

## **IRRIGAR – APLICATIVO COMPUTACIONAL PARA O DIMENSIONAMENTO ECONÔMICO DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO CONVENCIONAL**

Luciano Oliveira Geisenhoff<sup>1</sup>, Danilo de Mattos Flores<sup>2</sup>, Raimundo Rodrigues Gomes Filho<sup>3</sup>,  
Rodrigo Couto Santos<sup>4</sup>, Rodrigo Aparecido Jordan<sup>5</sup>, Lucas Caldas de Oliveira<sup>6</sup>.

### **RESUMO**

O presente trabalho relata as técnicas e os métodos adotados no desenvolvimento do aplicativo IRRIGAR usando programação orientada a objeto utilizando-se o compilador Microsoft Visual Basic for Applications 8.0 (VBA), um programa específico para a elaboração de projetos de irrigação por aspersão convencional que tem o propósito de facilitar o dimensionamento econômico de sistemas que utilizam energia elétrica da rede de distribuição de concessionárias brasileiras. O aplicativo oferece suporte para o dimensionamento agrônômico e operacional do sistema e permite a definição do layout de irrigação. As perdas de carga contínuas são determinadas pela equação universal de Darcy-Weissbach e as localizadas estimadas ou calculadas pelo método direto. As linhas laterais são dimensionadas pelo critério da máxima perda de carga permitida e as demais linhas do sistema pela análise de custos com auxílio da equação de Bresse. Este Programa é uma ferramenta que pode ser utilizada como contribuição direta para melhoria da eficiência econômica dos sistemas de irrigação por aspersão convencional, ajudando a viabilizar a utilização desse método na agricultura e o aproveitamento racional dos insumos envolvidos.

**Palavras-chave:** projeto, agricultura, tecnologia, simulação, eficiência econômica.

## **IRRIGAR - COMPUTER APPLICATION FOR SIZING OF ECONOMIC SYSTEMS IRRIGATION BY SPRINKLER**

### **ABSTRACT**

---

<sup>1</sup> Eng. Agrônomo, Docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UFGD, Dourados, MS. E-mail: [lucianogeisenhoff@ufgd.edu.br](mailto:lucianogeisenhoff@ufgd.edu.br)

<sup>2</sup> Especialista em Gestão Energética, Mestrado em Engenharia agrícola - UFGD, Dourados, MS. E-mail: [lucianogeisenhoff@ufgd.edu.br](mailto:lucianogeisenhoff@ufgd.edu.br)

<sup>3</sup> Eng. Agrônomo, Docente do Departamento de Engenharia Agrícola, UFS/ São Cristóvão, SE. E-mail: [rrgomesfilho@hotmail.com](mailto:rrgomesfilho@hotmail.com)

<sup>4</sup> Eng. Agrícola, Docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UFGD, Dourados, MS. E-mail: [rodrigocouto@ufgd.edu.br](mailto:rodrigocouto@ufgd.edu.br)

<sup>5</sup> Eng. Agrícola, Docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UFGD, Dourados, MS. E-mail: [rodrigojordan@ufgd.edu.br](mailto:rodrigojordan@ufgd.edu.br)

<sup>6</sup> Graduando em Engenharia Agrícola. DEAGRI/UFS. São Cristóvão, SE. E-mail: [lucascaldas95@gmail.com](mailto:lucascaldas95@gmail.com)

This paper describes the techniques and methods used in the development of IRRIGATE application using object-oriented programming using Microsoft Visual Basic for Applications 8.0 compiler (VBA), a specific program for the development of conventional sprinkler irrigation projects that have the purpose of facilitating the economic design of systems that use electrical energy distribution Brazilian dealer network. The application supports the agronomic and operating system design and allows the definition of the layout of irrigation. Continuous load losses are determined by universal Darcy-Weissbach and the localized estimated or calculated by the direct method. The sidelines are scaled by the criterion of maximum permissible load loss and the other lines of the system by cost analysis with the help of Bresse equation. This program is a tool that can be used as a direct contribution to the increase of economic efficiency of irrigation by sprinkler systems, helping to enable the use of this method in agriculture and the rational use of inputs involved.

**Keywords:** design, agriculture, technology, simulation, economic efficiency.

## INTRODUÇÃO

Segundo Prado (2016) a irrigação por aspersão convencional se adapta a quase todas as culturas, entretanto, por aplicar a água simulando uma chuva artificial, interfere um pouco nos tratamentos fitossanitários. Esse método de irrigação apresenta vantagem crescente de utilização com o aumento da textura do solo, sendo recomendado para os locais que não apresentam ventos fortes, temperaturas altas e umidades relativas do ar baixas.

De acordo com Saretta et al. (2018) o projeto de um sistema de irrigação por aspersão convencional consiste no dimensionamento dos componentes do sistema e deve ser dividido em duas etapas, o dimensionamento agrônomico e operacional e o dimensionamento hidráulico. O projeto é elaborado considerando a máxima evapotranspiração que a cultura poderá apresentar no ciclo vegetativo e a maior altura manométrica que deverá ser superada para realizar a irrigação.

No projeto agrônomico e operacional, o único componente do sistema dimensionado é o aspersor. Esta etapa é fundamental, tanto para que esse componente seja determinado de acordo com a necessidade hídrica da cultura e limitações físicas do solo, como também, para a etapa de dimensionamento hidráulico do projeto, pois de certa forma, esta define as vazões das linhas do sistema, de acordo, com o turno de rega, o período de irrigação e o tempo de funcionamento diário que foram estabelecidos em projeto (SALOMÃO et al., 2014).

Excluindo as linhas laterais, que devem ser dimensionadas pelo critério da máxima perda de carga permitida para garantir baixa variação da vazão de água emitida pelos aspersores, as demais linhas do sistema são dimensionadas considerando a análise de custos, conforme descrito por Kresović et al. (2016). Neste caso, contam com o auxílio da equação de Bresse, que serve para indicar os valores dos diâmetros a serem experimentados conforme a faixa econômica adotada de velocidades do escoamento da água em condutos forçados (SAHASRABUDHE, 2013).

Os custos de implantação correspondem aos de componentes e serviços necessários para a instalação do sistema, como tubulações, motobomba, instalações elétricas, mão de obra de instalação e outros. Em contrapartida, os custos de operação correspondem aos necessários para o funcionamento do sistema, como os de manutenções e principalmente com energia elétrica (KIMMICH, 2013; ZOU et al., 2013).

Os custos de implantação e operação apresentam tendência de serem antagônicos, ou seja, quando um aumenta o outro diminui. Além disso, ocorrem em períodos de tempo diferentes, pois enquanto os custos de implantação ocorrem totalmente na instalação do sistema, os de operação ocorrem durante a vida útil e conforme o tempo de funcionamento do mesmo. (JIMÉNEZ-BELLO et al., 2015) afirmam que quando se aumenta o diâmetro das tubulações de um sistema, os custos de implantação aumentam. No entanto, como as perdas de carga diminuem, os custos de

operação são menores, devido à economia de energia elétrica.

Tarjuelo et al. (2015) ressaltam a importância do dimensionamento econômico para reduzir o custo referente à utilização da energia elétrica, que de todos os custos envolvidos é o de maior impacto e pode inviabilizar a utilização do sistema de irrigação. Segundo os autores, a equação de Darcy-Weisbach para determinação das perdas de carga do tipo contínua, deve ser utilizada em preferência às demais, pois, esta é a única equação que possui o valor do fator de atrito dinâmico, as variações de velocidade e temperatura da água.

