versatility.

KEY-WORDS: computational model, pressurized irrigation systems design, costs.

1. Introdução

O setor agrícola do Brasil é o maior consumidor de água doce, com aproximadamente 70% da água usada, sendo de grande relevância a obtenção de estratégias que visem à economia desse recurso. Uma das medidas eficazes para reduzir o elevado consumo de água na irrigação é a aplicação de técnicas modernas de condução e distribuição da água. Os sistemas de irrigação pressurizados, como os de gotejamento e de microaspersão, destacam-se por sua potencialidade de um uso mais racional da água, o que é proporcionado pelo maior controle na distribuição d'água ao longo da rede.

A irrigação exerce papel fundamental na segurança alimentar do planeta com cerca de 17,7% da área total cultivada, sendo responsável por 40% da produção das colheitas, segundo dados relatados por Christofidis (2001). Embora se observe que há uma clara expansão das áreas irrigadas no Brasil ainda se tem um longo caminho a ser percorrido. Com relação aos métodos de irrigação empregados, os de superfície ainda são os principais, seguidos pelos de aspersão, pivô central e localizados Christofidis (2001). Porém, com os problemas de escassez dos recursos hídricos e as preocupações ambientais os métodos de aspersão e localizados vêm gradativamente se expandindo.

O dimensionamento de sistemas de irrigação pressurizados, a exemplo de sistemas de abastecimento de água, hidráulicamente, permite inúmeras possibilidades de configurações de redes que atendem às restrições físicas do problema. No entanto, o atendimento dessas restrições não garante a melhor concepção econômica do projeto, que dever ser perseguida e também priorizada. As redes de irrigação, normalmente, apresentam menor complexidade de dimensionamento e operação que as de abastecimento urbano. Podem-se citar, como aspectos diferenciadores que: as redes de irrigação são na sua grande maioria ramificadas; as demandas nos pontos emissores são praticamente invariáveis no tempo; não permitem grandes variações nas vazões dos emissores; apresentam pouca variabilidade operacional e apresentam menos incertezas nos processos hidráulicos.

O principal objetivo dos projetos de redes hidráulicas para irrigação é a obtenção da combinação mais viável, técnica e economicamente,

entre os custos fixos e os custos variáveis. Os sistemas de irrigação, devido à elevada demanda hídrica, consomem grande quantidade de energia com bombeamento que, em determinadas situações, pode ser o fator de insucesso dos empreendimentos. No entanto, em alguns sistemas como os de aspersão permanente ou os localizados, a rede de distribuição é o fator que mais afeta o custo total.

Do ponto de vista da hidráulica dos sistemas de irrigação o principal objetivo é o atendimento da uniformidade de distribuição da água. Esse objetivo dependerá de dois fatores principais: da variação de pressão na rede, provocada pelas perdas de carga nas tubulações e pela topografia da área, e, pela qualidade de fabricação dos emissores (aspersores, microaspersores, gotejadores e outros). Esses fatores influenciarão diretamente nos custos dos sistemas, pois quanto maior a uniformidade de distribuição da água maior o custo do sistema (LUCENA, 2005).

O problema de dimensionamento de redes de distribuição envolve grande número de variáveis e a solução de complexos sistemas de equações não lineares, o que tem levado vários pesquisadores a investigação de técnicas mais eficientes computacionalmente. Podem-se citar como estudos sobre o dimensionamento econômico de redes os trabalhos Alperovitz e Shamir (1977) com a programação linear, Gessler e Walski (1985) usaram a enumeração exaustiva, (Granados, 1986) aplicou a programação dinâmica, Cirilo (1997) e Lucena (2003) usaram a programação não linear.

Esses métodos e técnicas são amplamente difundidos no meio acadêmico, mas ainda têm pouca utilização pelos projetistas, que fazem uso de procedimentos menos eficientes de cálculo. Algumas dessas técnicas foram implementadas em modelos computacionais para a análise e dimensionamento de redes hidráulicas, a exemplo do EPANET (Rossman, 2002). Este software é de uso livre e evidencia grande visibilidade e aceitabilidade no setor de abastecimento urbano, para o qual foi prioritariamente desenvolvido. Embora o EPANET apresente potencialidades para o uso em projetos de irrigação não se tem presenciado esse tipo de aplicação.

Neste trabalho apresenta-se uma nova ferramenta para auxiliar no dimensionamento e avaliação de sistemas de irrigação, denominada

EPANET-IRRIG. O modelo é um aperfeiçoamento do EPANET com a incorporação de novas funcionalidades direcionadas à hidráulica de sistemas de irrigação e análise de custos de projeto e operacionais.

2. Dimensionamento de sistemas de irrigação

Os sistemas de irrigação constituem redes hidráulicas que tem por objetivo a garantia do fornecimento de água às culturas, de modo que toda a necessidade hídrica seja atendida, de acordo com o manejo adotado. Diferentemente das redes de abastecimento urbanas, os sistemas de irrigação são projetados na sua maioria em redes ramificadas, em função das particularidades operacionais e, principalmente por questões econômicas. Uma das características dos sistemas de microirrigação ou localizados é a necessidade de uma extensa rede de tubulações para cobrir toda área irrigada. Esse aspecto impõe aos mesmos um elevado custo de investimento com emissores, tubulações, sistema de tratamento de água, entre outros.

Uma das variáveis que mais afeta o dimensionamento é a definição da configuração topológica do sistema, ou seja, a sua forma e a divisão da rede em unidades operacionais. Porém, na maioria das situações a topologia do sistema é definida pela área a ser cultivada.

Uma estratégia de projeto apontada por muitos pesquisadores para a redução dos custos desses sistemas é a divisão da área em subunidades e a operação do sistema em unidades operacionais (Keller e Bliesner, 1990; Lucena, 2003). Embora os custos de implantação sejam os mais importantes para elaboração do projeto desses sistemas é cada vez maior a atenção dada aos custos energéticos operacionais, que podem reduzir ou até inviabilizar o empreendimento.

