

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS DE CURITIBANOS
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS

Leonardo Nentwig

Pacote Hydirrig como ferramenta para dimensionamento de projetos de microirrigação

Curitibanos

2021

Leonardo Nentwig

Pacote Hydirrig como ferramenta para dimensionamento de projetos de microirrigação

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em
Agronomia do Centro de Ciências Rurais da
Universidade Federal de Santa Catarina como requisito
para a obtenção do título de Bacharel em Agronomia
Orientador: Prof. João Batista Tolentino Júnior, Dr.

Curitibanos

2021

Ficha de identificação da obra

Nentwig, Leonardo

Pacote Hydirrig como ferramenta para dimensionamento de projetos de microirrigação / Leonardo Nentwig ; orientador, João Batista Tolentino Júnior , 2021.
73 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Curitibanos, Graduação em Agronomia, Curitibanos, 2021.

Inclui referências.

1. Agronomia. 2. RStudio. 3. Projeto de irrigação. 4. Dimensionamento hidráulico. I. , João Batista Tolentino Júnior. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Agronomia. III. Título.

Leonardo Nentwig

Pacote Hydirrig como ferramenta para dimensionamento de projetos de microirrigação

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Bacharel em Agronomia” e aprovado em sua forma final pelo Curso de Agronomia

Curitiba, 08 de setembro de 2021.



Documento assinado digitalmente
Samuel Luiz Fioreze
Data: 21/09/2021 08:11:56-0300
CPF: 052.258.059-90
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. Samuel Luiz Fioreze, Dr.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:



Documento assinado digitalmente
Joao Batista Tolentino Junior
Data: 20/09/2021 23:58:18-0300
CPF: 040.784.969-62
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. João Batista Tolentino Júnior, Dr.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina



Documento assinado digitalmente
Lirio Luiz Dal Vesco
Data: 21/09/2021 09:10:27-0300
CPF: 430.824.919-87
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. Lirio Luiz Dal Vesco
Avaliador
Universidade Federal de Santa Catarina



Documento assinado digitalmente
Fernanda Oliveira da Silva
Data: 21/09/2021 13:08:55-0300
CPF: 029.088.560-42
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Fernanda Oliveira da Silva, M.Sc
Avaliadora
Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado aos meus queridos pais e orientadores.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente ao meu orientador Dr. João Batista Tolentino Júnior, pela paciência e oportunidade de desenvolver este projeto e muitos outros durante minha vida acadêmica.

À professora Dra Adriana Terumi Itako, por todas as oportunidades, vivências e conhecimentos passados para mim.

Ao Grupo Pet Ciências, sendo este a segunda família que adquiri na Universidade, além de sua grande contribuição curricular, tive diversas oportunidades de desenvolver minha carreira pessoal e profissional.

Aos meus pais que me acompanharam durante toda esta caminhada.

A minha namorada, pela paciência, incentivo e ajuda durante todo o desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

A elaboração de projetos de sistemas de irrigação envolve uma sequência de diversos cálculos matemáticos e análise inúmeros parâmetros para o dimensionamento. A utilização de softwares tem permitido agilizar este processo com precisão e acurácia. Dentre eles, a linguagem de programação R juntamente com o pacote denominado *hydirrig* disponível no link <https://github.com/joaobtj/hydirrig>. Este apresenta um grupo de funções programáveis e surge como uma ferramenta facilitadora no dimensionamento hidráulico do sistema. O presente trabalho teve como objetivo explicar a funcionalidade do pacote *hydirrig* no dimensionamento hidráulico e sua aplicação em projetos de micro irrigação. Neste trabalho foram explicadas e testadas 4 funções do pacote *hydirrig*, tendo elas diferentes finalidades: *coef_emitter* para determinar o coeficiente e expoente da equação característica do emissor; *lateral_head* que indica a variação da vazão e pressão no início e final de uma linha lateral; *subunit_head_diameter* define o diâmetro das linhas de derivação; *subunit_head* indica variação da vazão, a pressão inicial e final em uma subunidade de acordo com um diâmetro comercial. Para os demais parâmetros foram utilizados os cálculos convencionais. Mostrou-se através de dois exemplos práticos, com a utilização do pacote, o dimensionamento para as culturas do morango e da maçã. O *hydirrig* promove através de funções simples, ótimos resultados, com rápido tempo de resposta, sendo este uma ferramenta indispensável na elaboração de projetos de irrigação.

Palavras-chave: RStudio. Projeto de irrigação. Dimensionamento hidráulico.

ABSTRACT

The irrigation system design involves a sequence of several mathematical calculations and analysis of many parameters. The use of software speeds up this process with precision and accuracy. Among them, the R programming language together with the package called *hydirrig*, available on <https://github.com/joaobj/hydirrig>. It features a group of programmable functions and appears as a facilitating tool in the hydraulic design of the system. The present work aimed to explain the functionality of the *hydirrig* package in hydraulic design and its application in micro-irrigation projects. In this work, 4 functions of the *hydirrig* package were explained and tested, having different purposes: *coef_emitter* to determine the coefficient and exponent of the characteristic equation of the emitter; *lateral_head* which indicates the flow and pressure variation at the beginning and end of a lateral line; *subunit_head_diameter* defines the diameter of the manifold lines; *subunit_head* indicates flow variation, the initial and final pressure in a subunit according to a commercial diameter. For the other parameters, conventional calculations were used. It was shown through two practical examples the dimensioning for strawberry and apple crops. *hydirrig* promotes, through simple functions, great results, with fast response time, being this an indispensable tool in the elaboration of projects.

Keywords: RStudio. Irrigation project. Hydraulic design.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Porcentagem de crescimento anual para irrigação e incremento em área.....	17
Figura 02- Principais componentes de um sistema de micro irrigação.....	21
Figura 03- Exemplos de tubo gotejador.....	22
Figura 04- Exemplo de fita gotejadora.....	22
Figura 05 - Detalhamento interno do gotejador autocompensante.....	23
Figura 06 - Funcionamento do microaspersor.....	23
Figura 07 - Etapas de um projeto de irrigação.....	27
Figura 08 - Padrão de espaçamento para culturas com faixa molhada.....	36
Figura 09 - Padrão de espaçamento para culturas sem faixa molhada.....	37
Figura 10 - Áreas para o desenvolvimento dos projetos de irrigação.....	40
Figura 11 - Escola do gotejador.....	42
Figura 12 - Croqui para cultura do morango.....	43
Figura 13- Características hidráulicas da motobomba MBI-1 I1-25.....	52
Figura 14 - Componentes da motobomba injetora.....	53
Figura 15 - Variação da vazão e pressão do micro aspersor escolhido.....	56
Figura 16 - Croqui do sistema de irrigação e seus componentes para maçã.....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 01- Parâmetros de transformação de unidades.....	35
Tabela 02 - Rugosidade absoluta dos materiais.....	36
Tabela 03 - Dimensionamento agrônomo para o morango.....	43
Tabela 04 - Dimensionamento da intensidade, tempo de aplicação e subunidades do sistema do morango.....	44
Tabela 05 - Gastos gerais do projeto para morango.....	56
Tabela 06 - Dimensionamento agrônomo para cultura da maçã.	58
Tabela 07 - Dimensionamento da intensidade, tempo de aplicação e subunidades do sistema da maçã.....	59
Tabela 08 - Gastos gerais do projeto para maçã.....	69

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Programa de instalação e utilização do pacote <i>hydirrig</i> em RStudio.....	33
Quadro 2 – Programa em <i>hydirrig</i> para o cálculo do coeficiente e expoente do emissor.....	34
Quadro 3 - Demonstração do padrão de espaçamento para culturas com faixa molhada. Pacote <i>hydirrig</i> em RStudio.....	37
Quadro 4 - Demonstração do padrão de espaçamento para culturas sem faixa molhada. Pacote <i>hydirrig</i> em RStudio.....	38
Quadro 5 - Cálculo do coeficiente e expoente do gotejador NaanTIF 16 mm para o morango. Pacote <i>hydirrig</i> em RStudio.....	45
Quadro 6 - Função <i>lateral_head</i> para cálculo da vazão e sua respectiva variação na linha lateral. Pacote <i>hydirrig</i> em RStudio	46
Quadro 7 - Resultado da função <i>lateral_head</i> . Pacote <i>hydirrig</i> em RStudio	47
Quadro 8 - Função <i>subunit_head_diameter</i> para determinar o diâmetro da linha de Derivação. Pacote <i>hydirrig</i> em RStudio	48
Quadro 9 - Resposta da função <i>subunit_head_diameter</i> , com o diâmetro calculado para linha de derivação. Pacote <i>hydirrig</i> em RStudio	49
Quadro 10 - Função <i>subunit_head</i> para determinar a pressão do sistema com o diâmetro comercial. Pacote <i>hydirrig</i> em RStudio.....	50
Quadro 11 - Resultado da função <i>subunit_head</i> com a pressão do sistema para o diâmetro comercial. Pacote <i>hydirrig</i> em RStudio.....	51
Quadro 12 - Cálculo do coeficiente e expoente do micro aspersor para a maçã. Pacote <i>hydirrig</i> em RStudio.....	60
Quadro 13 - Função “ <i>lateral_head</i> ” para cálculo da vazão e sua respectiva variação na linha lateral da maçã. Pacote <i>hydirrig</i> em RStudio	61
Quadro 14 - Resultado da função “ <i>lateral_head</i> ” para maçã. Pacote <i>hydirrig</i> em RStudio	61

Quadro 15 - Função <code>subunit_head_diameter</code> para determinar o diâmetro da linha de Derivação. Pacote <i>hydirrig</i> em RStudio	62
Quadro 16 - Resposta da função <code>subunit_head_diameter</code> , com o diâmetro calculado para linha de derivação para maçã. Pacote <i>hydirrig</i> em RStudio	63
Quadro 17 - Função <code>subunit_head</code> para determinar a pressão do sistema com o diâmetro comercial. Pacote <i>hydirrig</i> em RStudio.....	64
Quadro 18 - Resultado da função <code>subunit_head</code> com a pressão do sistema para o diâmetro comercial. Pacote <i>hydirrig</i> em RStudio.....	65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

coef_em - Coeficiente do emissor
D - Diâmetro do tubo comercial selecionado (mm)
d_lateral - Diâmetro da linha lateral
d_manifold - Diâmetro da linha de derivação
dec_lateral - Declividade da linha lateral
dec_manifold - Declividade da linha de derivação
Eb - Eficiência da motobomba, obtida em seu respectivo catálogo
eq_emitter - Equação do emissor
ETcloc - Evapotranspiração da irrigação localizada
exp_em - Expoente do emissor
H - Pressão (mca).
h_fim_latera - Pressão no fim da linha lateral
h_fim_manifold - Pressão no fim da linha de derivação
h_ini_lateral - Pressão no início da linha lateral
h_ini_manifold - Pressão no início da linha de derivação
hf - Perda de carga na linha principal
hf - Perda de carga na linha principal (mca)
Hm - Altura manométrica (mca)
I - Intensidade de aplicação
JT - Jornada de Trabalho (h)
Kl - Coeficiente de ajuste
L - Comprimento da linha principal (m)
LAMmax - Lâmina de irrigação máxima
n_lateral - Número de linhas laterais
n_manifold - Número de linhas de derivação
Nu - Número de unidades operacionais
P - Porcentagem de área molhada
PAM - Porcentagem de área molhada
Pm - Potência da motobomba (cv)
Q - Soma da vazão de todos os emissores de uma subunidade (m³/s)

q -vazão (L/h).