Com a finalidade de facilitar o dimensionamento de sistemas de irrigação e principalmente diminuir seus custos operacionais e de projeto, tem ocupado cada vez mais lugar de destaque a utilização de recursos computacionais durante todo o processo de implantação e gestão dos sistemas. Inicialmente foram criados modelos computacionais de gestão para irrigação baseados em variáveis climáticas de forma a se obter uma melhor interação entre o sistema e o ambiente. Porém, estes modelos eram programados apenas para eventos climáticos constantes, não estando preparados para fenômenos inesperados, como chuvas quando se estava irrigando, tempestades ou secas prolongadas que alteravam a qualidade do solo (DUTTA et al., 2014; GIUSTI & MARSILI-LIBELLI, 2015).

Navarro-Hellína et al. (2016) desenvolveram um Sistema Inteligente de Apoio à Decisão na Irrigação (SIDSS) automático proposto para gerenciar a irrigação na agricultura. Este programa calcula a necessidade de irrigação semanal para um determinado projeto, podendo haver diferentes aplicações de lâminas de irrigação ao mesmo tempo ou não, para locais distintos da área, com base nas características do solo e variáveis climáticas, de acordo com vários sensores instaladas em campo. Isso permite que seja adaptado um sistema de suporte à decisão refletindo nos custos operacionais e erros de estimativa se fosse considerado um único ambiente para toda área irrigada. A pesquisa foi

validada testando-se o sistema computacional em três plantações comerciais de citros localizados no sudeste da Espanha e comparando-se o desempenho com decisões tomadas por um especialista humano.

Assim, o uso de um aplicativo computacional na elaboração do projeto agrega muitos benefícios, tais como, economia de tempo, diminuição da possibilidade de erros e facilidade para a simulação e análise de condições alternativas de instalação e funcionamento do sistema, colaborando para o incremento da eficiência econômica e para o uso racional dos insumos envolvidos.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Apresentação do aplicativo computacional

O aplicativo computacional - IRRIGAR foi desenvolvido para servir de ferramenta de apoio na elaboração de projetos de irrigação por aspersão convencional que apresentam a necessidade de utilizar bomba centrífuga do tipo eixo horizontal ou submersa, acionada por motor elétrico de indução, abastecido com energia elétrica da rede de distribuição de concessionárias brasileiras. IRRIGAR foi idealizado, após criterioso estudo das técnicas de projeto e dimensionamento econômico amplamente difundidos e já adotados na área.

O aplicativo IRRIGAR usando programação orientada a objeto é proposto para fazer dimensionamento agrônomo, operacional, hidráulico e econômico através do método das tentativas, exceto para as linhas que utiliza o método convencional.

Foram aplicados alguns conceitos sobre tarifação e fornecimento de energia elétrica com base na Resolução Normativa nº 414, de 09 de setembro de 2010 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e, também nas normas da concessionária de energia elétrica de Mato Grosso do Sul, NOR-TDE 101 e NOR-TDE 102 (ENERSUL), pois considerou-se importante introduzir no aplicativo a possibilidade de inclusão do custo do posto de transformação de energia elétrica da região, para os projetos em que o mesmo se faz necessário.

IRRIGAR foi desenvolvido para auxiliar na elaboração de projetos e no processo de automação e regulação do ponto ótimo de funcionamento de motobombas, uma vez que sua estrutura modular permite a simulação de qualquer combinação de posições das linhas laterais dentro da área irrigada.

### Ambiente, metodologia e recursos para a elaboração de projetos

O aplicativo computacional – IRRIGAR foi desenvolvido em linguagem de programação orientada a objeto utilizando-se o compilador Microsoft Visual Basic for Applications 8.0 (VBA). Possui um ambiente formado por 21 (vinte e uma) janelas, que podem ser visualizadas, minimizadas, maximizadas e encerradas, com a finalidade de facilitar a elaboração de projetos e as simulações das condições alternativas de instalação e funcionamento do sistema de irrigação.

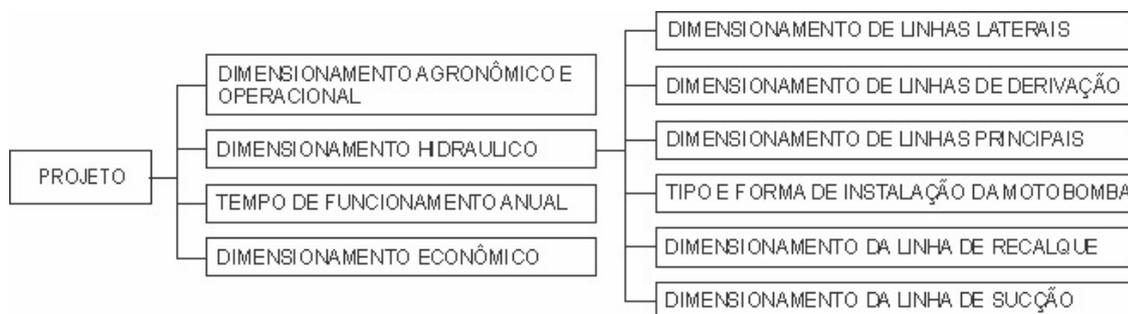
Na Figura 1 pode ser observada a janela principal do aplicativo computacional –

IRRIGAR, com os menus PROJETO e CONFIGURAÇÕES localizados no canto superior esquerdo.



**Figura 1.** Janela principal do aplicativo computacional - IRRIGAR com os menus projeto e configurações.

Na Figura 2 observa-se o diagrama do menu PROJETO, que dá acesso às janelas do aplicativo IRRIGAR, destinadas à elaboração de projetos.

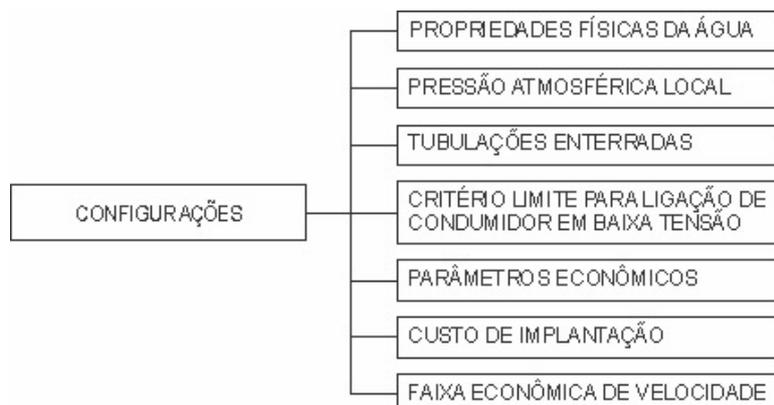


**Figura 2.** Diagrama de acesso do menu PROJETO.

Na Figura 3 observa-se o diagrama do menu CONFIGURAÇÕES, que dá acesso às janelas do aplicativo

computacional – IRRIGAR, destinadas às configurações dos recursos disponíveis.

IRRIGAR – APLICATIVO COMPUTACIONAL PARA O DIMENSIONAMENTO ECONÔMICO DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO CONVENCIONAL



**Figura 3.** Diagrama de acesso do menu configurações. Diagram of the settings menu access.

Para permitir o dimensionamento econômico dos sistemas de irrigação por aspersão convencional, a elaboração do projeto do sistema no desenvolvimento do aplicativo foi dividida em três etapas: dimensionamento agrônomo e operacional, dimensionamento hidráulico das linhas e dimensionamento econômico.

Construído com uma estrutura modular, o aplicativo computacional - IRRIGAR disponibiliza cinco tipos de linhas: linha lateral, linha de derivação, linha principal, linha de recalque e linha de sucção. Permitindo ao usuário definir o layout das tubulações do sistema de irrigação. Também é possível escolher o tipo e a forma de instalação da motobomba, assim como, definir os rendimentos do conjunto motor-bomba e informar os diâmetros de entrada e saída da bomba centrífuga.

O dimensionamento de linhas laterais é efetuado pelo critério da máxima perda de carga

permitida. As demais linhas do sistema são dimensionadas pela análise de custos através do método das tentativas com o auxílio da equação de Bresse.