A busca da melhor concepção de projeto é complexa por envolver inúmeras variáveis de decisão, objetivos conflitantes como o custo da rede e o custo energético, não linearidade dos fenômenos e o elevado número de possibilidades de soluções de projeto, esses fatores convergem para a necessidade do desenvolvimento de modelos computacionais. Dentre as principais variáveis de interesse para o dimensionamento dos sistemas de microirrigação destacam-se: o lay out ou topologia da rede, o número de subunidades; o número de unidades operacionais, os comprimentos e diâ-

metros de tubulações, a pressão média de operação dos emissores na subunidade, os tempos e horários de operação e espaçamento entre emissores.

Hidraulicamente, o dimensionamento de um sistema de irrigação tem como objetivo principal a distribuição da água o mais uniforme possível ao longo de toda a área irrigada. A uniformidade de distribuição ou de emissão está diretamente relacionada às variações de pressão nas subunidades e às características de fabricação do emissor quando novo e as alterações funcionais provocadas com o uso. Um aspecto relevante é que maiores uniformidades implicam em maiores custos de sistema, sendo, portanto, mais uma variável importante do dimensionamento.

Muitos trabalhos foram desenvolvidos com o objetivo de obter o melhor desempenho hidráulico dos sistemas de irrigação, de modo que os cálculos sejam mais precisos e explícitos, a exemplo do cálculo das perdas de carga nas tubulações que possibilita o conhecimento da linha de energia e conseqüentemente uma maior certeza na estimativa da uniformidade de emissão (Lucena, 2000 e 2002; Ravikumar et al., 2003; Valiantzas, 2003). Outra abordagem da pesquisa científica aplicada é o desenvolvimento de modelos que melhorem a performance da otimização econômica dos sistemas de irrigação (LUCENA et al., 2000 e 2001; AJAI SINGH et al., 2000).

Dandy e Hassanli (1996) desenvolveram um modelo para o dimensionamento e operação ótimos de sistemas por gotejamento que considerou várias possibilidades de divisão do sistema em subunidade e unidades operacionais e obteve o custo mínimo de cada alternativa de rede. A técnica empregada foi a enumeração exaustiva e o modelo é aplicável áreas retangulares e em nível. Holzapfel et al. (1990), Saad e Frizzone (1996), Saad e Mariño (2002) utilizaram a programação não linear no dimensionamento de sistemas de microirrigação.

Dandy e Hassanli (1996) utilizaram algoritmos genéticos para o dimensionamento ótimo de sistemas com múltiplas subunidades. O modelo foi usado para otimizar o lay out e os diâmetros maiores da rede, enquanto o dimensionamento das subunidades foi realizado através da enumeração exaustiva.

3. EPANET-IRRIG: sistema computacional para dimensionamento e avaliação de redes de irrigação

3.1. Definição e características gerais

O EPANET foi concebido, originalmente, para ser uma ferramenta de apoio à análise de sistemas de distribuição, melhorando o conhecimento sobre o transporte e o destino dos constituintes da água para consumo humano, não tendo, portanto, o objetivo de dimensionamento econômico de redes de distribuição de água. O EPANET-IRRIG é o modelo computacional EPANET 2.0 acrescido de novas funcionalidades específicas para a elaboração e avaliação de projetos de sistemas de irrigação pressurizados (Figura 1). Desse modo, o EPANET-IRRIG apresenta novidades importantes que visam facilitar a implementação de redes destinadas à irrigação e o dimensionamento hidráulico-econômico. Portanto, além de melhorias na interface, o EPANET-IRRIG traz incorporadas ferramentas fundamentais para elaboração e avaliação de projetos de irrigação.

O EPANET-IRRIG tem, portanto, as mesmas potencialidades do EPANET 2.0, somadas àquelas direcionadas à elaboração e avaliação de projetos de irrigação. Permite executar simulações do comportamento hidráulico da água com ou sem bombeamento. Podem ser modelados: tubulações, bombas, válvulas, reservatórios de nível fixo e/ou reservatórios de nível variável, entre outros elementos físicos.

O EPANET-IRRIG assim como o EPANET 2.0 permite obter os valores da vazão e velocidades de fluxo em cada tubulação, da pressão e carga hidráulica em cada nó e outras variáveis do escoamento.

As principais contribuições do EPANET-IRRIG podem ser resumidas em:

- Maior agilidade na implementação de uma rede para irrigação;
- Dimensionamento de redes de irrigação considerando múltiplos objetivos;
- Ferramenta para avaliação de sistemas de irrigação por:
 - Determinação da variação de vazão dos emissores na parcela irrigada;

- Determinação variação de pressão dos emissores na parcela irrigada;
- Determinação da uniformidade de emissão na parcela irrigada.

O EPANET 2.0 contém um conjunto de ferramentas de cálculo para apoio à simulação e dimensionamento hidráulicos, podendo-se destacar (ROSSMAN, 2002):

- Número ilimitado de componentes da rede analisada;
- Utilização das fórmulas de Hazen-Williams, Darcy-Weisbach para o cálculo da perda de carga. No entanto, uma vez selecionada a equação de perda de carga para o projeto não se pode trabalhar com mais de uma equação ao mesmo tempo;
- Calcula as perdas de carga singulares em curvas, alargamentos, estreitamentos, etc;
- Possibilidade de modelagem de bombas de velocidade constante ou variável;
- Cálculo da energia de bombeamento e do respectivo custo;
- Modelagem dos principais tipos de válvulas, incluindo válvulas de seccionamento, de retenção, reguladoras de pressão e de vazão;
- Modelagem da relação entre pressão e vazão efluente de dispositivos emissores (ex., aspersores de irrigação, ou consumos dependentes da pressão). Uma limitação é não permitir a modelagem de emissores com expoentes positivos.
- Possibilidade de basear as condições de operação do sistema em controles simples, dependentes de uma só condição (ex., altura de água num reservatório de nível variável, tempo), ou em controles com condições múltiplas.