q_ini_lateral - Vazão no início da linha lateral

q_ini_manifold Vazão no início da linha de derivação

q_mean_lateral - Vazão média na linha lateral

q_req_subunit - Vazão Requerida na Subunidade

q_var_subunit - Variação da vazão na subunidade

Qs - Vazão da(s) unidades irrigadas (L/s)

Qs -Vazão da(s) unidades irrigadas (l/h)

rc - Rugosidade

s_ini_lateral Espaçamento inicial da linha lateral

s_ini_manifold - Espaçamento inicial da linha de derivação

s_lateral - Espaçamento da linha lateral

s_manifold - Espaçamento da linha de derivação

Ti - Tempo de irrigação

TR - Turno de Rega (Dias)

Vmax - Velocidade máxima admissível (m/s)

Tf -Tempo de funcionamento no ciclo (h)

Lc - Lâmina de água aplicada no ciclo (mm)

Ce - Consumo de energia (kW.h)

Tf - Tempo de funcionamento no ciclo (h)

Pm -Potência da motobomba escolhida (cv)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
1.1 OBJETIVOS	21
1.1.1 Objetivo Geral	21
1.1.2 Objetivos Específicos	21
2 DESENVOLVIMENTO	22
2.1 COMPONENTES DE UM SISTEMA DE MICROIRRIGAÇÃO	22
2.1.1 Emissores	23
2.1.1.1 Gotejadores	23
2.1.1.2 Gotejadores autocompensantes	24
2.1.1.3 Micro aspersores	24
2.1.2 Linhas laterais	25
2.1.3 Linhas de Derivação ou Secundárias	25
2.1.4 Linha principal	25
2.1.5 Cabeçal de controle	26
2.1.5.1 Sistema de filtro	26
2.1.5.2 Injetor de produtos químicos	26
2.1.6 Motobomba	27
2.2 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE MICROIRRIGAÇÃO	27
2.2.1 Dimensionamento agrônômico	28
2.2.1.1 Porcentagem de área molhada.....	29
2.2.1.2 Coeficiente de ajuste.....	30
2.2.1.3 Evapotranspiração da irrigação localizada	30
2.2.1.4 Lâmina de irrigação máxima	30
2.2.1.5 Intensidade de aplicação	31
2.2.1.6 Tempo de irrigação.....	31
2.2.1.7 Número de unidades operacionais ou subunidades	32

2.2.2 Dimensionamento hidráulico	33
2.2.2.1 Pacote hidirrig	33
2.2.2.2 Determinação dos parâmetros de correção dos emissores.....	34
2.2.2.3 Dimensionamento das Linha laterais	35
2.2.2.4 Dimensionamento das Linhas de derivação.....	36
2.2.2.4 Dimensionamento da linha principal.....	38
2.2.2.4.1 Perda de carga na linha principal.....	39
2.2.2.4.2 Potência da motobomba	39
2.2.2.4.3 Tempo de funcionamento.....	40
2.2.2.4.4 Consumo de energia.....	40
2.3 DESENVOLVENDO PROJETOS DE IRRIGAÇÃO	40
2.3.1 Área de estudo	40
2.3.2 Exemplo de projeto de morango com micro irrigação: Gotejamento	41
2.3.2.1 Dimensionamento agrônômico	42
2.3.2.2 Escolha do emissor.....	42
2.3.2.4 Cálculo do Coeficiente e expoente do gotejador.....	45
2.3.2.5 Dimensionamento das Linha laterais	45
2.3.2.5 Determinação do diâmetro da linha de derivação	47
2.3.2.6 Dimensionamento da linha principal.....	52
2.3.2.6.1 Perda de carga.....	52
2.3.2.6.1 Pressão na linha principal.....	52
2.3.2.6.2 Potência da motobomba	52
2.3.2.6.6 Gastos gerados pela motobomba	54
2.3.2.6.7 Custos do projeto.....	55
2.3.3 Exemplo de projeto para maçã com microirrigação : microaspersão.....	56
2.3.3.1 Dimensionamento agrônômico	56
2.3.3.2 Escolha do emissor	57

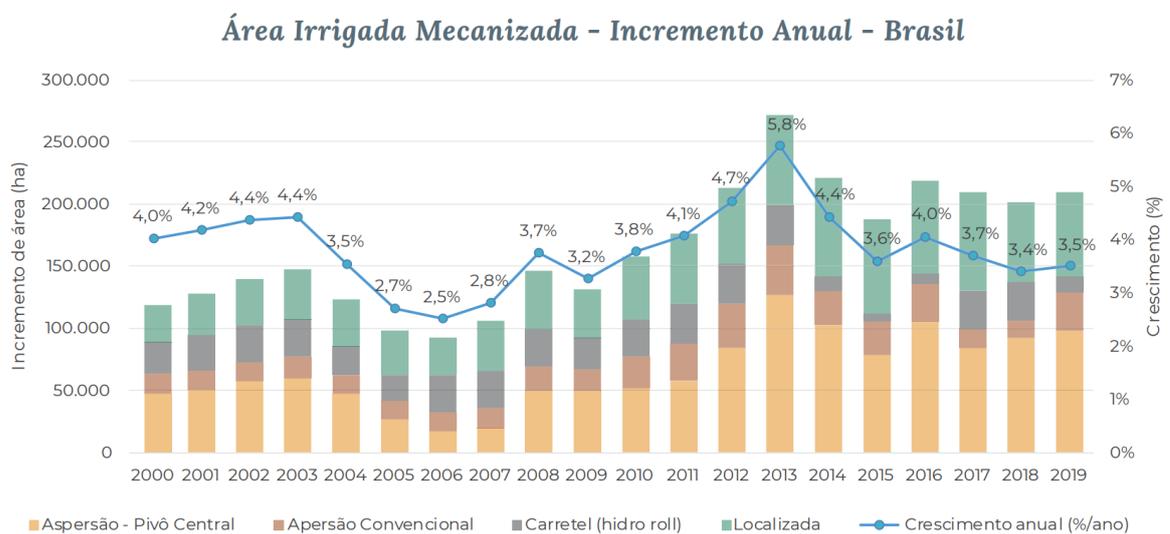
2.3.3.3 Croqui	59
2.3.3.4 Dimensionamento das Linha laterais	60
2.3.3.5 Dimensionamento da linha de derivação para maçã	62
2.3.3.6 Dimensionamento da linha principal.....	66
2.3.3.6.1 Perda de carga.....	66
2.3.3.6.2 Pressão na linha principal.....	66
2.3.3.6.3 Potência da motobomba	66
2.3.3.6.4 Tempo de funcionamento.....	67
2.3.3.6.5 Consumo de energia.....	67
2.3.6.7 Custos do projeto.....	68
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS	69
REFERÊNCIAS	70

1 INTRODUÇÃO

O aumento crescente da demanda mundial por alimentos, devido ao aumento populacional, estimula a adoção de sistemas mais eficientes de produção, com mais tecnificações, competitivos e que proporcionem uma maior quantidade de alimentos e com qualidade. Neste cenário, a irrigação mostra-se como uma excelente estratégia para o alcance destas metas. Além disso, aproximadamente metade da população mundial depende dos produtos produzidos com algum sistema de irrigação (OLIVEIRA FILHO; TEIXEIRA; RIBEIRO, 2004; SOUSA, 2009).

Há alguns anos, o potencial de crescimento para agricultura irrigada mundial estava na casa dos 180 milhões de hectares, e no Brasil, como pode ser observado na Figura 01 uma média de crescimento de 3.82 % entre os anos 2000 e 2019. Além deste contexto, a produtividade estimada para estas áreas está em cerca de 2,7 vezes maior do que os locais que utilizam a agricultura convencional de sequeiro, pois estão sujeitas à irregularidade das chuvas (CHRISTOFIDIS, 2013).

Figura 01 – Porcentagem de crescimento anual para irrigação e incremento em área.



Fonte: ANA, 2020.

De modo geral, a irrigação é um dos maiores consumidores de água doce, utilizando 49,8%, seguida do abastecimento doméstico com 25,9%, do uso industrial com 9,7% , para o uso animal 8,4% e em menores escalas para as termelétricas com 4,5 e mineração com 1,7

fazendo com que essa crescente competição pelo uso da água busque meios para otimização do seu uso (ANA, 2020). Isto é possível atualmente pela melhoria das técnicas de irrigação, quando se trata do gerenciamento dos recursos hídricos, com a adoção de estratégias na aplicação e manejo da água, possibilitando a manutenção da qualidade e produtividade das culturas com economia (LUCENA, 2003; TEIXEIRA, 2014).

A micro irrigação tem ganhado espaço se comparada aos demais métodos de irrigação, pois proporciona a aplicação de água em baixas intensidade e alta frequência, molhando somente as partes necessárias da área de cultivo, possibilitando uma menor porcentagem de área molhada, o que acarreta menor evaporação para a atmosfera das áreas em desuso. Além disso, mantém a disponibilidade de água que satisfaça a evapotranspiração de cultura (BERNARDO, 2008; ESTEVES *et al.*, 2012; LUCENA, 2003). A aplicação de água por este método é realizada pelos emissores, sendo estes gotejadores ou micro aspersores, instalados em tubos de pequeno diâmetro das linhas laterais, as quais acompanham a linha da cultura. Contudo, devido a estas características o sistema precisa ser bem dimensionado, para evitar entupimentos, possibilitar alta uniformidade na distribuição e minimizar os altos custos de aquisição e operação (BERNARDO, 2008).

A elaboração de projetos de sistemas de irrigação envolve uma sequência de diversos cálculos matemáticos e análise de inúmeros parâmetros para o dimensionamento. Neste sentido, a utilização de softwares para a elaboração destes projetos tem permitido diversos benefícios, os quais permitem a determinação de uma solução ótima, a facilidade de comparação entre diferentes dados, redução de erros quantitativos, comparação de condições diferentes e, principalmente, a otimização de tempo (ANDRADE; CARVALHO, 2000; BOTREL; MARQUES, 2000).

Silva (2018) desenvolveu um pacote em código de programação R, o qual denominou de *hydirrig*. Este permite, através de 10 diferentes funções, determinar o diâmetro das linhas laterais, suas respectivas pressões, quantificar a perda de carga, além de definir as subunidades e suas respectivas linhas de derivação. Estas funções permitem de forma rápida e fácil o dimensionamento hidráulico da tubulação, com ótima acurácia e precisão. Este pacote está hospedado na plataforma GitHub, disponível na plataforma pelo link <https://github.com/FernandaFOS/hydirrig>, a qual permite a hospedagem, e a criação gratuita de códigos de softwares abertos, possibilitando controle de versões.

Posteriormente, o pacote foi atualizado para uma nova versão, com a revisão da programação e renomeação das principais funções, disponível na plataforma pelo link

<https://github.com/joaobj/hydirrig>. Diante disso, é de fundamental importância mostrar o funcionamento do pacote *hydirrig*, sua reprodutibilidade e confiança. Portanto, este trabalho pretende explicar as funções atualizadas e dar exemplos do seu respectivo funcionamento no dimensionamento de projetos de micro irrigação.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Demonstrar a funcionalidade do pacote *hydirrig* e aplicar no dimensionamento hidráulico em projetos de micro irrigação.

1.1.2 Objetivos Específicos

Detalhar os procedimentos necessários para projetar um sistema de micro irrigação;

Demonstrar a programação de cálculos utilizando o pacote *hydirrig* no dimensionamento hidráulico.