A equação universal de Darcy-Weissbach é utilizada para determinar as perdas de carga do tipo contínua (GUAYCOCHEA, 2015; LI et al., 2017). O fator de atrito tem o valor calculado após a comparação da espessura do filme laminar com a rugosidade absoluta do tubo (SOUSA; DANTAS NETO, 2014). As perdas de carga do tipo localizada podem ser estimadas ou calculadas pelo método direto.

Na Figura 4 observa-se a janela do aplicativo, onde os custos de implantação decorrentes dos gastos com tubos, instalação de tubulações enterradas, motobomba e posto de transformação de energia elétrica, podem ou não ser considerados, e ainda, ter seus valores editados.

**IRRIGAR - CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO**

**RELAÇÃO DE CUSTOS:**

- TUBOS
- INSTALAÇÃO DE TUBOS ENTERRADOS
- MOTOBOMBA
- POSTO DE TRANSFORMAÇÃO DE ENERGIA

**RELAÇÃO E CUSTO DE INSTALAÇÃO DE TUBOS:**

	CUSTO (R\$)
<input checked="" type="checkbox"/> CUSTO DA ESCAVAÇÃO (R\$/m³):	3,50
<input checked="" type="checkbox"/> CUSTO DE BOTA-FORA (R\$/m³):	1,20
<input checked="" type="checkbox"/> CUSTO DO ATERRO (R\$/m³):	0,50
<input checked="" type="checkbox"/> CUSTO DE RECOMPOSIÇÃO DE PAVIMENTO (R\$/m³):	2,10

**CUSTO DO POSTO DE TRANSFORMAÇÃO DE ENERGIA:**

POTÊNCIA NOMINAL	CUSTO (R\$)
30 kVA	12500,00
45 kVA	18500,00
75 kVA	21500,00
112,5 kVA	27200,00
150 kVA	31600,00

**CUSTO DA MOTOBOMBA TRIFÁSICA:**

POTÊNCIA NOMINAL	CUSTO (R\$)
5 cv	2081,11
7,5 cv	2565,88
10 cv	3248,04
12,5 cv	4044,48
15 cv	4408,07
20 cv	5910,90
25 cv	6849,30
30 cv	8778,06
40 cv	12410,47
60 cv	22500,00
75 cv	26000,00
100 cv	29000,00
125 cv	39000,00
150 cv	43000,00
175 cv	51000,00
200 cv	61000,00

**CUSTO DE TUBOS:**

TABELA DE CONSULTA: [CUSTO DE TUBOS](#)

**Figura 4.** Janela do aplicativo computacional - IRRIGAR para configuração dos custos de implantação.

Na Figura 5 observa-se a janela do aplicativo onde é possível escolher a modalidade tarifária em alta tensão a ser considerada e assim fazer o levantamento do custo da energia elétrica. Também permite

editar os valores dos custos de operação decorrentes dos gastos com energia elétrica e manutenções ou simplesmente desconsiderá-los.

## IRRIGAR – APLICATIVO COMPUTACIONAL PARA O DIMENSIONAMENTO ECONÔMICO DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO CONVENCIONAL

**IRRIGAR - CUSTOS DE OPERAÇÃO**

**CUSTO DA ENERGIA ELÉTRICA:**

- TARIFA DE CONSUMO EM BAIXA TENSÃO  
 CONSUMO (R\$/kWh): ..... 0,24

- TARIFAS DE DEMANDA E CONSUMO EM ALTA TENSÃO

CONVENCIONAL  
 CONSUMO (R\$/kWh): ..... 0,20  
 DEMANDA (R\$/kW): ..... 35,46

HORO-SAZONAL VERDE  
 CONSUMO NO HORÁRIO DE PONTA (R\$/kWh): ..... 1,10  
 CONSUMO FORA DO HORÁRIO DE PONTA (R\$/kWh): ..... 0,19  
 DEMANDA (R\$/kW): ..... 10,89

HORO-SAZONAL AZUL  
 CONSUMO NO HORÁRIO DE PONTA (R\$/kWh): ..... 0,28  
 CONSUMO FORA DO HORÁRIO DE PONTA (R\$/kWh): ..... 0,19  
 DEMANDA NO HORÁRIO DE PONTA (R\$/kW): ..... 34,13  
 DEMANDA NO HORÁRIO FORA DE PONTA (R\$/kW): ..... 10,89

**CUSTO DE MANUTENÇÃO:**  
 PERCENTUAL SOBRE O CUSTO DE IMPLANTAÇÃO: ..... 2,00

**Figura 5.** Janela do IRRIGAR para configuração dos custos de operação.

O IRRIGAR permite configurar, tanto, as propriedades físicas da água (densidade, viscosidade cinemática e pressão de vapor) em função da temperatura, como a pressão atmosférica local em função da altitude de instalação da motobomba. Também, é possível configurar o tempo de funcionamento anual e os parâmetros econômicos que definem o valor do fator de recuperação de capital (taxa de juros anual e tempo de vida útil do sistema), assim como, as dimensões de valas para tubulações enterradas e os valores mínimo, médio e máximo da faixa econômica de velocidades de escoamento da água, que serão utilizadas na equação de Bresse, com a finalidade de estabelecer a título de orientação os valores de diâmetros a serem testados nas linhas dimensionadas de forma econômica.

Por meio da análise de custos através do método das tentativas na etapa correspondente ao dimensionamento econômico, todos os componentes do sistema são dimensionados, os custos são quantificados, e em conjunto é fornecida a equação da altura manométrica do sistema e a equação do Net Positive Suction Head (NPSH) disponível, essa última equação, somente para o caso de motobomba de eixo

horizontal. O correto dimensionamento do NPSH é importante, pois reflete diretamente no rendimento e níveis de ruído do conjunto motobomba. Schroder (2015) realizou um estudo sobre diagnose da cavitação, classificando-a conforme sua intensidade com base no rendimento hidráulico e nível de ruído do conjunto motobomba. Estabeleceu valores para a queda de rendimento e aumento do nível de ruído simultaneamente. Analisou a cavitação em níveis mais severos do fenômeno utilizando para isto o NPSH.

O aplicativo computacional - IRRIGAR não possui banco de dados, porém, seu ambiente de múltiplas janelas, permite facilmente a exportação de todos os resultados obtidos para editores de texto, onde os mesmos podem ser armazenados, editados e impressos.