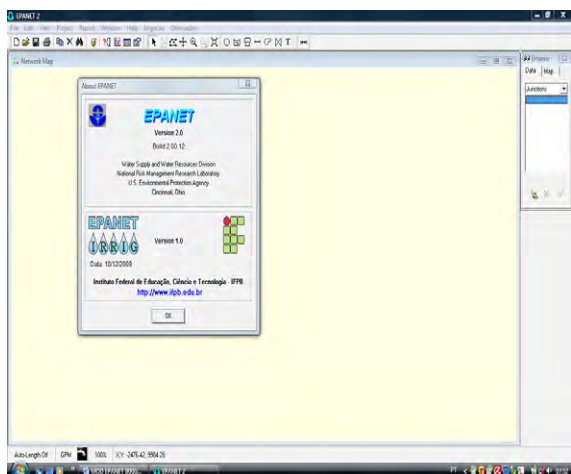


Figura 1. Apresentação da versão EPANET-IRRIG.

3.2. Utilização do EPANET-IRRIG

O EPANET-IRRIG pode ser empregado para o dimensionamento de subunidades (ou parcelas) de irrigação, sistemas de irrigação por aspersão ou localizados, assim como, no dimensionamento de redes adutoras para alimentação das áreas irrigadas.

- Para modelagem de um sistema de irrigação através do EPANET-IRRIG são utilizados os seguintes passos:
- Desenhar uma representação esquemática do sistema de irrigação;
- Editar as propriedades dos objetos (componentes) que constituem o sistema;
- Editar as propriedades de entrada para o dimensionamento;
- Selecionar os parâmetros do modelo de otimização (etapa a ser desenvolvida);
- Executar simulação hidráulica;
- Visualizar os resultados da otimização;
- Emitir os relatórios do dimensionamento.

3.3. Instalação do EPANET-IRRIG

A instalação do EPANET-IRRIG não tem diferenciação do EPANET 2.0. Assim, “funciona em ambiente Microsoft® Windows 98/XP/Vista® para microcomputadores compatíveis com os sistemas IBM/Intel. É distribuído como um único

arquivo, (exemplo, irr1setup.exe), o qual contém um programa de configuração que é automaticamente extraído”. Para instalar o EPANET-IRRIG seguem-se os mesmos procedimentos do EPANET 2.0 (ROSSMAN, 2002).

3.4. Componentes físicos de uma rede de irrigação

Assim com no EPANET 2.0 o EPANET-IRRIG modela um sistema de irrigação como sendo um conjunto de trechos ligados a nós. Os Trechos (links) representam as Tubulações, Bombas e Válvulas de controle. Os Nós representam Conexões, Reservatórios de Níveis Fixos (RNF) e Emissores. A Fig. (2) ilustra o modo como estes objetos podem ser unidos entre si, para constituir uma rede.

3.5. Traçado de uma rede de irrigação

Componentes físicos necessários para dimensionamento de uma rede de irrigação (Figura 3):

- Reservatório de nível fixo (**Add Reservoir**);
- Nós de conexão e nós emissores (**Add Junction**);
- Tubulação (**Add Pipe**);
- Válvulas de controle de fluxo (**Add Valve**).

Passos para desenhar a rede:

- Em primeiro lugar, adicione o reservatório de nível fixo (**Add Reservoir**). Clique no botão **Add Reservoir**, para selecioná-lo. A seguir, clique com o *mouse* no ponto do mapa onde pretende inserir este componente (lado esquerda do mapa).
- A seguir, adicione os nós. Clique no botão **Add Junction**, para selecioná-lo e, em seguida, clique nos pontos do mapa onde pretende colocar os nós.
- Para criar os tubos clique em **Add Pipe**, para selecioná-lo e com o *mouse* ligue um nó a outro.
- Caso se deseje dividir um tubo em vários segmentos menores pode-se utilizar a nova funcionalidade **Dividir Tubo**. Com

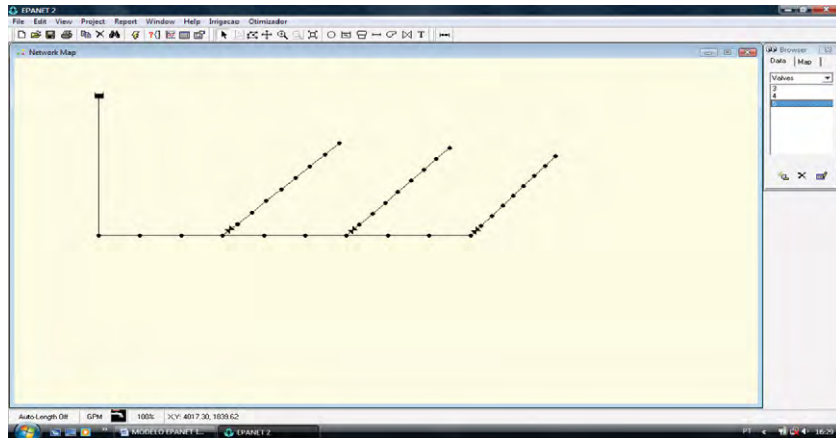


Figura 2. Elementos que compõem uma rede de irrigação no EPANET-IRRIG.

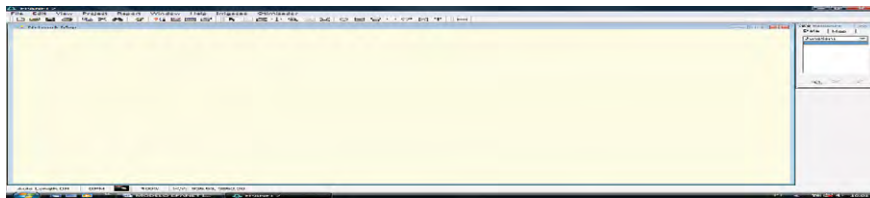


Figura 3. Principais funções usadas no desenho de uma rede no EPANET-IRRIG.