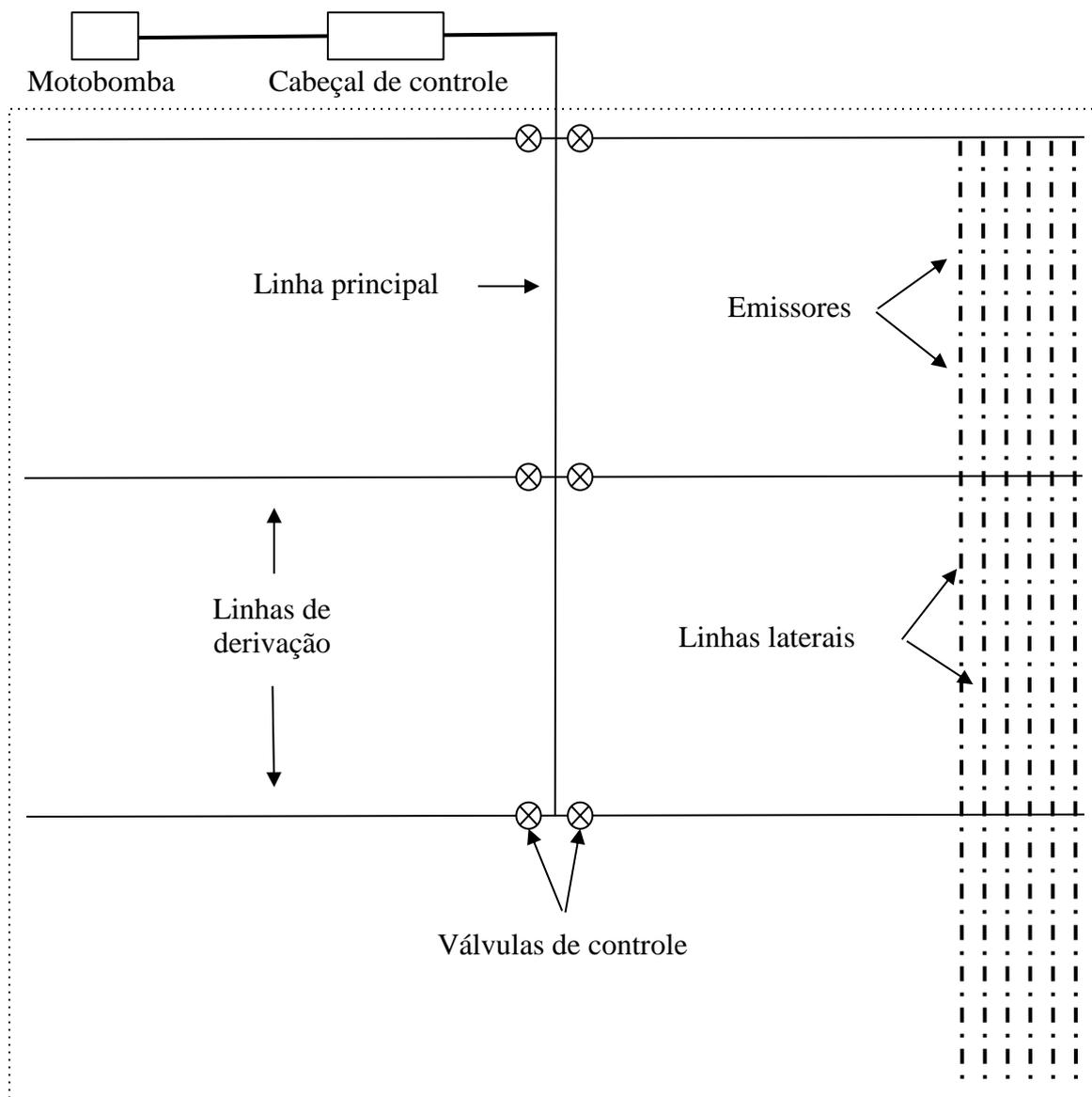
Planejar dois diferentes projetos de micro irrigação para serem aplicados na área experimental da Universidade Federal de Santa Catarina, campus de Curitibanos.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 COMPONENTES DE UM SISTEMA DE MICROIRRIGAÇÃO

Os sistemas de micro irrigação são compostos, resumidamente, pelos emissores, sendo estes gotejadores ou micro aspersores, pelas linhas laterais, de derivação e principal, cabeçal de controle e conjunto motobomba (TESTEZLAF, 2017), como observamos na Figura 02.

Figura 02- Principais componentes de um sistema de micro irrigação.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

2.1.1 Emissores

2.1.1.1 Gotejadores

Os gotejadores são desenvolvidos para dissipar a pressão ao longo da linha lateral, distribuindo a água de dentro das tubulações para o meio externo em forma de gotas, podendo estar situados junto à parede interna das tubulações (*in line*) ou na parte externa das tubulações (*on line*) em distância e quantidades pré-estabelecidas (BISCARO, 2014).

Os gotejadores *in line*, geralmente os mais utilizados, são feitos por um tubo de polietileno flexível, onde os emissores estão instalados internamente na parede do mesmo. Dentre seus representantes, pode-se citar os tubos gotejadores (Figura 03), com parede interna mais grossa, podendo incluir na peça, sistemas de labirinto e de pré-filtro. Além deste temos a mangueira ou fita gotejadora (Figura 04), um dos sistemas mais populares e utilizados, com parede mais fina que o anterior, utilizando polietileno de baixa densidade (BISCARO, 2014).

Figura 03- Exemplos de tubo gotejador



Fonte: Naandanjain(2017).

Figura 04- Exemplo de fita gotejadora

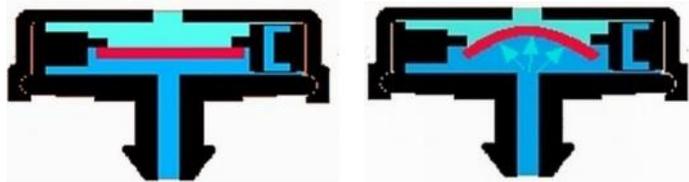


Fonte: Canal Agrícola (2021).

2.1.1.2 Gotejadores autocompensantes

Possuem esta denominação aqueles gotejadores que possuem uma membrana interna flexível, a qual se deforma com a variação da pressão de água, limitando sua passagem no orifício do emissor, tornando a vazão constante em uma determinada faixa de pressão (BISCARO, 2014).

Figura 05 - Detalhamento interno do gotejador autocompensante



Fonte: Testezlaf(2017)

2.1.1.3 Micro aspersores

Diferente do gotejador, o micro aspersor distribui a água sobre o solo e preferencialmente sob a copa das plantas, em pequenas dimensões, denominadas de micro spray, em forma de semicírculo ou círculo. Neste sistema, a filtragem pode ser menos rigorosa, utilizando somente filtros de disco e de tela, gerando menor manutenção. Seu funcionamento pode ser observado na Figura 06 (SANTOS *et al.*, 1997).

Figura 06 - Funcionamento do micro aspersor



Fonte: AMANCO, 2017.

2.1.2 Linhas laterais

As tubulações de distribuição denominadas de linhas laterais são feitas geralmente de polietileno flexível de baixa densidade, preferencialmente tratadas contra radiação UV para aumentar seu tempo de vida e evitar deixá-las quebradiças. Nas linhas laterais estão instalados os emissores, que para a micro irrigação ou irrigação localizadas, são os gotejadores e micro aspersores. São comercializadas em bobinas com comprimentos variáveis e diferentes diâmetros internos, espessuras de parede e espaçamento dos emissores. No campo podem ser instaladas paralelas às linhas da cultura e localizadas na superfície do solo, suspensas ou enterradas (BISCARO, 2014; SANTOS *et al.* 1997;; TESTELAF, 2017).

2.1.3 Linhas de Derivação ou Secundárias

Estas tubulações estão localizadas anteriormente às linhas laterais e levam a água da linha principal até elas. Seu material, quando sobre a superfície do solo, pode ser o polietileno flexível, mas se enterradas, deve-se utilizar o PVC rígido. Uma das características marcantes destas tubulações é a possibilidade da utilização de válvula de controle de vazão no início da linha de derivação, permitindo a interrupção ou a passagem do fluxo de água para determinado local. Além disso, pode-se também optar pela instalação de outros componentes como válvulas volumétricas ou de controle de pressão e filtros (BISCARO, 2014; SANTOS *et al.*, 1997; TESTELAF, 2017).

2.1.4 Linha principal

A linha principal encaminha a água desde a motobomba e a encaminha para as linhas de derivação. Pode ser de PVC, polietileno ou ainda de aço galvanizado. Estas tubulações podem estar na superfície do solo, mas se estiverem enterradas facilitam a movimentação de maquinários agrícolas. Além disso, pode-se optar pela instalação dos sistemas de filtro e do injetor de fertilizantes (SANTOS *et al.*, 1997; BISCARO, 2014; TESTELAF, 2017).

2.1.5 Cabeçal de controle

Define-se como um conjunto de dispositivos e acessórios que viabilizam o controle da irrigação. Constitui-se dos sistemas de filtros, registros, manômetros, hidrômetros, injetor de produtos químicos e válvulas para o controle da vazão (TESTEZLAF; MATSURA, 2015; SANTOS *et al.*, 1997; TESTEZLAF, 2017).

2.1.5.1 Sistema de filtro

A utilização dos sistemas de filtro tem por objetivo remover as partículas que estão em suspensão na água de irrigação, podendo ser de origem química, física ou biológica. As mesmas, ao serem carregadas até os emissores, provocam a redução ou interrupção da vazão, podendo em alguns casos obstruir completamente as tubulações das linhas laterais. Estes efeitos provocam uma maior ineficiência do sistema aumentando a sua desuniformidade. Além disso, o componente afetado necessita de reparo ou de substituição, reduzindo a vida útil da estrutura (BISCARO, 2014; SILVA, 2012;).

A redução dos problemas encontrados e a melhoria da qualidade da água de irrigação podem ser realizados utilizando sistemas de tratamento individuais ou em conjunto, através de filtros de tela, disco e de areia (MESQUITA, 2010).

Os filtros de tela são constituídos por um corpo rígido (cilindro) com uma tela interna por onde a água passa, sendo eficiente na filtragem de materiais não orgânicos, como silte e argila. Os filtros de disco são constituídos através do empilhamento de diversos discos de polietileno ranhurados, que se unem ao serem comprimidos, indicado para locais onde a fonte de água possui grande porção de matéria orgânica. Além destes, o filtro de areia constitui-se de um cilindro com diversas camadas de areia com diferentes granulometrias, apresentando um melhor desempenho na retenção de partículas orgânicas se comparado aos demais (BISCARO, 2014; MESQUITA, 2010; SANTOS *et al.*, 1997).

2.1.5.2 Injetor de produtos químicos

A utilização deste componente permite a introdução de produtos agroquímicos no sistema de irrigação, em quantidade pré-determinada. O método tem se expandido, principalmente pelo aumento da disponibilidade de produtos que podem ser adicionados a água

de irrigação, sendo estes inseticidas, fungicidas, herbicidas, fertilizantes, produtos para o controle biológico e reguladores de crescimento (BISCARO, 2014; TESTEZLAF, 2017) .

2.1.6 Motobomba

Uma das funções básicas da motobomba é levar uma certa vazão a um ponto mais alto no terreno. Para isso, as motobombas, geralmente são elétricas ou a diesel, convertem o trabalho mecânico do motor em energia hidráulica. Cada projeto necessita de uma bomba que se encaixe dentro dos padrões necessários, visto que uma possui uma curva que representa seu desempenho operacional, este por sua vez, determinado pela vazão que varia em função da altura manométrica.

Ao determinar a potência de uma motobomba deve-se estar atento ao número de subunidades irrigadas naquele momento, uma vez que após a realização do projeto, dificilmente ele será modificado. Isso se deve devido ao manejo de registros da área, onde quando se abre um valor maior de registros do que o determinado, a velocidade de rotação do motor se mantém, mas com o aumento da vazão, a capacidade deste fornecer pressão diminui (BERNARDO, 2008; SANTOS *et al.*, 1997;).