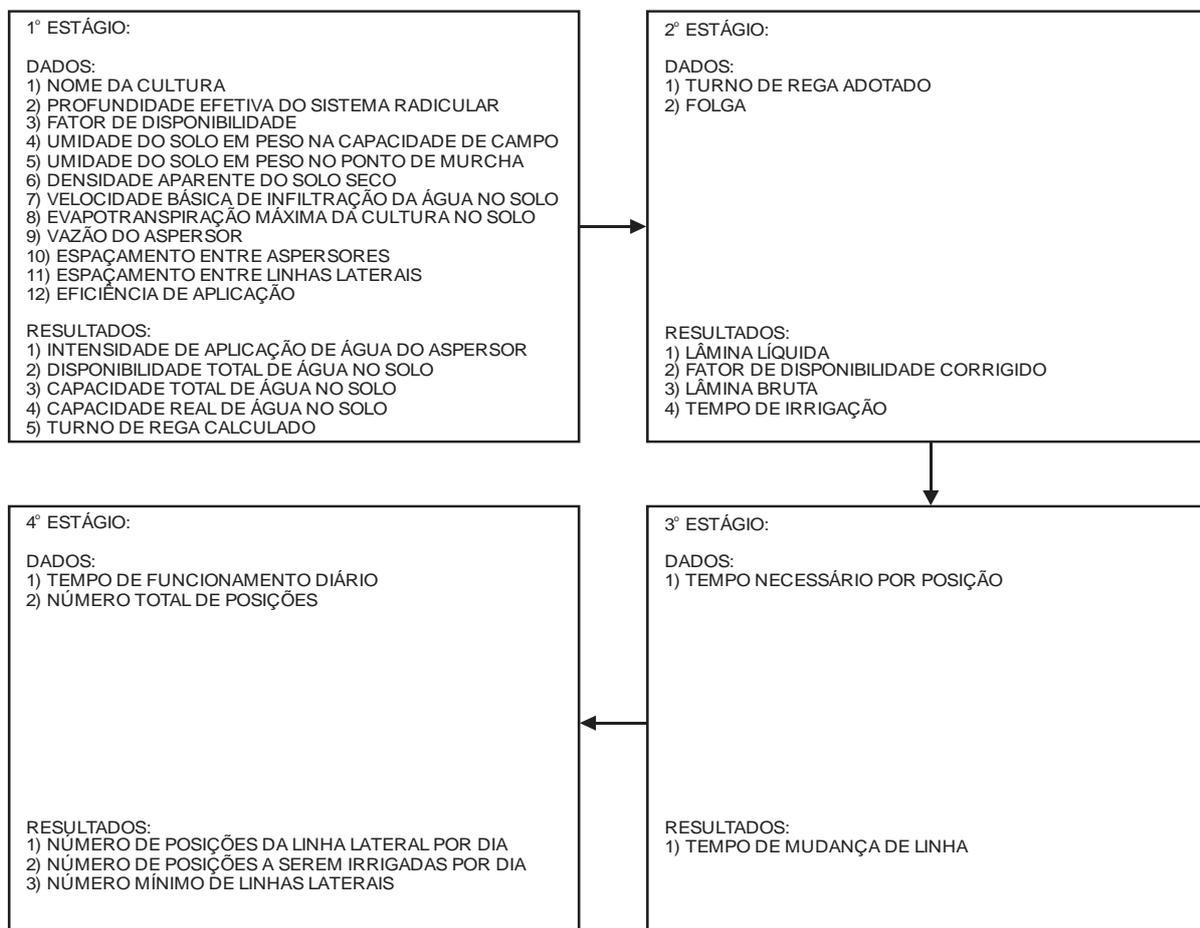
### Dimensionamento agrônomo e operacional

A análise dos dados provenientes da cultura, do solo, do clima e do próprio sistema de irrigação, permite realizar a quantificação da lâmina bruta máxima que deverá ser aplicada sobre a área de plantio. É nesta etapa que ocorre dimensionamento do aspersor, considerando a

necessidade hídrica da cultura e respeitando as limitações do solo, buscando as melhores condições para o manejo e operação do sistema. Também é estabelecido o número mínimo de linhas laterais que deverão funcionar simultaneamente para irrigar toda a plantação, conforme o turno de rega, período de

irrigação e tempo de funcionamento diário, que foram estabelecidos em projeto.

O dimensionamento agrônômico e operacional do sistema foi dividido em quatro estágios no aplicativo IRRIGAR. Em cada estágio alguns parâmetros são solicitados e, em função destes outros são calculados, conforme a representação da Figura 6.



**Figura 6.** IRRIGAR - Representação dos estágios do dimensionamento agrônômico e operacional.

Na Figura 7 pode ser observada a janela do aplicativo computacional - IRRIGAR para o dimensionamento agrônômico e operacional do sistema. Com apenas o auxílio dessa janela, mais de um dimensionamento pode ser efetuado, o que colabora para a

comparação dos resultados para o manejo e operação, em função de diferentes culturas, aspersores, espaçamentos, tempo de funcionamento, período de irrigação e turno de rega, que podem ser adotados no projeto.

## IRRIGAR – APLICATIVO COMPUTACIONAL PARA O DIMENSIONAMENTO ECONÔMICO DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO CONVENCIONAL

**IRRIGAR – DIMENSIONAMENTO AGRÔNOMICO E OPERACIONAL**

**DADOS INICIAIS:**

CULTURA:

PROFUNDIDADE EFETIVA DO SISTEMA RADICULAR (cm):

FATOR DE DISPONIBILIDADE (decimal):

UMIDADE DO SOLO EM PESO NA CAPACIDADE DE CAMPO (percentual):

UMIDADE DO SOLO EM PESO NO PONTO DE MURCHA (percentual):

DENSIDADE APARENTE DO SOLO SECO (g/cm<sup>3</sup>):

VELOCIDADE BÁSICA INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO (mm/h):

MÁXIMA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA CULTURA NO CICLO DE PLANTIO (mm/d):

VAZÃO DO ASPERSOR (L/s):

ESPAÇAMENTO ENTRE ASPERSORES (m):

ESPAÇAMENTO ENTRE LINHAS LATERAIS (m):

EFICIÊNCIA DE APLICAÇÃO (decimal):

TURNO DE REGA ADOTADO (d):

FOLGA (d):

TEMPO NECESSÁRIO POR POSIÇÃO (h):

TEMPO DE FUNCIONAMENTO DIÁRIO (h):

NÚMERO TOTAL DE POSIÇÕES (unidades):

**COMANDOS:**

**RESULTADOS:**

MEMORIAL DE CÁLCULO - DIMENSIONAMENTO AGRÔNOMICO E OPERACIONAL

DIMENSIONAMENTO - N° 1

- 1) CULTURA: FEIJÃO
- 2) PROFUNDIDADE EFETIVA DO SISTEMA RADICULAR: 40,00 (cm)
- 3) FATOR DE DISPONIBILIDADE: 0,50 (decimal)
- 4) UMIDADE DO SOLO EM PESO NA CAPACIDADE DE CAMPO: 38,00 (percentual)
- 5) UMIDADE DO SOLO EM PESO NO PONTO DE MURCHA: 15,00 (percentual)
- 6) DENSIDADE APARENTE DO SOLO SECO: 1,30 (g/cm<sup>3</sup>)
- 7) VELOCIDADE BÁSICA DE INFILTRAÇÃO: 12,00 (mm/h)
- 8) MÁXIMA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA CULTURA NO CICLO DE PLANTIO: 6,00 (mm/d)
- 9) VAZÃO DO ASPERSOR: 0,76 (L/s)
- 10) ESPAÇAMENTO ENTRE ASPERSORES: 18,00 (m)
- 11) ESPAÇAMENTO ENTRE LINHAS LATERAIS: 18,00 (m)
- 12) EFICIÊNCIA DE APLICAÇÃO: 0,85 (decimal)
- 13) INTENSIDADE DE APLICAÇÃO: 8,40 (mm/h)
- 14) DISPONIBILIDADE TOTAL DE ÁGUA: 2,59 (mm/cm)
- 15) CAPACIDADE TOTAL DE ÁGUA: 119,60 (mm)
- 16) CAPACIDADE REAL DE ÁGUA: 59,80 (mm)
- 17) TURNO DE REGA CALCULADO: 9,97 (d)
- 18) TURNO DE REGA ADOTADO: 10,00 (d)
- 19) FOLGA: 1,00 (dias)
- 20) PERÍODO DE IRRIGAÇÃO: 9,00 (d)
- 21) LAMINA LÍQUIDA: 60,00 (mm)
- 22) FATOR DE DISPONIBILIDADE CORRIGIDO: 0,50 (decimal)
- 23) LAMINA BRUTA: 70,59 (mm)
- 24) TEMPO DE IRRIGAÇÃO: 8,40 (h)
- 25) TEMPO NECESSÁRIO POR POSIÇÃO: 9,00 (h)
- 26) TEMPO DE MUDANÇA DE LINHA: 0,60 (h)
- 27) TEMPO DE FUNCIONAMENTO DIÁRIO: 18,00 (h)
- 28) NÚMERO TOTAL DE POSIÇÕES: 32,00 (unidades)
- 29) NÚMERO DE POSIÇÕES DA LINHA LATERAL POR DIA: 2,00 (unidades)
- 30) NÚMERO DE POSIÇÕES A SEREM IRRIGADAS POR DIA: 4,00 (unidades)
- 31) NÚMERO DE LINHAS LATERAIS NECESSÁRIAS: 2,00 (unidades)