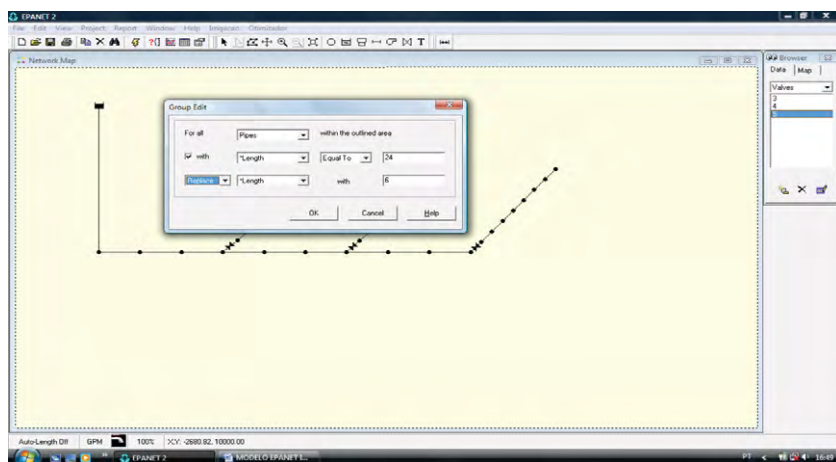


Figura 4. Alteração dos comprimentos de tubos no EPANET-IRRIG.

para selecioná-la, e com o mouse ligue um nó a outro.

Uma nova funcionalidade desenvolvida, especificamente para o EPANET-IRRIG, foi a possibilidade de alteração do comprimento (***Lengh**) de um grupo de tubos, permitindo ao modelador maior rapidez na edição da malha e na elaboração de projetos quando dimensionando por tentativa uma rede Fig. (4). Essa função é particularmente importante para sistemas de irrigação que tem tubulações com comprimentos uniformes ou padrões.

3.6. Especificação da entrada de dados de projeto

O usuário deverá inserir os *diâmetros internos* de tubos comerciais que poderão ser selecionados no dimensionamento, antes ou após o desenho da rede. A partir dessa informação a rede de irrigação deve ser desenhada com diâmetros que existem na entrada de dados de projeto, caso contrário os diâmetros não coincidentes não terão seus custos computados. Ou seja, os diâmetros finais do dimensionamento devem constar dos diâmetros da entrada de dados (Figura 5). São necessárias as seguintes informações dos tubos de polietileno e de PVC: diâmetro interno (mm), pressão nominal (mca) e custo do tubo (R\$/m).

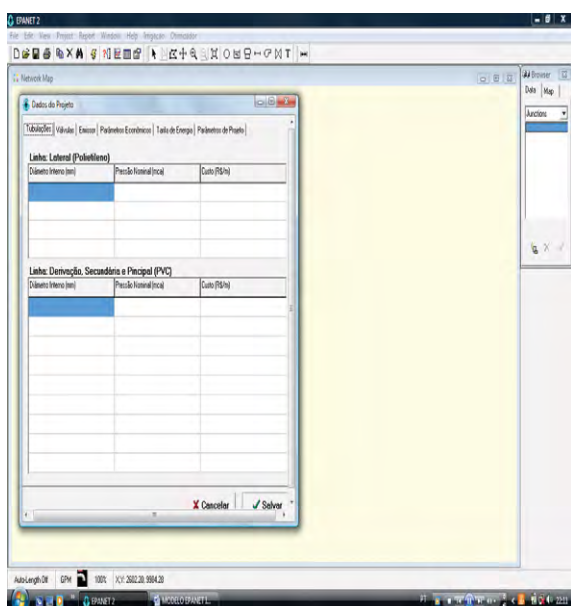


Figura 5. Entrada de dados de tubulações comerciais aplicáveis ao dimensionamento.

As válvulas empregadas no dimensionamento têm a função de controlar as unidades em operação com a abertura e fechamento total. As unidades em funcionamento têm suas válvulas abertas. O custo da válvula é obtido em função do seu diâmetro e sua classe de pressão. No processo de otimização o diâmetro da válvula será determinado pelo diâmetro do tubo a jusante ligado à mesma. Dessa forma os custos das válvulas deverão ser ajustados para os diâmetros comerciais de tubos inseridos. Poderão ser inseridos até seis diâmetros de válvulas (Figura 6).

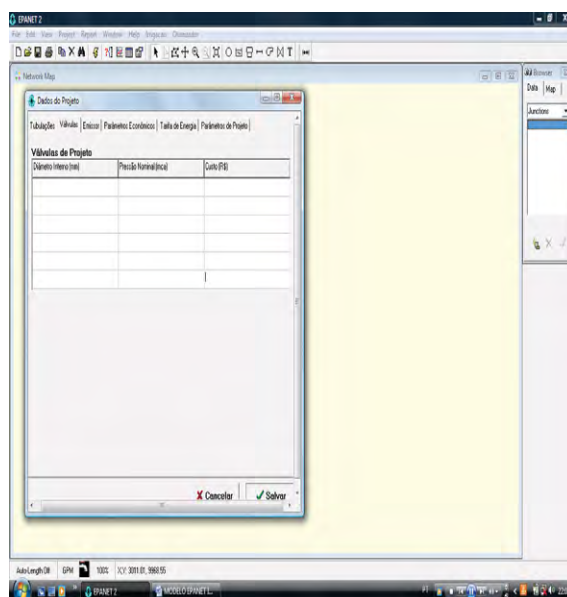


Figura 6. Entrada de dados válvulas comerciais aplicáveis ao dimensionamento.

Com relação aos emissores são necessárias as seguintes informações: pressão nominal (mca), vazão respectiva (l/h), diâmetro molhado (m), coeficiente de variação de fabricação e custo do emissor (Figura 7). Atualmente o modelo só utiliza no dimensionamento os dados de custo e do coeficiente de variação de fabricação. O coeficiente e expoente da equação do emissor são inseridos diretamente no EPANET, mas no futuro esses parâmetros serão obtidos diretamente dos dados do emissor. Assim como, da mesma forma os parâmetros da equação do diâmetro molhado poderão ser obtidos.