2.2 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE MICROIRRIGAÇÃO

Segundo Hernandez (1999), o desenvolvimento de um projeto de irrigação, necessita de alguns passos para seu correto dimensionamento, dentre eles pode-se citar:

1. A seleção e estudo da área utilizada, bem como suas medidas e desníveis.
2. Definição da cultura a ser utilizada, bem como espaçamento entre plantas e fileira, além do levantamento da evapotranspiração de plantas , diferente para cada cultura, afetando seu consumo de água.
3. Cálculos para definição da lâmina aplicada em função dos tópicos anteriores, bem como da subdivisão da área.
4. Desenho de um croqui, que deve constar, as linhas principais, de derivação, linha lateral, ponto de captação de água, acessórios, cabeçal de controle e motobomba.
5. Dimensionamento das tubulações, com suas respectivas vazões, pressões de serviço e perda de carga

6. Dimensionamento do conjunto motobomba para atender a altura manométrica e a potência para um bom funcionamento do sistema

O detalhamento de cada um destes passos, excetuando-se pela área e as características da cultura será realizado a seguir, seguindo as funções do pacote *hydirrig*, como representado no fluxograma da Figura 07.

Figura 07 - Etapas de um projeto de irrigação



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

2.2.1 Dimensionamento agrônômico

Uma das etapas fundamentais para desenvolver um projeto de irrigação, pois estabelece a quantidade máxima de água a ser aplicada na cultura, quando esta apresentar sua máxima demanda hídrica, ou seja, quando a cultura apresenta a evapotranspiração máxima. Além disso,

visa atender outros padrões de operação e manejo do sistema, e serve de base para o dimensionamento hidráulico, na próxima etapa do projeto.

O dimensionamento agrônômico, ainda que moderadamente fácil, é essencial para construção de uma harmonia entre o solo, a planta e o sistema de irrigação. Contudo, previamente a ele, alguns dados devem ser obtidos, seja por observações em laboratório ou em pesquisa bibliográfica. Dentre eles, a evapotranspiração máxima da cultura é a mais importante, sendo determinada pela evapotranspiração de água da espécie cultivada. Os outros fatores dependem principalmente da cultura, como é o caso do espaçamento entre as plantas e o número de emissores para cada uma delas (FLORES, 2014; LUCENA, 2003).

Dentre os pontos a serem calculados nesta etapa estão, a definição da porcentagem de área molhada, que contribuirá para a definição do coeficiente de ajuste, o qual corrige a evapotranspiração da cultura. E por fim, ao ser multiplicado pelo turno de rega, temos em mãos os dados básicos da necessidade de água a ser irrigada na cultura.

2.2.1.1 Porcentagem de área molhada

Os projetos de micro irrigação também conhecida como irrigação localizada visam reduzir as perdas de água por evaporação, sendo esta proporcionada por um menor percentual de área irrigada, onde a superfície do solo é molhada com baixa intensidade e alta frequência. Neste sentido, a porcentagem de área molhada pode ser definida pela relação entre a área molhada pelos emissores e a área total utilizada pela cultura (KELLER; KARMELI, 1975). Podendo ser determinada pela Equação 01.

$$P = \frac{Am}{At} \quad (01)$$

Em que:

P = Porcentagem de área molhada.

Am = Área molhada.

At = Área total.

Segundo BERNARDO *et al* (2008), a porcentagem de área molhada depende do tipo de solo, tempo de aplicação, espaçamento e vazão dos emissores. Além disso, dois casos devem

ser considerados: quando se utiliza maiores espaçamentos, no caso das frutíferas, onde o molhamento é delimitado pela copa das árvores, sem a formação de uma faixa de molhamento, e para culturas com espaçamento pequenos, formando uma faixa contínua de molhamento.

2.2.1.2 Coeficiente de ajuste

Quando se trata de ajustar a lâmina necessária através da utilização da evapotranspiração de cultura, diversos métodos podem ser propostos, para fins de fornecer o Kl, porém o cálculo mais utilizado é mostrado na Equação 02, proposta por Keller (1978)(COELHO *et al.*, 2015)

$$Kl = P + 0,15 * (1 - P) \quad (02)$$

Em que:

Kl = Coeficiente de ajuste

P = Porcentagem de área molhada, tratada na Equação 01.

2.2.1.3 Evapotranspiração da irrigação localizada

Em posse dos dados referentes a Equação 02, e da Evapotranspiração Máxima da cultura, está embasada nos dados de literaturas disponíveis para cultura em questão. Pode-se então estimar a Evapotranspiração localizada através da Equação 03.

$$ET_{cloc} = ET_{cmax} * Kl \quad (03)$$

Em que:

ET_{cloc} = Evapotranspiração localizada (mm/dia)

ET_{cmax} = Evapotranspiração Máxima da cultura (mm/dia)

Kl = Coeficiente de ajuste, tratado na Equação 02.

2.2.1.4 Lâmina de irrigação máxima

Pode-se calcular a lâmina de irrigação máxima através da multiplicação da Evapotranspiração localizada e o turno de rega (TR)

$$LAMmax = ETcloc * TR \quad (04)$$

Em que:

LAMmax = Lâmina de irrigação máxima (mm)

ETcloc = Evapotranspiração localizada (mm/dia)

TR = o turno de rega (TR), pode ser estimado pela Evapotranspiração de referência (ET₀) e o coeficiente de cultura (K_c) (CONCEIÇÃO, 2005)

2.2.1.5 Intensidade de aplicação

A intensidade de aplicação é a lâmina de água aplicada pelo emissor por um determinado tempo sobre uma superfície, sendo esta definida pela relação entre a vazão do emissor escolhido e seu respectivo espaçamento (BISCARO, 2009).

$$I = \frac{Q_{emissor}}{E1 * E2} \quad (05)$$

Em que:

I = Intensidade de aplicação (mm/h)

Q_{emissor} = Vazão do emissor (l/h)

E1 = Espaçamento entre emissores de mesma linha (m)

E2 = Espaçamento entre as linhas dos emissores (m)

2.2.1.6 Tempo de irrigação

Calcula-se o tempo de irrigação através da divisão da Lâmina de irrigação máxima pela intensidade de aplicação (PEREIRA, 2014).

$$Ti = \frac{LAMmax}{I} \quad (06)$$

Em que:

T_i = Tempo de irrigação (h)

LAM max = Lâmina de irrigação máxima (mm), dada na Equação 04.

I = Intensidade de aplicação (mm/h), dada na Equação 05.

2.2.1.7 Número de unidades operacionais ou subunidades

Ao invés de irrigar grandes áreas, devemos dividi-las no projeto em parcelas menores ou subáreas, pois estas permitem que a linha principal tenha menor comprimento e diâmetro. O número máximo de subunidades é calculado em função do Turno de Rega (TR), da jornada de trabalho disponível para irrigação e o Tempo de Irrigação (T_i)

$$Nu = \frac{TR * JT}{T_i} \quad (07)$$

Em que:

Nu = Número máximo de unidades operacionais

TR = Turno de Rega (Dias)

JT = Jornada de Trabalho (h)

T_i = Tempo de irrigação (h)

Após a definição do número máximo de subunidades, deve-se desenvolver um croqui ou layout do sistema de irrigação (Figura 02), que tem por função facilitar o entendimento do projeto proposto. Nele devem estar as linhas laterais, as quais são desenhadas a partir do espaçamento da cultura, as linhas de derivação e linha principal, bem como o cabeçal de controle e a localização da motobomba.

De modo geral, o número de subunidades deve estar abaixo do número máximo proposto na Equação 07. Além disso, o número e o formato das subunidades estão diretamente ligados à uniformidade de aplicação de água, e aos custos com o dimensionamento do projeto. A uniformidade de aplicação está relacionada à variação de vazão dos emissores, que não deve ser maior que 10% (BISCARO, 2009). Quanto ao formato, refere-se às medidas de comprimento e largura de cada subunidade, variando de forma geométrica, do quadrado ao retângulo, onde aquelas com maior comprimento e diâmetro para as linhas laterais, geram

maiores custos. Além destes fatores, quanto mais subunidades a área for dividida, menores serão as variações de pressão, contudo o custo do projeto também sobe proporcionalmente (LUCENA, 2003).

2.2.2 Dimensionamento hidráulico

O dimensionamento hidráulico de sistemas de micro irrigação envolve diversos fatores para obtenção de uma combinação favorável, tanto no aspecto técnico como no econômico. Deve garantir o bom funcionamento do sistema, ao determinar o diâmetro das linhas que constituem o sistema, proporcionando o menor custo possível com a compra de materiais, implantação, operação e manutenção ao longo de sua vida útil. Neste sentido, para estes sistemas, onde os emissores e as tubulações estão distribuídos por toda área, o dimensionamento é indeterminado, pois para uma mesma vazão podemos ter múltiplas soluções, ou seja, podemos selecionar tubos de diversos diâmetros, os quais irão acarretar diferentes perdas de carga e velocidade de fluxo (LUCENA, 2003).

O método de testes é o mais utilizado, onde o projetista experimenta diâmetros e materiais diferentes para cada tubo, que atenda a demanda hídrica da cultura, tratadas na Equação 04, e que proporcione o menor custo anual.

2.2.2.1 Pacote *hydirrig*

Está disponível na plataforma GitHub em <https://github.com/joaobtj/hydirrig>. Para instalação, inicialmente deve-se instalar e carregar o pacote *devtools*, e executar os comandos listados no Quadro 1. Ao finalizar a instalação, deve-se carregar o pacote para sua utilização.

Quadro 1 – Comandos para instalação e utilização do pacote *hydirrig* no RStudio

```
if (!require(devtools)) install.packages("devtools")
library(devtools)
install_github("joaobtj/hydirrig")

library(hydirrig)
```

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

2.2.2.2 Determinação dos parâmetros de correção dos emissores

O pacote de funções *hydirrig* permite dimensionar as linhas laterais e de derivação do sistema de irrigação, bem como a pressão e vazão nesses pontos, além de determinar a uniformidade de aplicação de água.

Ao iniciarmos os projetos de irrigação, nos deparamos com a escolha dos emissores, os quais por sua vez possuem uma equação de relação entre pressão e vazão que influenciaram no projeto. Contudo, nem todos os catálogos trazem o coeficiente e expoente, sendo necessário calculá-los. Dito isso, a Equação (08), dimensiona seus respectivos valores.

$$q = K \cdot H^x \quad (08)$$

Em que:

q = vazão (L/h).

H = Pressão (mca).

K = Coeficiente do emissor.

x = Expoente do emissor.

Pode-se utilizar a função *coef_emitter* visualizada no Quadro 2, a qual realiza o cálculo do coeficiente e expoente do emissor, mas para isso é necessário descrever as pressões (h) e as respectivas vazões (q) dos emissores. Além disso, observa-se o separador decimal como ponto (.) e o de colunas como a vírgula (,). Também, deve-se transformar a vazão de litros por hora para metros cúbicos por segundo.

Quadro 2 – Programa em *hydirrig* para o cálculo do coeficiente e expoente do emissor

```
h <- c(h1, h2, h3, ..., hn)
q <- c(q1, q2, q3, ..., qn) / 360000
coef_emitter(h, q)
```

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Os resultados gerados são representados por `$coef_em` (coeficiente do emissor - K) e por `$exp_em` (expoente do emissor - x).

Para gotejadores do tipo autocompensante, não se utiliza esta função, já que devemos usar o coeficiente do emissor ($K = \text{Vazão do gotejador}$) e expoente do emissor ($x = 0$).