**Figura 7.** Janela do IRRIGAR desenvolvida para o dimensionamento agrônomo e operacional.

### Dimensionamento hidráulico das linhas laterais

O dimensionamento de uma linha lateral consiste em determinar o diâmetro interno e a pressão na entrada dessa linha, como existe a necessidade de garantir uma boa uniformidade na distribuição da água emitida pelos aspersores, se utiliza o critério da máxima perda de carga permitida, fazendo a mesma, igual à máxima variação tolerável para a pressão de serviço dos aspersores de uma linha lateral. O IRRIGAR permite selecionar os percentuais de 20 ou 23,5 % da pressão de serviço do aspersor mediano para definir o valor da máxima perda de carga permitida. Os valores propostos para a pressão de serviço e também o critério adotado para correção do fator de múltiplas saídas, quando o espaçamento do primeiro aspersor sobre a linha lateral, for diferente do espaçamento entre os demais aspersores dessa linha segue orientação de (SAHASRABUDHE, 2013; O'SHAUGHNESSY; RUSH, 2014).

O dimensionamento hidráulico de linhas laterais no aplicativo IRRIGAR é efetuado por meio de duas janelas. Na primeira, após o fornecimento de alguns parâmetros, o diâmetro

interno da linha lateral é calculado utilizando a equação universal de Darcy-Weissbach. Em seguida o usuário poderá especificar um valor igual ou maior para esse parâmetro, e com base neste valor, a perda de carga contínua e a pressão provisória na entrada dessa linha serão calculadas.

Na Figura 8 pode ser visualizada a janela do aplicativo computacional – IRRIGAR para o dimensionamento hidráulico de linhas laterais.

A segunda janela trata da determinação das perdas de carga do tipo localizada, por meio da qual essas podem ser estimadas sobre a pressão provisória na entrada da linha lateral, ou calculadas pelo método direto. No último caso, como o cálculo é efetuado por trecho, cabe ao usuário informar as peças especiais existentes em cada um deles, considerando-se como primeiro trecho o intervalo formado pelo último e o penúltimo aspersores dessa linha. Quando a determinação for pelo método direto, o aplicativo oferece as opções de incluir na pressão de entrada da linha lateral a perda de carga contínua do tubo de subida e a perda de carga localizada do bocal do aspersor.

Figura 8. Janela do aplicativo - IRRIGAR para o dimensionamento hidráulico de linhas laterais.

Na Figura 9 observa-se a janela do aplicativo para a determinação das

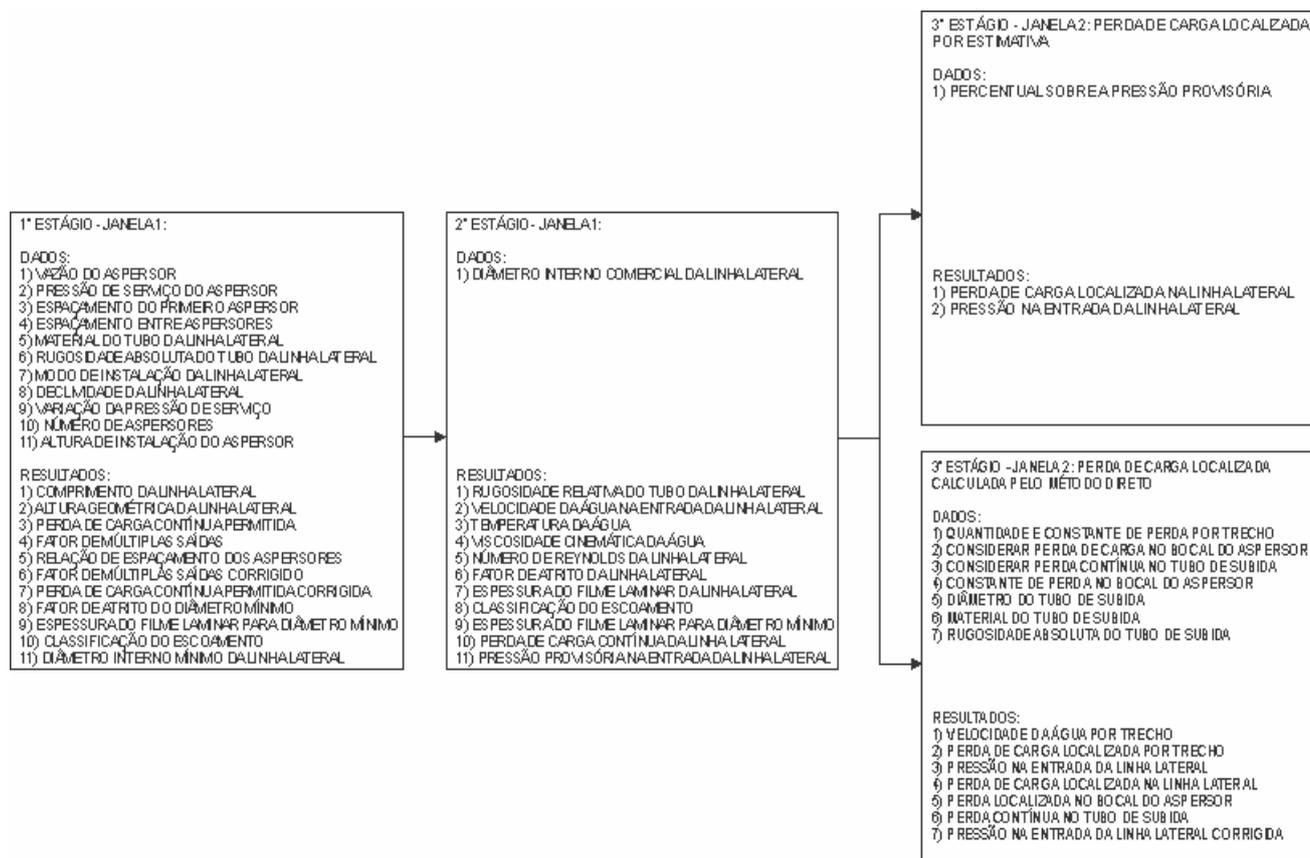
perdas de carga do tipo localizada das linhas laterais.

Figura 9. Janela do aplicativo computacional - IRRIGAR desenvolvida para a determinação das perdas de carga do tipo localizada.

Com o apoio dessas duas janelas mais de uma linha lateral pode ser dimensionada. Cada linha dimensionada recebe um número para sua identificação e possível seleção para compor o layout de irrigação na janela do aplicativo destinada ao dimensionamento econômico.

O dimensionamento hidráulico de linhas laterais no IRRIGAR foi dividido em três estágios. Em cada estágio, são solicitados alguns parâmetros, e em função destes, outros são calculados, conforme o fluxograma da Figura 10.