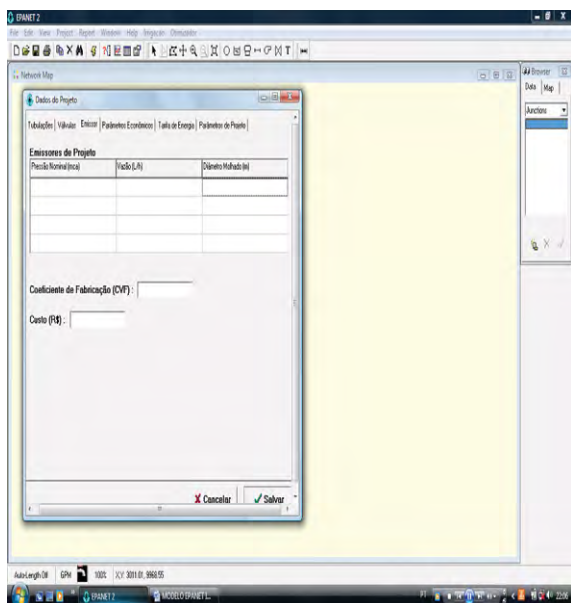


Figura 7. Entrada de dados do emissor.

Os custos fixos ou de investimentos são amortizados anualmente sendo necessários os dados sobre tempo de amortização e taxa de juros (Figura 8).

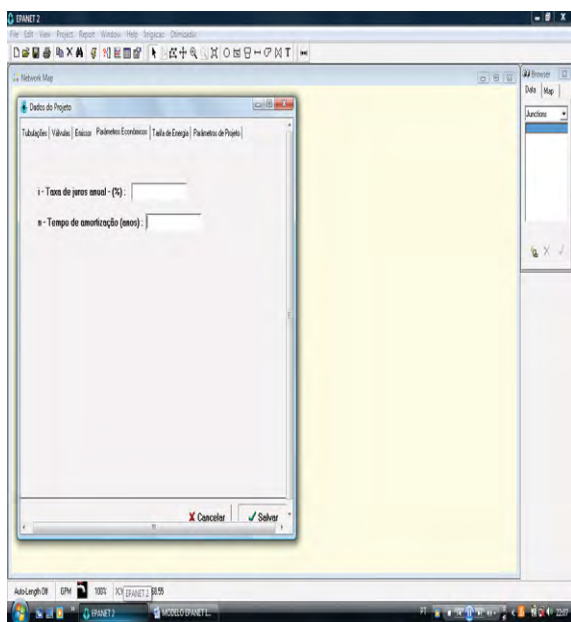


Figura 8. Entrada de dados relacionados aos custos financeiros do projeto.

Os custos operacionais com energia elétrica poderão ser obtidos com diferentes tarifas, com ou sem desconto, que foram consideradas como tarifa normal e tarifa reduzida (Figura 9). A tarifa

reduzida é usada no cálculo do custo com o tempo de irrigação no período do dia de menor tarifação e o tempo que ultrapassar será usado na tarifa normal. Caso não haja a possibilidade de redução de tarifa, as duas terão o mesmo valor inserido. O valor da tarifa da demanda será inserido após a obtenção do dimensionamento final do sistema.

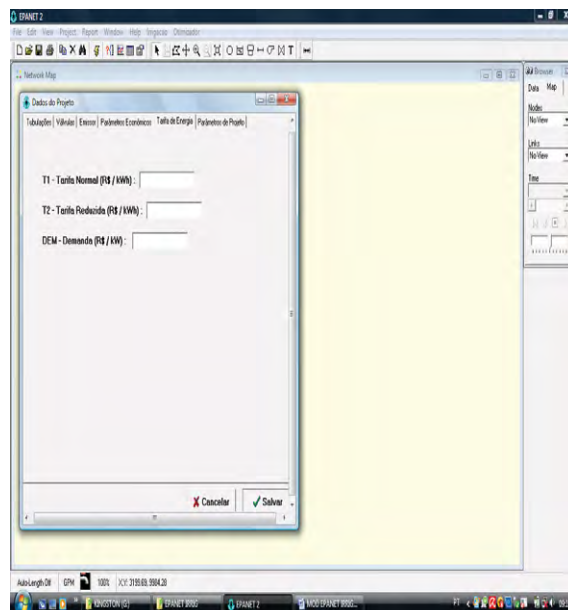


Figura 9. Entrada de dados relacionados ao custo da energia elétrica.

Na Fig. (10) são apresentados alguns parâmetros importantes relacionados ao dimensionamento e à operação do sistema de irrigação: tempo disponível diário de operação (h), frequência de irrigação (dia), número de emissores por planta, número de dias irrigados por ano, parâmetros para o cálculo do custo do conjunto motor-bomba, parâmetros para o cálculo do custo do sistema de filtragem, evapotranspiração máxima (mm/dia), evapotranspiração média (mm/dia), coeficiente de sombreamento (Ks), espaçamento dos emissores na linha (Ee) em m, espaçamento dos emissores entre linhas (EL) em m e eficiência de aplicação (Ea) em %. Os parâmetros do conjunto motor-bomba e do sistema de filtragem devem ser obtidos para um modelo potencial com os dados do mercado. Caso não se deseje esses custos pode-se inserir o valor zero para os mesmos.

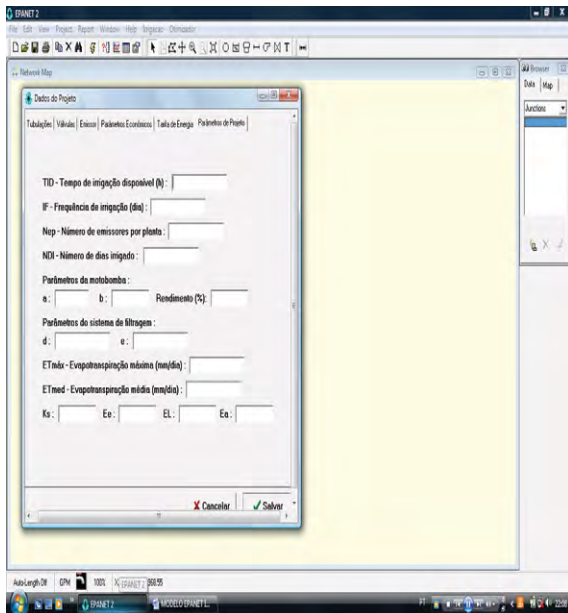


Figura 10. Entrada de dados relacionados a parâmetros de operação e custos de equipamentos.