2.2.2.3 Dimensionamento das Linhas laterais

Primeiramente, deve-se observar a unidade de medida necessária para a utilização da função. Devendo estar em metros (m) para aquelas variáveis de distância e diâmetro e em metros cúbicos por segundo (m^3/s) para a vazão, como pode ser observado na Tabela 01 as unidades e suas respectivas transformações.

Tabela 01- Parâmetros de transformação de unidades

De (A) :	Para:	Transformação
Milímetros (mm)	Metros (m)	A / 1000
Centímetros (cm)	Metros (m)	A / 100
Litros por hora(L/h)	Metros cúbicos por segundo (m^3/s)	A / 3600000

A = Fator a ser dividido na transformação.

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Posteriormente ao levantamento da vazão necessária para cada emissor, deve-se saber qual a pressão em que as linhas laterais devem trabalhar, necessitando de alguns dados para utilizar a função *lateral_head*:

- Vazão requerida na linha lateral $q_{req_lateral}$, sendo esta pré-determinada anteriormente pela vazão do emissor.
- Diâmetro interno da linha lateral $d_{lateral}$ e espaçamento entre emissores $s_{lateral}$, demonstrada no catálogo escolhido.
- Espaçamento no início da linha lateral $s_{ini_lateral}$, gerado pela distância entre a linha de derivação e o primeiro emissor.
- Número de emissores $n_{lateral}$, dada pela divisão entre o comprimento da linha lateral e o espaçamento entre emissores $s_{lateral}$.

- Declividade da linha lateral $dec_lateral$, em decimal, devendo ser negativa para declives e positiva para aclives (FRIZZONE *et al*, 1998). Sendo assim, se tiver 1% de declividade, esta deve ser representada pelo valor “-0,01”.
- Coeficiente do emissor $coef_em$ e Expoente do emissor exp_em gerado na Equação 08, ou função $coef_emitter$.
- Coeficiente de rugosidade (rugosidade absoluta) rc , dada pelo material utilizado nas referidas tubulações, sendo este valor observado na Tabela 02.

Tabela 02 - Rugosidade absoluta dos materiais

Material	Rugosidade absoluta (m)
PVC e plásticos em geral	0,00001
Tubos de aço galvanizado	0,00015
Cobre, Latão e Alumínio	0,00001 a 0,00002

Fonte: Adaptado de Schroder(2011).

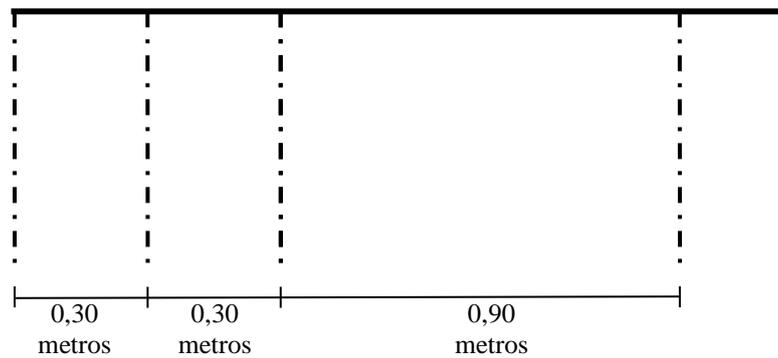
Os resultados a serem observados ao rodar o código são: A pressão inicial $h_ini_lateral$ e final $h_fim_lateral$, bem como a variação de vazão na linha lateral $q_var_lateral$, que não deve ultrapassar 0,10 ou 10%.

2.2.2.4 Dimensionamento das Linhas de derivação

Após realizar o estudo referente a variação da vazão na linha lateral, deve-se calcular o diâmetro a ser utilizado na linha de derivação, e para isto pode-se recorrer a função $subunit_head_diameter$, para qual os dados utilizados estão listados abaixo:

- Vazão média requerida nos emissores na linha lateral $q_req_lateral$;
- Variação da vazão na subunidade $q_var_subunit$, onde utiliza-se o desejável de 0,10 ou 10%.
- Padrão de espaçamento das linhas laterais inseridas na linha de derivação $s_manifold$, a qual deve ser inserida conforme sua distribuição, sendo esta de dois tipos: A formação de uma faixa molhada, no caso da utilização de canteiros, onde os dois primeiros dados são referentes ao espaçamento das linhas laterais presentes dentro da faixa ou canteiro, seguidos do espaçamento do carreador, mostrado no exemplo abaixo.

Figura 08 - Padrão de espaçamento para culturas com faixa molhada.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Onde o código utilizado deve ser:

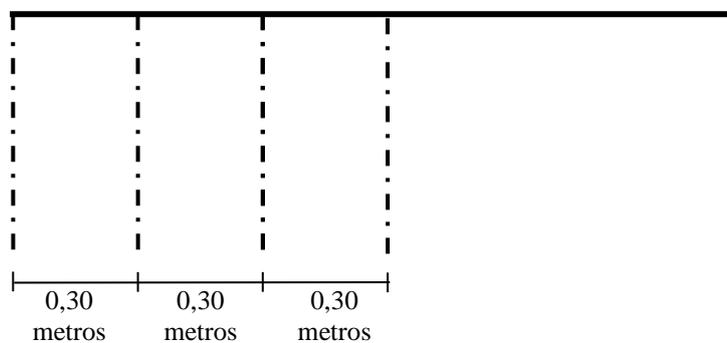
Quadro 3 - Demonstração do padrão de espaçamento para culturas com faixa molhada. Pacote *hydirrig* em RStudio

```
s_manifold = c(0.30, 0.30, 0.90)
```

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Para aquelas culturas que não formam uma faixa molhada, há necessidade de apresentar apenas um valor referente ao espaçamento da cultura (Figura 09).

Figura 09 - Padrão de espaçamento para culturas sem faixa molhada



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Onde o código utilizado deve ser (Quadro 4):

Quadro 4 - Demonstração do padrão de espaçamento para culturas com faixa molhada. Pacote *hydirrig* em RStudio.

```
s_manifold = 0.30
```

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

- Espaçamento inicial na linha de derivação, ou espaçamento até a primeira linha lateral *s_ini_manifold* ;
- Número de linhas laterais que partem de uma linha de derivação em uma subunidade *n_manifold* ;
- Declividade no sentido da linha de derivação *dec_manifold*;
- Demais valores explicados na função *lateral_head*.

O resultado a ser analisado nesta função é dado principalmente pelo diâmetro da linha de derivação *d_manifold*. Contudo, este valor dificilmente será achado comercialmente para aquisição. Neste sentido, deve-se buscar o valor mais próximo disponível e através dele recalcular a pressão através da função *subunit_head* para atingir a vazão média necessária. Nesta função, substitui-se a linha referente a variação da vazão na subunidade *q_var_subunit* pelo diâmetro da linha de derivação *d_manifold* encontrado no mercado.

Finalmente, os códigos gerados devem ser avaliados quanto a pressão no início da linha de derivação *h_ini_manifold*, pressão no fim da linha de derivação *h_fim_manifold* e vazão média na subunidade, devendo estar de acordo com a vazão pretendida no início do projeto.

Atualmente, o pacote *hydirrig* limita-se até este ponto no dimensionamento hidráulico para sistemas de microirrigação, devendo o projetista a partir deste, guiar-se através das fórmulas tratadas a seguir para o dimensionamento da linha principal e da motobomba.

2.2.2.4 Dimensionamento da linha principal

O diâmetro da linha principal é determinado para suportar a vazão gerada pelos emissores da área de estudo, sendo demonstrada na Equação 09.

$$D = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * Vmax}} \quad (09)$$

Em que:

Q = Soma da vazão de todos os emissores de uma subunidade (m^3/s)

V_{max} = Velocidade máxima admissível (m/s), sendo comum a utilização do valor máximo de $2 m/s$ (TEIXEIRA, 2014).

2.2.2.4.1 Perda de carga na linha principal

Após a determinação do respectivo diâmetro, é necessário realizar um estudo da perda de carga na linha principal, pois esta influenciará na escolha da motobomba.

$$hf = 9,58 * 10^5 * \left(\frac{Q_s^{1,83}}{D^{4,83}} \right) * L \quad (10)$$

Em que:

hf = Perda de carga na linha principal (mca)

Q_s = Vazão da(s) unidades irrigadas (L/s)

D = Diâmetro do tubo comercial selecionado (mm)

L = Comprimento da linha principal (m)

2.2.2.4.2 Potência da motobomba

$$Pm = \frac{Qs * Hm}{75 * Eb} \quad (11)$$

Em que:

Pm = Potência da motobomba (cv)

Qs = Vazão da(s) unidades irrigadas (l/h)

Hm = Altura manométrica (mca), determinada pelo somatório da perda de carga no início da linha de derivação, Perda de carga na linha principal (hf), desnível entre a motobomba e a área irrigada (m) e da perda de carga gerada no cabeçal de controle.

Eb = Eficiência da motobomba, obtida em seu respectivo catálogo

2.2.2.4.3 Tempo de funcionamento

$$Tf = \frac{Lc}{I} * Nu \quad (12)$$

Em que:

Tf = Tempo de funcionamento no ciclo (h)

Lc = Lâmina de água aplicada no ciclo (mm)

I = Intensidade de Aplicação (mm/h)

Nu = Número de unidades operacionais ou subunidades utilizadas no projeto.

2.2.2.4.4 Consumo de energia

$$Ce = Tf * 0,735 * Pm \quad (13)$$

Em que:

Ce= Consumo de energia (kW.h)

Tf = Tempo de funcionamento no ciclo (h)

Pm = Potência da motobomba escolhida (cv).

2.3 DESENVOLVENDO PROJETOS DE IRRIGAÇÃO

2.3.1 Área de estudo

O local de desenvolvimento deste projeto encontra-se na Área Experimental Agropecuária, Campus de Curitibanos, SC, da Universidade Federal de Santa Catarina, nas coordenadas 27°16'25.3"S, 50°30'09.7"W

Segundo a classificação de Koppen, o município possui denominação climática do tipo Cfb, ou seja, temperado e com verão ameno, com chuvas uniformemente distribuídas, com média de 1678 mm, com temperatura média para o mês mais quente de 19,4 °C (CARVALHO, 2021; CLIMATE-DATE, 2021).

As áreas selecionadas para o estudo possuem declividades no sentido do maior comprimento de aproximadamente 1% na área 1 e 3,6% na Área 2 e altitudes que variam de 989 a 995 metros (Figura 10).

Figura 10 – Representação das áreas selecionadas para o desenvolvimento dos projetos de irrigação na Área Experimental Agropecuária, UFSC/Campus de Curitibanos, SC.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

2.3.2 Exemplo de projeto de morango com micro irrigação: Gotejamento

Cultura: Morango (*Fragaria x ananassa*)

Local: Curitibanos - Santa Catarina

ET_c: A evapotranspiração máxima é de 4,6 mm dia⁻¹ para cultura do morango (GARCIA, 2012).

Área: A área utilizada contém 1102 m² e está representada na Figura 09. .

Espaçamento: o espaçamento para largura de canteiro, carreador, comprimento do canteiro de 1.2 metros, 0.8 metros, 56 metros, respectivamente. Quanto ao cultivo utiliza-se 0,30 entre fileiras e 0,20 metros entre plantas, gerando 3 linhas laterais por canteiro.