## IRRIGAR – APLICATIVO COMPUTACIONAL PARA O DIMENSIONAMENTO ECONÔMICO DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO CONVENCIONAL



**Figura 10.** IRRIGAR - Fluxograma do dimensionamento hidráulico de linhas laterais.

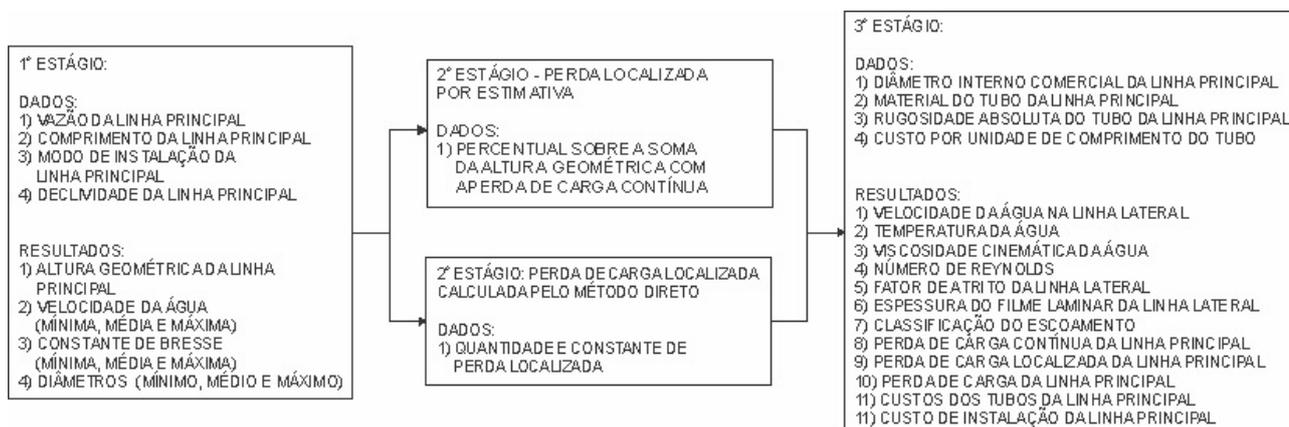
### Dimensionamento hidráulico das demais linhas do sistema

As demais linhas do sistema são dimensionadas pela análise de custos através do método das tentativas com auxílio da equação de Bresse. Somente as linhas de derivação necessitam de duas janelas para o dimensionamento, pois de forma semelhante às linhas laterais, possuem múltiplas saídas, porém com diâmetro constante em toda sua extensão. As linhas principais, de recalque e de sucção são de trecho único e vazão constante.

A título de orientação, com base na equação de Bresse, valores de diâmetros são

sugeridos para as linhas do sistema de forma que sejam dimensionadas de forma econômica, podendo-se editar a velocidade de escoamento de água.

O dimensionamento hidráulico das linhas principais no aplicativo computacional - IRRIGAR foi dividido em três estágios. O terceiro estágio de dimensionamento hidráulico das linhas principais se repete para cada tipo de tubo (diâmetro e material) experimentado em determinada linha. Os dados de entrada e resultados de cada estágio podem ser observados no fluxograma da Figura 11.



**Figura 11.** IRRIGAR - Fluxograma do dimensionamento hidráulico de linhas principais.

Na Figura 12 observa-se a janela do IRRIGAR para o dimensionamento hidráulico de linhas principais. Como essas linhas possuem trecho único e vazão constante apenas uma janela é suficiente para o seu dimensionamento, independente das perdas de carga. Com o apoio dessa janela mais de uma linha principal pode ser dimensionada. Cada linha e tubo experimentado recebe um número

para sua identificação, possibilitando a seleção de uma linha com determinado tubo, para compor o layout de irrigação na janela do aplicativo destinada ao dimensionamento econômico.

A metodologia de dimensionamento das demais linhas do sistema que são dimensionadas de forma econômica é similar ao apresentado para a linha principal.

**IRRIGAR - DIMENSIONAMENTO DE LINHAS PRINCIPAIS**

**DADOS INICIAIS:**

VAZÃO DA LINHA PRINCIPAL (m³/s): .....  
 COMPRIMENTO DA LINHA PRINCIPAL (m): .....  
 MODO DE INSTALAÇÃO DA LINHA PRINCIPAL: .....  
 DECLIVIDADE DA LINHA PRINCIPAL (percentual): .....

**MÉTODO PARA PERDA DE CARGA LOCALIZADA**

ESTIMAR UM PERCENTUAL SOBRE A SOMA DA ALTURA GEOMÉTRICA COM A PERDA DE CARGA CONTÍNUA  
 CALCULAR PELO MÉTODO DIRETO

PERCENTUAL ADOPTADO: .....

**PEÇAS ESPECIAIS:**

QUANTIDADE (unidades): .....  
 DESCRIÇÃO DA PEÇA ESPECIAL: .....  
 ESPECIFICAÇÃO DA PEÇA ESPECIAL: .....  
 CONSTANTE RECOMENDADA PARA PEÇA (adimensional): .....  
 CONSTANTE ADOPTADA PARA PEÇA (adimensional): .....

**ESPECIFICAÇÃO DE TUBOS PARA LINHA PRINCIPAL**

DIÂMETRO INTERNO DA LINHA PRINCIPAL (mm): .....  
 MATERIAL DA LINHA PRINCIPAL: .....  
 ESPECIFICAÇÃO DO MATERIAL DA LINHA PRINCIPAL: .....  
 RUGOSIDADE RECOMENDADA (mm): .....  
 RUGOSIDADE ADOPTADA (mm): .....  
 CUSTO POR UNIDADE DE COMPRIMENTO DA LINHA PRINCIPAL (R\$/m): .....

**COMANDOS:**

INCLUIR    CONCLUIR    APAGAR DADOS    ADICIONAR LINHA  
 ADICIONAR    CALCULAR    APAGAR MEMORIAL    MENU

**RESULTADOS:**

LINHA PRINCIPAL - N°: 2

- 1) VAZÃO DA LINHA PRINCIPAL: 1.51E-02 (m³/s)
- 2) COMPRIMENTO DA LINHA PRINCIPAL: 135,00 (m)
- 3) MODO DE INSTALAÇÃO DA LINHA PRINCIPAL: EM ACLIVE
- 4) DECLIVIDADE DA LINHA PRINCIPAL: 6,00 (percentual)
- 5) ALTURA GEOMÉTRICA DA LINHA PRINCIPAL: 8,10 (m)
- 6) VELOCIDADE DE ESCOAMENTO DA ÁGUA - VALOR MÍNIMO: 0,60 (m/s)
- 7) VELOCIDADE DE ESCOAMENTO DA ÁGUA - VALOR MÉDIO: 1,50 (m/s)
- 8) VELOCIDADE DE ESCOAMENTO DA ÁGUA - VALOR MÁXIMO: 2,60 (m/s)
- 9) CONSTANTE DE BRESSE - VALOR MÍNIMO: 7,00E-01 (adimensional)
- 10) CONSTANTE DE BRESSE - VALOR MÉDIO: 9,21E-01 (adimensional)
- 11) CONSTANTE DE BRESSE - VALOR MÁXIMO: 1,46E+00 (adimensional)
- 12) DIÂMETRO INTERNO - VALOR MÍNIMO RECOMENDADO: 86,05 (mm)
- 13) DIÂMETRO INTERNO - VALOR MÉDIO RECOMENDADO: 113,29 (mm)
- 14) DIÂMETRO INTERNO - VALOR MÁXIMO RECOMENDADO: 179,12 (mm)

DETERMINAÇÃO DA PERDA DE CARGA LOCALIZADA POR ESTIMATIVA

- 1) PERCENTUAL ADOPTADO: 4,00

TUBO - N°: 1

- 1) DIÂMETRO INTERNO DA LINHA PRINCIPAL: 70,50 (mm)
- 2) MATERIAL DA LINHA PRINCIPAL: PVC
- 3) RUGOSIDADE ADOPTADA: 2,00E-02 (mm)
- 4) RUGOSIDADE RELATIVA: 2,84E-04 (adimensional)
- 5) CUSTO POR UNIDADE DE COMPRIMENTO: 7,16 (R\$/m)

**Figura 12.** Janela para o dimensionamento hidráulico de linhas principais.

### Tipo e forma de instalação da motobomba

O aplicativo computacional – IRRIGAR permite a seleção de motobomba do tipo eixo horizontal instalada de forma não afogada e afogada, como também, de motobomba do tipo

submersa instalada em poço. Na Figura 13 observa-se a janela desenvolvida para a especificação do tipo, da forma de instalação e dos demais parâmetros de uma motobomba.