Desenhada a rede e concluída a entrada de dados o EPANET-IRRIG já permite fornecer alguns dados importantes sobre os custos da rede antes mesmo de se executar uma simulação. Executando-se uma simulação os dados relativos aos custos com a operação (energia elétrica) e dos equipamentos, cujos custos dependem de resultados da simulação (ex. conjunto moto-bomba, sistema de filtragem), são apresentados (Figura 11).

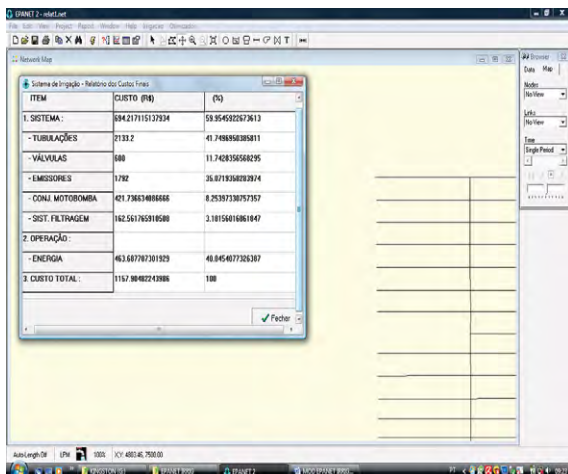


Figura 11. Relatório dos custos do sistema após uma simulação.

Além dos custos do sistema o EPANET-IRRIG fornece um relatório final da operação que proporciona ao projetista uma avaliação do dimensionamento realizado em termos de performance hidráulica do sistema e das condições gerais da condução da irrigação. Dessa forma, essa funcionalidade permite que sejam avaliados não apenas os novos projetos, mas também sejam avaliados os sistemas em uso serve como importante ferramenta para a reabilitação de redes de irrigação. Na Fig. (12) são apresentados os parâmetros de avaliação do sistema de irrigação.

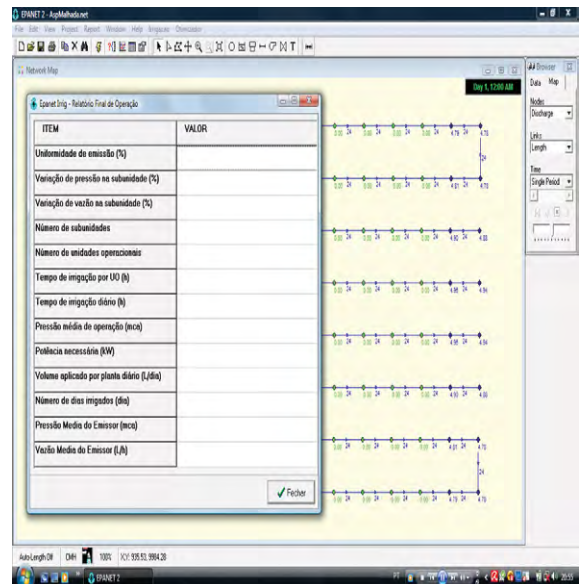


Figura 12. Relatório com indicadores de desempenho do dimensionamento e operação do sistema.

4. Aplicação: dimensionamento de um sistema de microaspersão com seis subunidades

Foram realizadas várias aplicações em projetos de sistemas de irrigação por aspersão, gotejamento e microaspersão para avaliação do EPANET-IRRIG.

A seguir apresenta-se um exemplo de dimensionamento de sistema de microaspersão.

Dados de entrada:

- Espaçamento entre linhas: 7 m
- Espaçamento entre plantas na fileira: 7 m

- Equação de perda de carga: Hazen-Williams
- Comprimento da linha lateral: 35 m
- Comprimento da linha de derivação: 42 m
- Área irrigada por subunidade: 0,3430 ha
- Área irrigada total: 2,058 ha
- Número de emissores por planta: 1
- Coeficiente do emissor: 0,3795
- Expoente do emissor: 0,4841
- Coeficiente de variação de fabricação: 0,05
- Custo do emissor: R\$ 3,00
- Número de emissores: 420
- Número de dias irrigados: 300

Nas Fig. (13, 14, 15 e 16) tem-se os principais resultados do dimensionamento.

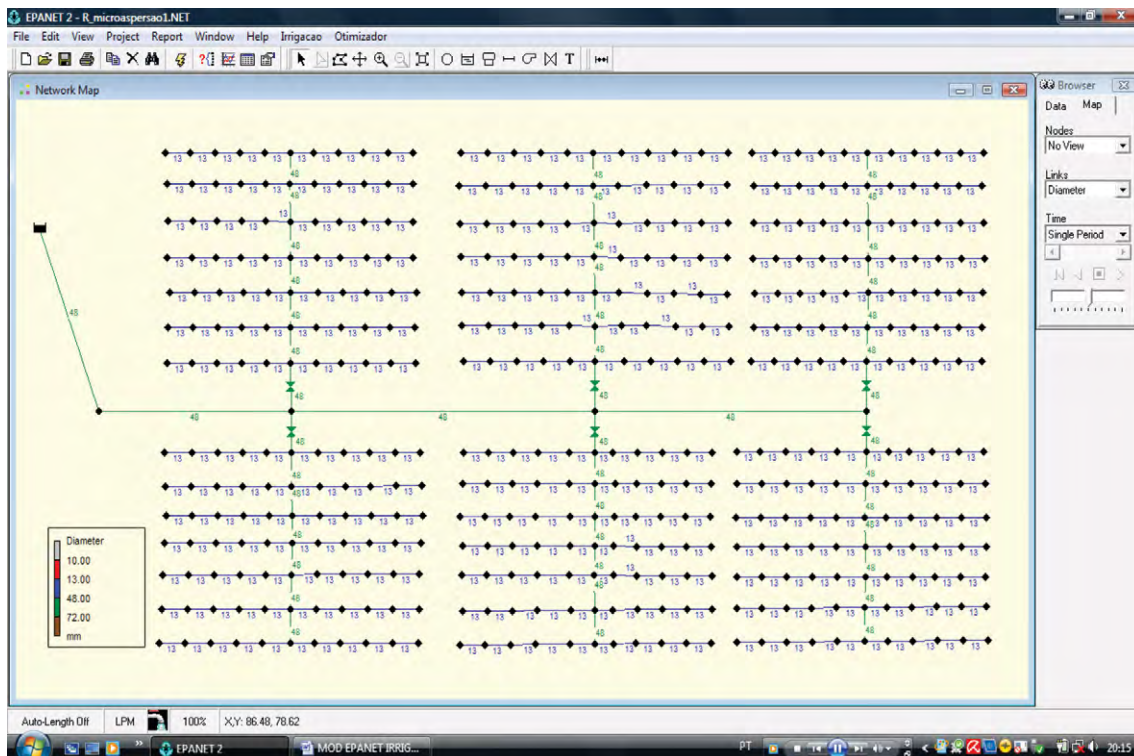


Figura 13. Diâmetros (mm) do dimensionamento do sistema.