2.3.2.1 Dimensionamento agrônômico

Tabela 03 - Dimensionamento agrônômico para o morango

	Fórmula	Cálculo	Resultado
P	$P = \frac{Am}{At}$	$P = \frac{120 \text{ cm}}{200 \text{ cm}}$	0,6 ou 60%
Kl	$Kl = P + 0,15 * (1 - P)$	$Kl = 0,6 + 0,15 * (1 - 0,6)$	0,66
ETc loc.	$ETcloc = ETcmax * Kl$	$ETcloc = 4,6 \text{ mm} * 0,66$	3,036 mm dia ⁻¹
LAM max.	$LAMmax = ETcloc * TR$	$LAMmax = 3,036\text{mm}/\text{dia} * 2 \text{ dias}$	6,072 mm

P = Porcentagem de área molhada; Kl = Coeficiente de ajuste; ETc loc = Evapotranspiração da irrigação localizada; LAM max = Lâmina de irrigação máxima
 Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

2.3.2.2 Escolha do emissor

O emissor escolhido para este projeto foi o NaanTif de 16 mm, o qual proporciona uma vazão de 1,01 L h⁻¹ a uma pressão de 10 mca. O catálogo pode ser acesso em <https://naandanjain.com.br/wp-content/uploads/2017/02/catalogo-naantif.pdf>

Figura 11 - Escolha do gotejador de acordo com a vazão (Q. L h⁻¹) e pressão nanométrica (mca).

Vazão x Pressão

Pressão (P, mca)	Vazão (Q, l / h)						
	NaanTIF 16 mm			NaanTIF 25 16 mm			NaanTIF 18/20 mm
	1,0 l / h	2,0 l / h	4,0 l / h	1,0 l / h	2,0 l / h	4,0 l / h	1,2 l / h
5	0,71	1,43	2,54	0,86	1,65	2,80	0,78
10	1,01	2,00	3,60	1,20	2,30	3,90	1,10
15	1,23	2,43	4,41	1,45	2,79	4,73	1,34
20	1,42	2,80	5,10	1,67	3,20	5,43	1,54
25	1,59	3,11	5,71	1,85	3,56	6,04	1,72
30	1,74	3,40	6,26	2,02	3,89	6,59	1,88

Fonte: Naandanjain (2017)

Tabela 04 - Dimensionamento da intensidade, tempo de aplicação e subunidades do sistema do morango

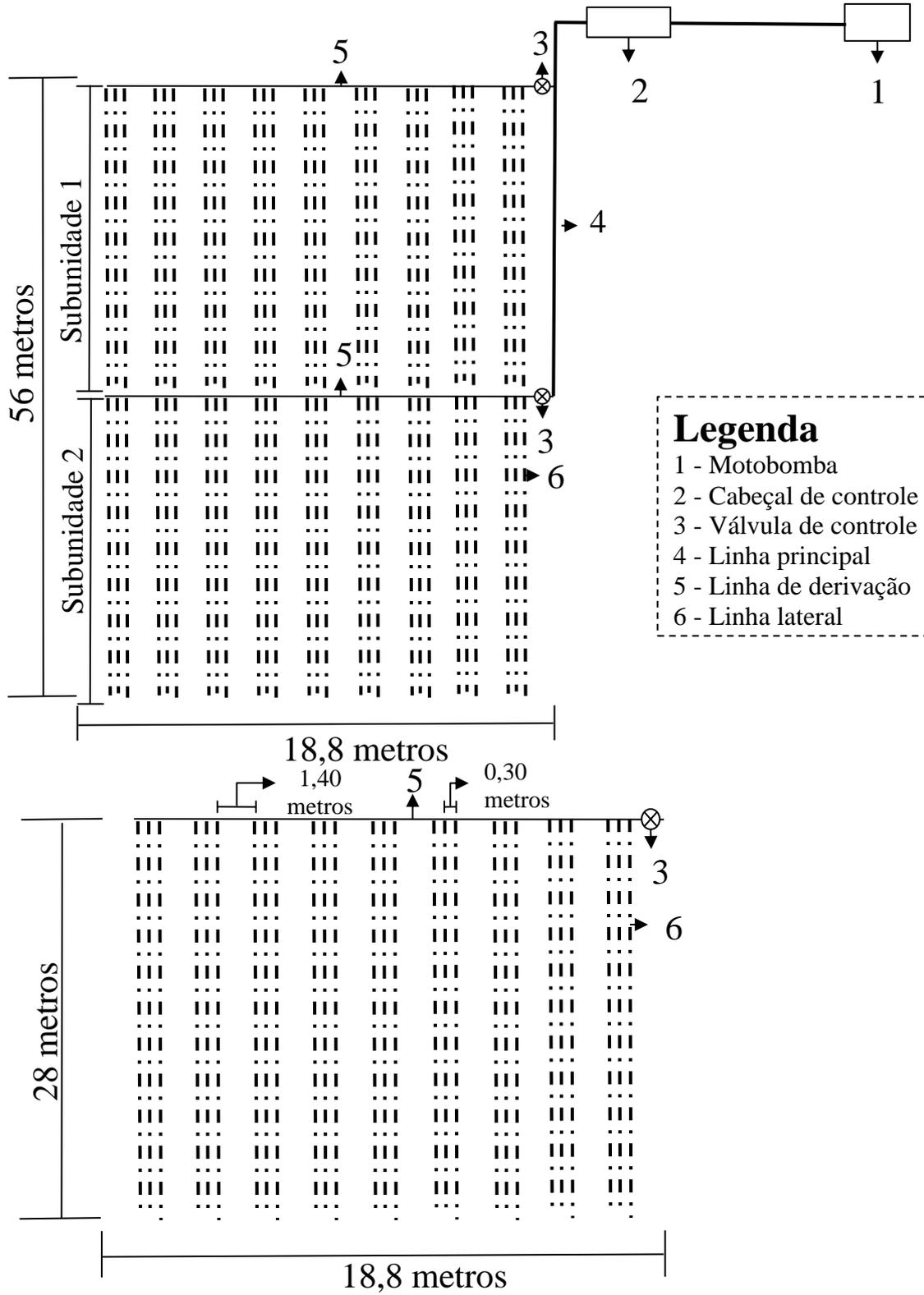
	Fórmula	Cálculo	Resultado
I	$I = \frac{Q_{emissor}}{E1 * E2}$	$I = \frac{1 \text{ litro/hora}}{0,3 * 0,3 \text{ metros}}$	11,22 mm/hora
Ti	$Ti = \frac{LAM \text{ max}}{I}$	$Ti = \frac{6,072 \text{ mm}}{11,22 \text{ mm/hora}}$	0,54 horas
Nu	$Nu = \frac{TR * JT}{Ti}$	$Nu = \frac{2 \text{ dias} * 8}{0,54 \text{ horas}}$	29 subunidades

I = Intensidade de aplicação; Ti = Tempo de aplicação; Nu = Número de unidades operacionais ou subunidades.
 Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

De modo geral, mesmo tendo como número máximo 29 subunidades, optou-se pela divisão da área em 2, sendo estas apresentadas na Figura 11, para facilitar o manejo da irrigação na área.

2.3.2.3 Croqui

Figura 12 - Croqui para cultura do morango.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

2.3.2.4 Cálculo do Coeficiente e expoente do gotejador

Para o cálculo dos respectivos coeficientes e expoente do gotejador, é necessário olhar as pressões e vazões contidas na Figura 10, e descrevê-las na função *coef_emitter*, como mostrado no Quadro 5.

Quadro 5 – Representação da programação para o cálculo do coeficiente e expoente do gotejador NaanTIF 16 mm para o morango. Pacote *hydirrig* em RStudio

```
h <- c(5, 10, 15, 20, 25, 30)
q <- c(0.71, 1.01, 1.23, 1.42, 1.59, 1.74) / 3600000

coef_emitter(h, q)

$coef_em
[1] 8.845525e-08

$exp_em
[1] 0.4994308
```

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

2.3.2.5 Dimensionamento das Linha laterais

Devemos realizar um estudo, no qual precisamos determinar qual a pressão necessária para atingir a vazão do gotejador. Neste sentido, mostra-se a lista de dados necessários:

- Diâmetro interno da linha lateral: 13,9 mm; obtido no catálogo do gotejador.
- Espaçamento entre emissores: 0,3 m;
- Espaçamento no início da linha lateral: 0,3 m;
- Número de emissores: 93;
- Declividade da linha lateral: -1% (em declive);
- Coeficiente do emissor: 8,845525e-08 (m³/s);
- Expoente do emissor: 0,4994308;

- Coeficiente de rugosidade (rugosidade absoluta): 0,0001 m;

Quadro 6 – Representação da programação da função *lateral_head* para cálculo da vazão e sua respectiva variação na linha lateral,.Pacote *hydirrig* em RStudio.

```
do.call(
  lateral_head,
  list(
    q_req_lateral = 2.777778e-07,
    d_lateral = 0.0139,
    s_lateral = 0.30,
    s_ini_lateral = 0.30,
    n_lateral = 93,
    dec_lateral = -0.01,
    coef_em = 8.845525e-08,
    exp_em = 0.4994308,
    rc = 1e-04
  )
)
```

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Após rodar os dados observa-se no Quadro 7, que a pressão necessária para atingir a vazão de 1 litro/hora está na casa dos 9,8 mca no início da linha lateral observada em *h_ini_lateral*. Além disso, pode-se concluir a média da vazão no tópico *q_mean_lateral*, que para fins de comparação deve ser transformado, de metros cúbicos por segundo para litros por hora, multiplicando o valor por 3600000, como mostrado abaixo.

$$\text{Vazão (L/h)} = 2.777473\text{e-}07 * 3600000 = 0,99 \text{ litro por hora.}$$

Onde o valor resultante deve ser muito próximo ao desejado.

Quadro 7 - Resultado da função *lateral_head* no pacote *hydirrig* em RStudio.

```
$d_lateral
[1] 0.0139

$h_ini_lateral
[1] 9.775122

$h_fim_lateral
[1] 10.00977

$q_ini_lateral
[1] 2.58305e-05

$q_mean_lateral
[1] 2.777473e-07

$q_var_lateral
[1] 1.182451

$iterations
[1] 11
```

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

2.3.2.5 Determinação do diâmetro da linha de derivação

- vazão em cada emissor: $1 \text{ L/h} = 2.777778e-07 \text{ m}^3/\text{s}$ (divide por 3600000)
- variação de vazão: 10% ou 0,1
- Padrão de espaçamento: (0.30,0.30, 1.40)
- Espaçamento inicial na linha de derivação: 1,5 m
- Número de linhas laterais: 48
- Declividade da linha de derivação: 0 (em nível)

- Valores para a linha lateral: ver exemplo acima ()

Quadro 8 - Função *subunit_head_diameter* para determinar o diâmetro da linha de derivação,
Pacote *hydirrig* em RStudio.

```
do.call(  
  subunit_head_diameter,  
  list(  
    q_req_subunit = 2.777778e-07,  
    q_var_subunit = 10,  
    s_manifold =c(0.30,0.30,1.41),  
    s_ini_manifold = 1.50,  
    n_manifold = 27,  
    dec_manifold = 0,  
    d_lateral = 0.0139,  
    s_lateral = 0.30,  
    s_ini_lateral = 0.60,  
    n_lateral = 93,  
    dec_lateral = -0.01,  
    coef_em = 8.845525e-08,  
    exp_em = 0.4994308,  
    rc = 1e-04  
  )  
)
```

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Quadro 9 - Resposta da função *subunit_head_diameter*, com o diâmetro calculado para linha de derivação, pacote *hydirrig* em RStudio.

```
$d_manifold
[1] 0.02041707

$h_ini_manifold
[1] 11.72515

$h_fim_manifold
[1] 9.240723

$q_ini_manifold
[1] 0.0007020339

$q_mean_subunit
[1] 2.777845e-07

$q_var_subunit
[1] 10

$iterations
[1] 186
```

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Observa-se que o diâmetro calculado (`$d_manifold`) para linha de derivação foi de 0,02041 metros ou 20,41 milímetros internos. Contudo, esta medida não existe comercialmente, devendo então ser substituída pela medida mais próxima e superior encontrada no mercado. Após isso, deve-se calcular a pressão do sistema, para obter a vazão necessária com a nova medida.