## IRRIGAR – APLICATIVO COMPUTACIONAL PARA O DIMENSIONAMENTO ECONÔMICO DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO CONVENCIONAL

**DADOS INICIAIS:**

TIPO DE MOTOBOMBA E FORMA DE INSTALAÇÃO: \_\_\_\_\_

DIÂMETRO DE ENTRADA (mm): \_\_\_\_\_

DIÂMETRO DE SAÍDA (mm): \_\_\_\_\_

RENDIMENTO DA BOMBA (decimal): \_\_\_\_\_

RENDIMENTO DO MOTOR (decimal): \_\_\_\_\_

**COMANDOS:**

CANCELAR EDITAR APAGAR DADOS MENU

**RESULTADOS:**

MEMORIAL DE CÁLCULO

TIPO DE MOTOBOMBA E FORMA DE INSTALAÇÃO: TIPO HORIZONTAL NÃO APOIADA

DIÂMETRO DE ENTRADA DA BOMBA (mm): 50,00

DIÂMETRO DE SAÍDA DA BOMBA (mm): 40,00

RENDIMENTO DA BOMBA (decimal): 0,65

RENDIMENTO DO MOTOR (decimal): 0,92

RENDIMENTO DA MOTOBOMBA (decimal): 0,60

**Figura 13.** Janela para a especificação do tipo, da forma de instalação e dos demais parâmetros de uma motobomba.

### Dimensionamento econômico do sistema

Nesta etapa, as linhas que foram dimensionadas, podem ser selecionadas para compor o layout de irrigação. A análise dos custos através do método das tentativas possibilita quantificar os custos de implantação e operação do sistema, em função de cada tipo

de tubo experimentado em uma linha. Esta análise permite identificar o tubo considerado ótimo (diâmetro e material) para cada uma das linhas, com a finalidade de efetuar o dimensionamento econômico do sistema. Na Figura 14 pode ser observada a janela do aplicativo IRRIGAR que realiza esta função.

**IRRIGAR - DIMENSIONAMENTO ECONÔMICO**

**LINHAS:**

TIPO DE LINHA: \_\_\_\_\_

NÚMERO DA LINHA: \_\_\_\_\_

NÚMERO DA TUBULAÇÃO: \_\_\_\_\_

**COMANDOS:**

INCLUIR ADICIONAR CONCLUIR APAGAR DADOS MENU

EDITAR EXCLUIR CALCULAR APAGAR MEMORIAL

**LAYOUT DO SISTEMA:**

COMPOSIÇÃO - Nº: 27

LINHA EXCLUSIVA

LINHA DE SUÇÃO

1) NÚMERO DA LINHA: 1

2) NÚMERO DO TUBO: 7

3) DIÂMETRO INTERNO: 212,00 (mm)

4) MATERIAL DA TUBULAÇÃO: PVC

5) ALTURA GEOMÉTRICA: 2,00 (m)

6) PERDA DE CARGA: 0,08 (mca)

LINHA INCLUSIVA

LINHA DE SUÇÃO

1) NÚMERO DA LINHA: 1

2) NÚMERO DO TUBO: 5

3) DIÂMETRO INTERNO: 112,60 (mm)

4) MATERIAL DA TUBULAÇÃO: PVC

5) ALTURA GEOMÉTRICA: 2,00 (m)

6) PERDA DE CARGA: 0,19 (mca)

**RESULTADOS:**

34) CUSTO ANUAL DE MANUTENÇÃO: R\$ 283,75

35) CUSTO DE OPERAÇÃO ANUAL: R\$ 8511,43

36) CUSTO TOTAL ANUAL: R\$ 10820,38

**BALANÇO FINAL:**

37) CUSTO DE IMPLANTAÇÃO ANUAL: R\$ 2308,95

38) CUSTO DE OPERAÇÃO ANUAL: R\$ 8511,43

39) CUSTO TOTAL ANUAL: R\$ 10820,38

**ANÁLISE DOS CUSTOS ANUAIS POR TENTATIVA DE DIMENSIONAMENTO:**

CUSTO TOTAL ANUAL DE IMPLANTAÇÃO + CUSTO TOTAL ANUAL DE OPERAÇÃO = CUSTO TOTAL ANUAL

39) TENTATIVA - Nº: 1 R\$ 5503,08 + R\$ 14821,66 = R\$ 20324,74

40) TENTATIVA - Nº: 2 R\$ 5659,39 + R\$ 14167,05 = R\$ 19826,44

41) TENTATIVA - Nº: 3 R\$ 6001,55 + R\$ 14022,59 = R\$ 20024,14

42) TENTATIVA - Nº: 4 R\$ 5662,67 + R\$ 14045,29 = R\$ 19707,96

43) TENTATIVA - Nº: 5 R\$ 6004,93 + R\$ 14006,73 = R\$ 20011,66

44) TENTATIVA - Nº: 6 R\$ 5662,67 + R\$ 14045,29 = R\$ 19707,96

45) TENTATIVA - Nº: 7 R\$ 5218,06 + R\$ 11773,67 = R\$ 16991,73

46) TENTATIVA - Nº: 8 R\$ 4248,48 + R\$ 11041,95 = R\$ 15290,43

47) TENTATIVA - Nº: 9 R\$ 4244,68 + R\$ 11282,38 = R\$ 15527,06

48) TENTATIVA - Nº: 10 R\$ 4251,54 + R\$ 10988,60 = R\$ 15240,14

49) TENTATIVA - Nº: 11 R\$ 4704,13 + R\$ 11004,51 = R\$ 15708,64

50) TENTATIVA - Nº: 12 R\$ 4251,54 + R\$ 10988,60 = R\$ 15240,14

51) TENTATIVA - Nº: 13 R\$ 4363,34 + R\$ 9200,82 = R\$ 13564,17

52) TENTATIVA - Nº: 14 R\$ 2304,22 + R\$ 8592,08 = R\$ 10896,31

53) TENTATIVA - Nº: 15 R\$ 2472,66 + R\$ 8432,09 = R\$ 10904,75

54) TENTATIVA - Nº: 16 R\$ 3016,19 + R\$ 8495,96 = R\$ 11512,15

55) TENTATIVA - Nº: 17 R\$ 2268,09 + R\$ 8655,62 = R\$ 10923,71

56) TENTATIVA - Nº: 18 R\$ 2629,29 + R\$ 8472,46 = R\$ 11101,80

57) TENTATIVA - Nº: 19 R\$ 2131,62 + R\$ 8500,14 = R\$ 10631,76

58) TENTATIVA - Nº: 20 R\$ 2304,22 + R\$ 8592,08 = R\$ 10896,31

59) TENTATIVA - Nº: 21 R\$ 2307,35 + R\$ 8523,19 = R\$ 10830,54

60) TENTATIVA - Nº: 22 R\$ 2311,88 + R\$ 8509,65 = R\$ 10821,53

61) TENTATIVA - Nº: 23 R\$ 2316,78 + R\$ 8505,47 = R\$ 10822,25

62) TENTATIVA - Nº: 24 R\$ 2308,95 + R\$ 8511,43 = R\$ 10820,38

63) TENTATIVA - Nº: 25 R\$ 2318,61 + R\$ 8504,10 = R\$ 10822,71

64) TENTATIVA - Nº: 26 R\$ 2331,16 + R\$ 8504,36 = R\$ 10835,52

65) TENTATIVA - Nº: 27 R\$ 2308,95 + R\$ 8511,43 = R\$ 10820,38

66) TENTATIVA DE DIMENSIONAMENTO COM MAIOR EFICIÊNCIA ECONÔMICA - Nº: 27

67) MENOR CUSTO TOTAL ANUAL OBTIDO: R\$ 10820,38

**Figura 14.** Janela do aplicativo computacional – IRRIGAR desenvolvida para o dimensionamento econômico de sistemas de irrigação por aspersão convencional.