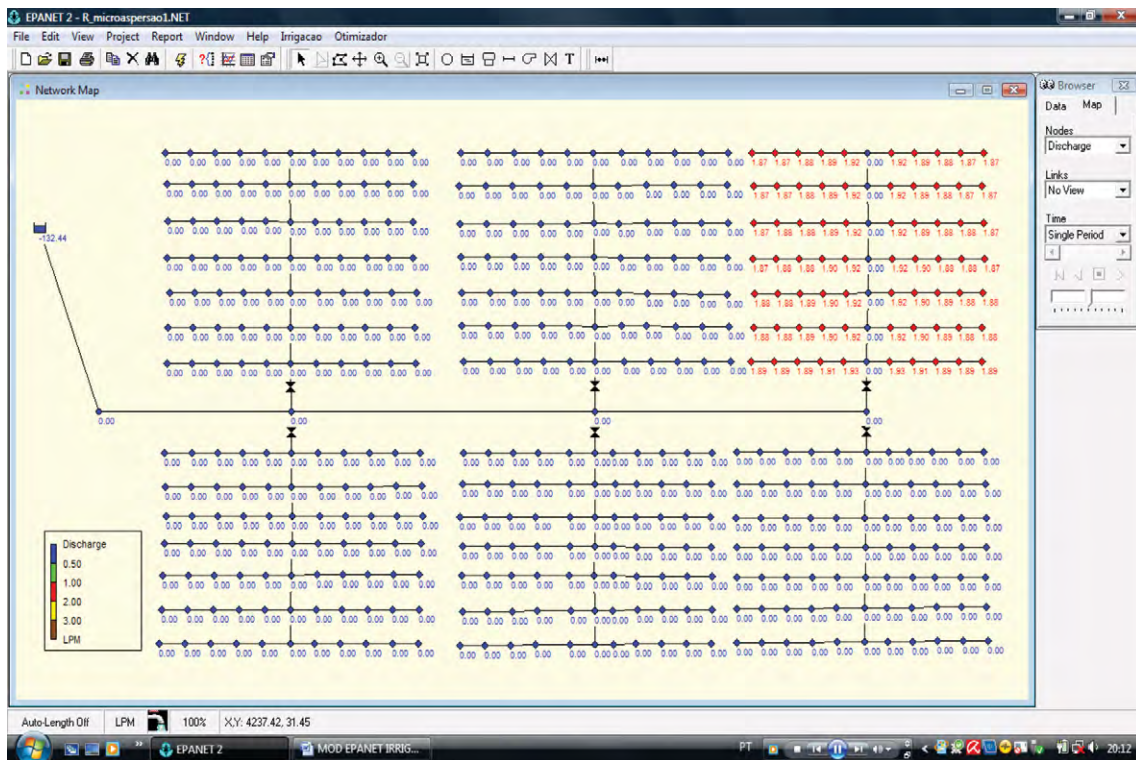


Figura 14. Descarga (L/min) dos emissores no sistema.

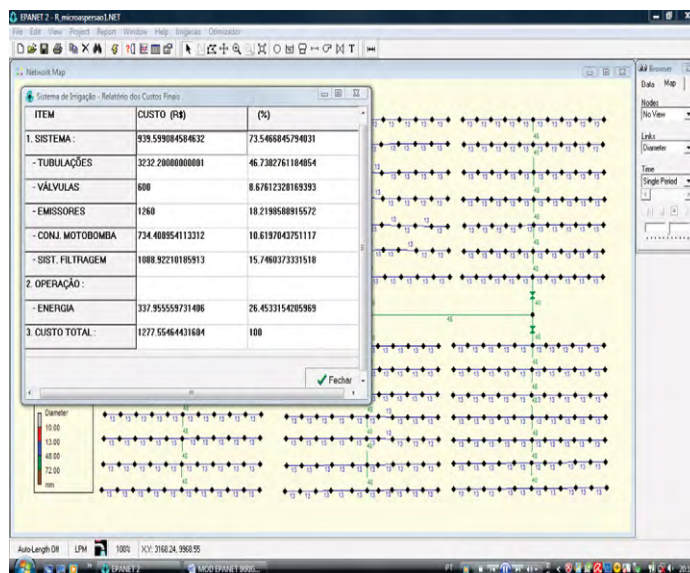


Figura 15. Apresentação dos custos do sistema.

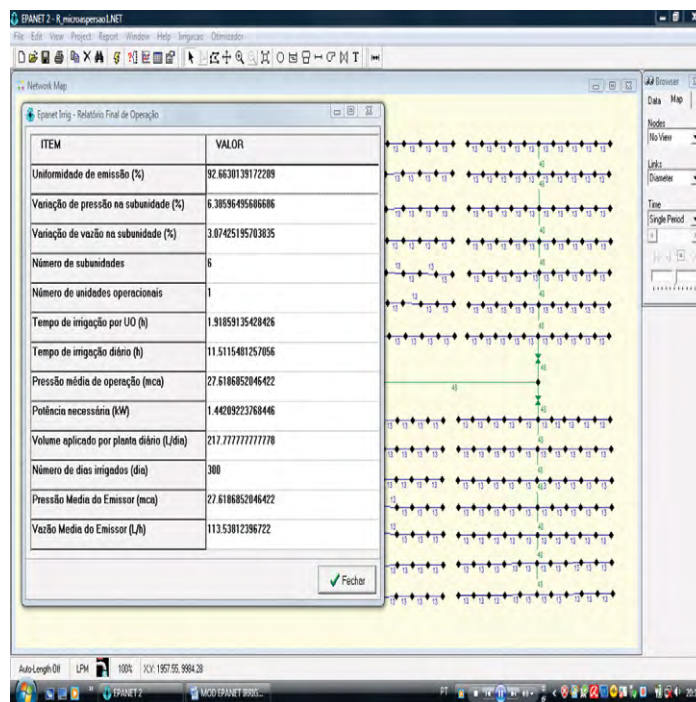


Figura 16. Resultados operacionais do dimensionamento do sistema.