O diâmetro comercial mais próximo ao calculado foi o Corrplastik PN20 com 23 e 32 milímetros internos e externos, respectivamente, disponível no catálogo

<http://www.corrplastik.com.br/wp-content/themes/corrplastik/pdf/catalogo-tecnico-pead.pdf> ..

Estes valores devem substituir a medida em (*d_manifold*) para 0,023 metros.

Quadro 10 - Função *subunit_head* para determinar a pressão do sistema com o diâmetro comercial, pacote *hydirrig* em RStudio.

```
do.call(  
  subunit_head,  
  list(  
    q_req_subunit = 2.777778e-07,  
    d_manifold = 0.023,  
    s_manifold =c(0.30,0.30,1.41),  
    s_ini_manifold =0.30,  
    n_manifold =27,  
    dec_manifold =0,  
    d_lateral =0.0139,  
    s_lateral =0.30,  
    s_ini_lateral =0.30,  
    n_lateral =93,  
    dec_lateral =-0.01,  
    coef_em =8.845525e-08,  
    exp_em =0.4994308,  
    rc =1e-04  
  )  
)
```

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Para este caso, observa-se que a pressão está em 10,64 mca. Além disso, nota-se também que a vazão dentro da subunidade está próxima a 1 litro por hora. Sendo estes dados próximos ao estipulado no início do projeto.

Quadro 11 - Resultado da função *subunit_head* com a pressão do sistema para o diâmetro comercial. Pacote *hydirrig* em RStudio

```
$d_manifold
[1] 0.023

$h_ini_manifold
[1] 10.5922

$h_fim_manifold
[1] 9.472656

$q_ini_manifold
[1] 0.0007018323

$q_mean_subunit
[1] 2.776952e-07

$q_var_subunit
[1] 6.197343

$iterations
[1] 10
```

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

O fim da utilização do pacote *hydirrig*, ocorre neste ponto, devendo o projetista continuar os cálculos da maneira tradicional.

2.3.2.6 Dimensionamento da linha principal

A vazão Q, pode ser observada em “q_ini_manifold”

$$D = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * Vmax}} \quad (14)$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * 0.0007018323}{\pi * 2 \text{ m/s}}} = 0,02111 \text{ metros} \quad (15)$$

Devido às tubulações de linha de derivação e linha principais possuírem as mesmas medidas, optou-se pela utilização do mesmo tubo Coroplastik PN25, com 23 milímetros internos

2.3.2.6.1 Perda de carga

$$hf = 9,58 * 10^5 * \left(\frac{0,7018323}{23^{4,83}}\right)^{1,83} * 38 \text{ metros} \quad (16)$$

$$hf = 5,018 \text{ mca} \quad (17)$$

2.3.2.6.1 Pressão na linha principal

$$Hm = \text{“h_ini_manifold”} + hf + \text{desnível} + \text{perda de carga gerada pelo cabeçal} \quad (18)$$

Neste caso, o desnível entre o fim da linha principal e a motobomba é de 1 metro e a perda de carga no cabeçal é de geralmente 5 mca (BERNARDO, 2008)

$$Hm = 10,59 + 5,018 + 1 + 5 = 21,61 \text{ mca} \quad (19)$$

2.3.2.6.2 Potência da motobomba

$$Pm = \frac{Qs * Hm}{75 * Eb} \quad (20)$$

$$Pm = \frac{0,7018323 * 21,61}{75 * 0,74} = 0,273 \text{ cv} \quad (21)$$

De modo geral, pode-se optar pela escolha da motobomba MBI-1 I1-25 1/2 Cv Monofásico Schneider, como observa-se na Figura 13, que representa as características hidráulicas da motobomba, esta atende a altura manométrica necessária com submergência de 2 metros. Quanto à potência, a mesma possui 0,5 cv com eficiência de 74%, gerando uma potência real de 0,37 cv reais, mais próximo ao desejado. Além disso, a mesma consegue atingir a altura manométrica necessária com o rotor de 112 milímetros.

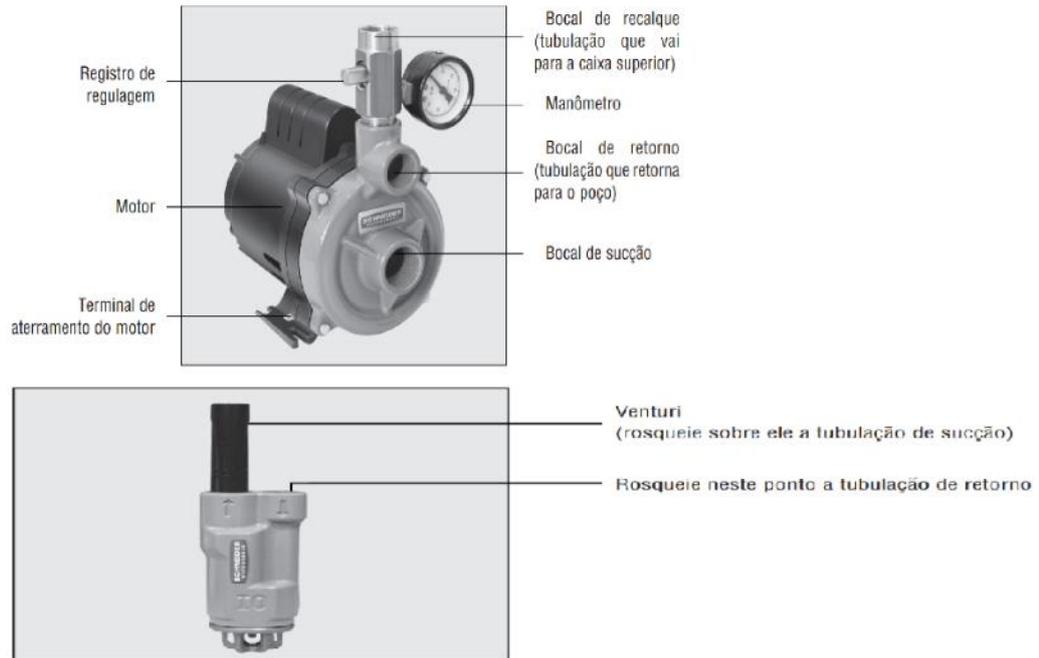
Figura 13- Características hidráulicas da motobomba MBI-1 I1-25.

Modelo	Potência (cv)	Submergência (m)	Características Hidráulicas														
			Profundidade até o injetor (m)														
			11	12	13	14	15	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34
Vazão em m³/h válida para água a 25°C, ao nível do mar																	
MBI-1 I1-15	1/2	2	1,89	1,75	1,61	1,4	1,33	1,2	0,95	0,7							
		10	*	2,94	2,79	2,57	2,49	2,35	2,06	1,78	1,51	1,24					
	3/4	2	2,04	1,89	1,75	1,55	1,48	1,34	1,08	0,83							
		10	*	3,02	2,87	2,65	2,58	2,44	2,15	1,88	1,61	1,34					
	1	2	2,11	1,97	1,83	1,62	1,55	1,41	1,15	0,9	0,65						
		10	*	3,12	2,97	2,75	2,68	2,53	2,25	1,97	1,7	1,43					
	1/2	2	*	*	*	*	*	0,9	0,78	0,66	0,56	0,46	0,36				
		10	*	*	*	*	*	1,33	1,17	1,03	0,89	0,77	0,65	0,5	0,42		
MBI-1 I1-25	3/4	2	*	*	*	*	*	0,99	0,88	0,77	0,67	0,57	0,48	0,37	0,3		
		10	*	*	*	*	*	1,38	1,24	1,11	0,98	0,86	0,74	0,61	0,53		
	1	2	*	*	*	*	*	1,02	0,9	0,79	0,69	0,59	0,5	0,39	0,32		
		10	*	*	*	*	*	1,42	1,28	1,14	1,01	0,89	0,78	0,63	0,55		

Fonte: SCHNEIDER MOTOBOMBAS, 2021a.

Salienta-se que este modelo é do tipo motobomba injetora, possuindo duas tubulações em contato com a motobomba e o ponto de sucção, estas são representadas pela tubulação de sucção e pela de retorno como observamos na Figura 13.

Figura 14 - Componentes da motobomba injetora



Fonte: SCHNEIDER MOTOBOMBAS, 2021b.

2.3.2.6.6 Gastos gerados pela motobomba

Para efeito dos cálculos foi considerado um ciclo de 365 dias. Onde aplica-se uma Lâmina média (*LAMmed*) de 3,036 mm por dia.

Tempo de funcionamento

$$Tf = \frac{Lc}{I} * Nu \quad (22)$$

$$Tf = \frac{1108,14}{11,22} * 2 = 197,53 \text{ horas} \quad (23)$$

Consumo de energia

$$Ce = Tf * 0,735 * Pm \quad (24)$$

$$Ce = 197,53 * 0,735 * 0,5 = 72,59 \text{ kW.h} \quad (25)$$

Este consumo deve ser multiplicado pelo custo do kW.h do local de instalação do projeto, que para Santa Catarina para o período de 22 de agosto de 2020 a 21 de agosto de 2021,

para uso rural não cooperativo, é de 0,46837 R\$/kWh (CELESC, 2021). Sendo assim ao multiplicarmos o Consumo de energia (Ce), pelo valor cobrado, obtém-se aproximadamente 34 reais no período

2.3.2.6.7 Custos do projeto

Tabela 05 - Gastos gerais do projeto para morango

Item	Valor unitário	Quantidade	Total
Tubo gotejador NaanTif 16 mm	0,40	1512 metros	604,80
Linha de derivação + Linha principal	20,25	13 tubos de 6 metros	263,25
Cabeçal de controle	730,00	1	730,00
Motobomba	855,00	1	855,00
Registro 32 mm PVC	10,95	2	21,90
Tê soldável 32 mm	2,50	1	2,50
Joelho 90°	2,50	2	5,00
		Total:	2.516,45
Gasto em energia	34,00	Anual	34,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

De modo geral, para o cabeçal de controle optou-se pela utilização de filtro de discos, disco de tela, injetor de fertilizantes e reservatório para este. Pode-se utilizar também o filtro de areia, contudo, não foi possível encontrar o produto no mercado.

2.3.3 Exemplo de projeto para maçã com microirrigação : microaspersão

Cultura: Maçã (*Malus domestica*)

Local: Curitibanos - Santa Catarina

Clima: idêntico ao citado no projeto anterior, contudo a evapotranspiração máxima da macieira é de 4,8 mm/dia (CONCEIÇÃO, 2019).

Área: A área para este projeto pode ser observada na Figura 09, retratada como área 2, com 9504 metros quadrados. Além disso, adota-se o espaçamento para largura entre as árvores, é de 6 metros entre fileiras e 3 metros entre plantas. Possuindo uma copa com cerca de 2,5 metros (DENARDI; BERNARDI, 2003).

2.3.3.1 Dimensionamento agrônômico

Diferente do exemplo anterior, para determinação da área molhada devemos utilizar a Equação 14, para o cálculo da área do círculo formado pela copa da árvore.

$$Am = \frac{\pi * D^2}{4} \quad (26)$$

Em que:

Am = Área molhada (m²)

D = Diâmetro (m)

Tabela 06 - Dimensionamento agrônômico para cultura da maçã.