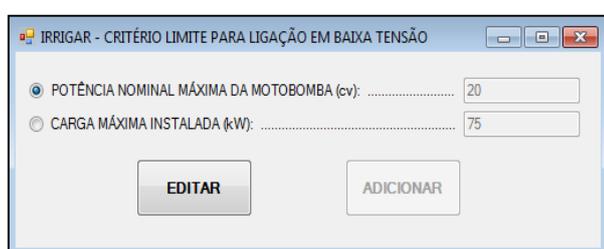
### Condições gerais para o fornecimento de energia elétrica

A Resolução Normativa nº 414, de 09 de setembro de 2010 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) estabelece as condições gerais para o fornecimento de

energia elétrica, definindo o critério para ligação de consumidores em baixa tensão. A grande vantagem de ser um consumidor em baixa tensão consiste em utilizar o transformador fornecido pela concessionária. No entanto, alguns consumidores apresentam

carga instalada superior ao limite de baixa tensão e por esta razão são ligados em alta tensão, com isso existe a necessidade de investimento no projeto e instalação do posto de transformação e, também, mudança na forma de tarifação da energia elétrica, que, além de possuir a tarifa de consumo, também terá tarifa de demanda.

As condições para o fornecimento e tarifação da energia elétrica são adotadas no IRRIGAR. O aplicativo possui uma janela específica para estabelecer o critério de ligação de consumidores em baixa tensão, conforme pode ser observado na Figura 15.



**Figura 15.** Janela do aplicativo computacional – IRRIGAR desenvolvida para a configuração do critério de ligação de consumidores em baixa tensão.

## CONCLUSÃO

O aplicativo computacional - IRRIGAR permite o emprego de programação orientada a objeto utilizando-se o compilador VBA na elaboração de projetos, agregando melhoria na modelagem do sistema, garantindo a exatidão e precisão dos resultados.

A utilização do aplicativo facilita o incremento da eficiência econômica dos sistemas projetados e a utilização racional dos insumos envolvidos. Dessa forma, conclui-se que essa ferramenta pode colaborar com a viabilidade de uso da aspersão convencional em benefício da agricultura.

## REFERÊNCIAS

DUTTA, R; MORSHED, A.; ARYAL, J.; D'ESTE, C.; DAS, A.. Development of an intelligent environmental knowledge system for sustainable agricultural decision support. **Environmental Modelling & Software.** v.52,

p. 264–272, fev. 2014. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2013.10.004>

GIUSTI, E.; MARSILI-LIBELLI, S. A fuzzy decision support system for irrigation and water conservation in agriculture. **Environmental Modelling & Software.** v. 63, p. 73–86, jan. 2015. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2014.09.020>

GUAYCOCHEA, D. E.. Fórmulas sencillas para el cálculo de longitudes equivalentes de accesorios teniendo en cuenta la rugosidad de la tubería. **Tecnología y Ciencias del Agua.** v. 10, n. 2, p. 53-58, 2015.

JIMÉNEZ-BELLO, M. A.; ROYUELA, A.; MANZANO, J.; GARCÍA-PRATS, A.; MARTÍNEZ-ALZAMORA, F.. Methodology to improve water and energy use by proper irrigation scheduling in pressurised networks. **Agricultural Water Management.** v. 149, fev. 2015, p. 91-101. doi: [10.1016/j.agwat.2014.10.026](http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2014.10.026)

KIMMICH, C.. Linking action situations: Coordination, conflicts, and evolution in electricity provision for irrigation in Andhra Pradesh, India. **Ecological Economics.** v. 90, p. 150-158, jun. 2013. doi: [10.1016/j.ecolecon.2013.03.017](http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2013.03.017)

KRESOVIĆ, B.; TAPANAROVA, A.; TOMIĆ, Z.; ŽIVOTIĆ, L.; VUJOVIĆ, D.; SREDOJEVIĆ, Z.; GAJIĆ, B.. Grain yield and water use efficiency of maize as influenced by different irrigation regimes through sprinkler irrigation under temperate climate. **Agricultural Water Management.** v. 169, p. 34-43, mai 2016. doi: [10.1016/j.agwat.2016.01.023](http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2016.01.023)

LI, T.; LIANG, C.; ZHANG, Y.; ZHAO, P. Comparison and validation of the ratio of Manning coefficient to flow depth for soil erosion prediction using published data with different external impacts. **Journal of Soils and Sediments.** vol. 17, n. 6, p 1682–1695, 2017.

- NAVARRO-HELLÍNA, H.; MARTÍNEZ-DEL-RINCONB, J.; DOMINGO-MIGUEL, R.; SOTO-VALLESD, F.; TORRES-SÁNCHEZ, R.. A decision support system for managing irrigation in agriculture. **Computers and Electronics in Agriculture**. v. 124, p.121–131, jun. 2016. doi: 10.1016/j.compag.2016.04.003
- O'SHAUGHNESSY, S. A.; RUSH, C.. Precision Agriculture: Irrigation. **Encyclopedia of Agriculture and Food Systems**. p. 521–535, jul. 2014. doi: 10.1016/B978-0-444-52512-3.00235-7
- PRADO, G.. Water distribution from medium-size sprinkler in solid set sprinkler systems. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, vol. 20, n.3, p.195-201, mar. 2016. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n3p195-201>
- SAHASRABUDHE, S.R.. **A Textbook of Irrigation Engineering**. Katson Books. New Delhi, India. 11 ed. 375p. 2013.
- SALOMÃO, L. C.; CANTUÁRIO; F. S.; PEREIRA, A. I. A.; SCHWERZ, T.; DOURADO, W. S.. Influência do turno de rega na eficiência do uso da água de Irrigação e na produtividade de plantas de alface cultivadas em ambiente protegido. **Enciclopédia Biosfera**. Goiânia - GO, v.10, n.18; p.2029–2039, 2014. Disponível em: <http://www.conhecer.org.br/enciclop/2014/AGRARIAS/influencia%20do%20turno.pdf> Acesso em: 25 mai. 2016.
- SARETTA, E.; CAMARGO, A. P.; BOTREL, T. A.; FRIZZONE, J. A.; KOECH, R.; MOLLE, B. Test methods for characterising the water distribution from irrigation sprinklers: Design, evaluation and uncertainty analysis of an automated system. **Biosystems Engineering**, vol. 169, p. 41-56, 2018. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.01.011>.
- SCHRODER, F. C.. Análise de rendimento e ruído de bomba centrífuga operando com cavitação incipiente, reduzida, moderada e desenvolvida. **Revista de Engenharia e Tecnologia**. v. 7, n. 3, p. 73–89, 2015.
- SOUSA, J. S. C.; DANTAS NETO, J.. Equação explícita para cálculo do fator de atrito de Darcy-Weisbach em projetos de irrigação pressurizada. **Irriga**, Botucatu, v. 19, n. 1, p. 137-148, jan.-mar. 2014. doi: <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2014v19n1p137>
- TARJUELO, J. M.; RODRIGUEZ-DIAZ, J. A.; ABADÍA, R.; CAMACHO, E.; ROCAMORA, C.; MORENO, M. A. Efficient water and energy use in irrigation modernization: Lessons from Spanish case studies. **Agricultural Water Management**. vol. 162, p. 67-77, 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.08.009>.
- ZOU, X.; LI, Y.; CREMADES, R.; GAO, Q.; WAN, Y.; QIN.. Cost-effectiveness analysis of water-saving irrigation technologies based on climate change response: A case study of China. **Agricultural Water Management**. v. 129, p. 9-20, nov. 2013. doi: 10.1016/j.agwat.2013.07.004