5. Conclusões

Muitos modelos já foram desenvolvidos para o dimensionamento e operação de redes de irrigação, no entanto, não se tem conhecimento da popularização do uso desses modelos entre os projetistas que continuam empregando métodos menos precisos de cálculos e em muitos casos apenas a própria experiência. A escolha do software EPANET 2.0 como foco deste estudo deveu-se basicamente pelo mesmo ter uso consagrado para simulação de sistemas de abastecimento de água e pelo potencial que tem para aplicações de irrigação. No entanto, foram constatadas limitações importantes do modelo para aplicações a sistemas de irrigação. Desse modo, foram promovidas melhorias significativas ao EPANET 2.0, com as quais apresentou-se o EPANET-IRRIG. Esse modelo têm muito a contribuir com a área de irrigação, seja no dimensionamento de novos sistemas pressurizados ou na avaliação da performance dos sistemas. Estes dois aspectos são relevantes para sustentabilidade ambiental uma vez que racionalizamos dois insumos importantes água e energia. A interface criada para o módulo de irrigação permite agora que extensas redes, com numerosos pontos emissores, sejam

mais facilmente modeladas. Os custos da rede de irrigação e da energia podem ser detalhadamente identificados, permitindo uma análise mais criteriosa do projeto com grande versatilidade.

6. Agradecimentos

Ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo suporte financeiro ao projeto.

7. Referências

AJAI SINGH; SINGH, R.P.; MAHAR, P.S.; SINGH, K.K. Optimal design of tapered microirrigation submain manifold. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York v. 126, n. 6, p.371–374, 2000.

ALPEROVITZ, E.; SHAMIR, U. (1977). Design of optimal water distribution systems, **Water Resources Research**, Ago, Vol. 13, No. 6, p. 885-900.

- CIRILO, J. A. **Programação não linear aplicada a recursos hídricos**. In: Técnicas quantitativas para o gerenciamento de recursos hídricos. Organizador: Rubem Laina Porto. Editora da Universidade. UFRGS. ABRH. Porto Alegre. p. 305-359. 1997.
- CRISTOFIDIS, D. Os recursos hídricos e a prática da irrigação no Brasil e no mundo. **Irrigação & Tecnologia Moderna – ITEM**. Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem. ABID. n. 49, p. 8-13. 2001.
- DANDY, G. C.; HASSANLI, A. M. Optimum design and operation of multiple subunit drip irrigation systems. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 122, n. 5, p. 265-275. 1996.
- GESSLER, J.; WALSKI, T. M. (1985). **Technical Report EL-85-11: Water distribution system optimization**, DC, USA: U.S. Army Corps Engineers, Washington.
- GRANADOS, A. **Infraestructuras de regadíos – Redes colectivas de riego a presión**. Servicio de Publicación de la E.T.S.I. de Caminos de la Universidad Politécnica de Madrid. 1990.
- HOLZAPFEL, E.A.; MARIÑO, M.A.; VALENZUELA, A. Drip irrigation nonlinear optimization model. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v.116, n.4, p. 479-496, 1990.
- KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkle and trickle irrigation**. Van Nostrand Reinhold, New York. 1990. 652p.
- LUCENA, K. F. M. 2005. Uso do EPANET no dimensionamento de um sistema de irrigação. V SEREA - Seminario Iberoamericano sobre Planificación, Proyecto y Operación de Sistemas de Abastecimiento de Agua. Valencia. **Anais...**, 2005. 14 P.
- LUCENA, K. F. M.; MATOS, J. A. Análise econômica em subunidades de irrigação localizada. In: XXX CONBEA, 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...**, 2001. 4p.
- LUCENA, K. F. M. Dimensionamento e operação de sistemas de irrigação localizada considerando diferentes tarifas de energia elétrica e tempos de irrigação. In: Seminário Planejamento, projeto e operação de redes de abastecimento de água, o estado da arte e questões avançadas, 2002, João Pessoa. **Anais...**, 2002. 8p.
- LUCENA, K. F. M. **Modelo de otimização para o dimensionamento e operação de sistemas de microirrigação**. Universidade Federal de Campina Grande - PB. Tese de Doutorado. 2003. 187 p.
- LUCENA, K.F.M.; GALVÃO, C.O.; GOMES, H.P.; MATOS, J.A. Otimização de subunidades de irrigação localizada. In: XXIX CONBEA, 2000, Fortaleza. **Anais...**, 2000. 4p.
- RAVIKUMAR, V.; RANGANATHAN, C.R.; BOSU, S.S. Analytical equation for variation of discharge in drip irrigation laterals. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York v. 129, n. 4, p.295–298, 2003.
- ROSSMAN, L. A. **Manual do utilizador EPANET 2.0**. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal, 2002.
- SAAD, J.C.C.; FRIZZONE, J.A. Design and management optimization of trickle irrigation systems using non-linear programming. **Journal of Agricultural Engineering Research**. Silsoe Research Institute, Silsoe, UK, v.64, p.109 – 118, 1996.
- SAAD, J.C.C.; MARIÑO, M.A. Modelos de programação linear e não linear para otimização do dimensionamento de sistemas de irrigação localizada. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 31, 2002, Salvador, Brasil. **Anais...** 2002. p. 978-981.
- VALIANTZAS, J.D. Explicit Hydraulic design of microirrigation submain units with tapered manifold and laterals. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York v. 129, n. 4, p.227–236, 2003.