Fórmula	Cálculo	Resultado	
P	$P = \frac{Am}{At}$	$P = \frac{(\pi * 2,5^2)/4}{6 * 3}$	0,2727 ou 27,27%
Kl	$Kl = P + 0,15 * (1 - P)$	$Kl = 0,27 + 0,15 * (1 - 0,27)$	0,379
ETc loc.	$ETcloc = ETcmax * Kl$	$ETcloc = 4,8 \text{ mm} * 0,379$	1,819 mm/dia
LAM max.	$LAMmax = ETcloc * TR$	$LAMmax = 1,819 \text{ mm/dia} * 4 \text{ dias}$	7,2786 mm

P = Porcentagem de área molhada; Kl = Coeficiente de ajuste; ETc loc = Evapotranspiração da irrigação localizada; LAM max = Lâmina de irrigação máxima
 Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

2.3.3.2 Escolha do emissor

Este micro aspersor foi escolhido, principalmente devido ao diâmetro molhado, que deve estar sob a copa da cultura, neste sentido optou-se pelo de coloração verde clara, com 2,2 metros de diâmetro molhado e vazão de 36 litros por hora (Figura 14), disponível no catálogo Amanco (2017).

Figura 15 - Variação da vazão e pressão do micro aspersor escolhido

Bocal			360° x 16 Jatos	
Cor	Pressão (Kgf/cm ²)	Vazão (lph)	Diâmetro Molhado (m)	
			Menor B	Maior A
Cinza	1,0	25	2,3	3,3
	1,5	30	2,6	3,7
	2,0	34	2,9	3,8
Preto	1,0	31	2,3	3,1
	1,5	38	2,9	3,8
	2,0	43	3,3	4,4
Verde Claro	1,0	36	2,2	2,8
	1,5	45	2,7	3,7
	2,0	50	2,7	3,6

Fonte: AMANCO, 2017

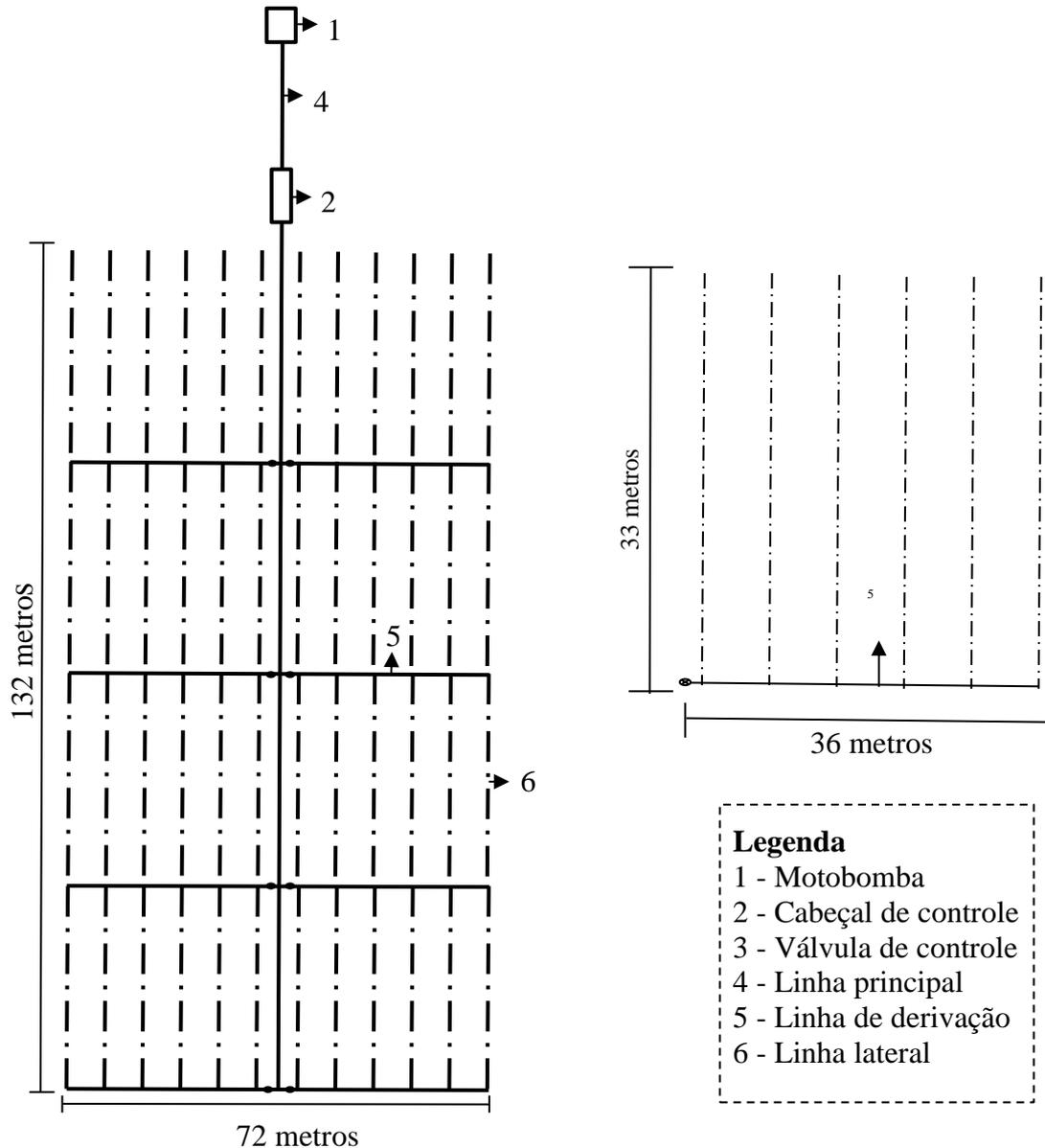
Tabela 07 - Dimensionamento da intensidade, tempo de aplicação e subunidades do sistema da maçã.

	Fórmula	Cálculo	Resultado
I	$I = \frac{Q_{emissor}}{E1 * E2}$	$I = \frac{36 \text{ litro/hora}}{6 * 3 \text{ metros}}$	2 mm/hora
Ti	$Ti = \frac{LAM \text{ max}}{I}$	$Ti = \frac{7,2786 \text{ mm}}{2 \text{ mm/hora}}$	3,6393 horas
Nu	$Nu = \frac{TR * JT}{Ti}$	$Nu = \frac{4 \text{ dias} * 8}{3,6393 \text{ horas}}$	8 subunidades

I = Intensidade de aplicação; Ti = Tempo de aplicação; Nu = Número de unidades operacionais ou subunidades.
 Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

2.3.3.3 Croqui

Figura 16 - Croqui do sistema de irrigação e seus componentes para maçã.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Destaca-se nesta imagem a posição das linhas de derivação, pois estão na face mais alta do terreno, sendo que a água carregada pelas tubulações das linhas laterais estará em declive, proporcionando maior uniformidade de aplicação, se comparada a um sistema que em aclave. Contudo, este formato acarreta maior custo na aquisição da linha principal, pois esta terá que conduzir a água até a parte mais alta do terreno.

Quadro 12 - Cálculo do coeficiente e expoente do micro aspersor para a maçã, pacote *hydirrig* em RStudio.

```
h <- c(10, 20)
q <- c(36, 50) / 3600000

coef_emitter(h, q)

$coef_em
[1] 3.357908e-06

$exp_em
[1] 0.4739312
```

2.3.3.4 Dimensionamento das Linhas laterais

Neste passo o estudo realizado é o mesmo, para determinar a pressão necessária para atingir a vazão. Contudo, no projeto anterior o gotejador se encontrava inserido na tubulação, o que não ocorre neste caso, neste sentido, deve-se optar por uma tubulação próxima ou menor do que o último caso. Sendo assim, para este projeto optou-se pela utilização do Tubo Amanco PELBD 1335 PN 30, com 13 milímetros internos.

- Diâmetro interno da linha lateral: 13 mm
- Espaçamento entre emissores: 3 metros
- Espaçamento no início da linha lateral: 11,5 metros
- Número de emissores: 10
- Declividade da linha lateral: -3,6% (em declive)
- Coeficiente do emissor: 3.357908e-06 (em m³/s)
- Expoente do emissor: 0.47
- Coeficiente de rugosidade (rugosidade absoluta): 0,0001 m

Quadro 13 - Função “lateral_head” para cálculo da vazão e sua respectiva variação na linha lateral da maçã. Pacote *hydirrig* em RStudio.

```
do.call(  
  lateral_head,  
  list(  
    q_req_lateral = 1e-05,  
    d_lateral = 0.013,  
    s_lateral = 3,  
    s_ini_lateral = 1.5,  
    n_lateral = 10,  
    dec_lateral = -0.036,  
    coef_em = 3.357908e-06,  
    exp_em = 0.47,  
    rc = 1e-04  
  )  
)
```

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Quadro 14 - Resultado da função “lateral_head” para maçã. Pacote *hydirrig* em RStudio.

```
$d_lateral  
[1] 0.013  
  
$h_ini_lateral  
[1] 10.40332  
  
$h_fim_lateral  
[1] 10.44693  
  
$q_ini_lateral  
[1] 0.0001000007  
  
$q_mean_lateral
```

```

[1] 1.000007e-05

$q_var_lateral
[1] 0.01740869

$iterations
[1] 17

```

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

2.3.3.5 Dimensionamento da linha de derivação para maçã

Quadro 15 - Função *subunit_head_diameter* para determinar o diâmetro da linha de derivação. Pacote *hydirrig* em RStudio.

```

do.call(
  subunit_head_diameter,
  list(
    q_req_subunit = 1e-05,
    q_var_subunit = 10,
    s_manifold = c(6, 6, 6),
    s_ini_manifold = 3,
    n_manifold = 6,
    dec_manifold = 0,
    d_lateral = 0.013,
    s_lateral = 3,
    s_ini_lateral = 1.5,
    n_lateral = 10,
    dec_lateral = -0.036,
    coef_em = 3.357908e-06,
    exp_em = 0.47,
    rc = 1e-04
  )
)

```

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Quadro 16 - Resposta da função *subunit_head_diameter*, com o diâmetro calculado para linha de derivação para maçã. Pacote *hydirrig* em RStudio.

```
$d_manifold
[1] 0.02151696

$h_ini_manifold
[1] 12.55785

$h_fim_manifold
[1] 9.729385

$q_ini_manifold
[1] 0.0006416967

$q_mean_subunit
[1] 9.999964e-06

$q_var_subunit
[1] 10

$iterations
[1] 261
```

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Para estas medidas, optou-se pela utilização do Tubo amanco de 26,9 mm internos, disponível no catálogo http://assets.production.amanco.com.br.s3.amazonaws.com/uploads/gallery_asset/file/114/Catalogo_Irrigacao_2017_WEB_FINAL.pdf.

Quadro 17 - Função *subunit_head* para determinar a pressão do sistema com o diâmetro comercial. Pacote *hydirrig* em RStudio.

```
do.call(  
  subunit_head,  
  list(  
    q_req_subunit = 1e-05,  
    d_manifold = 0.0269,  
    s_manifold = c(6, 6, 6),  
    s_ini_manifold = 3,  
    n_manifold = 6,  
    dec_manifold = 0,  
    d_lateral = 0.013,  
    s_lateral = 3,  
    s_ini_lateral = 1.5,  
    n_lateral = 10,  
    dec_lateral = -0.036,  
    coef_em = 3.357908e-06,  
    exp_em = 0.47,  
    rc = 1e-04  
  )  
)
```

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Ao observarmos o Quadro 17, no tópico *q_var_subunit*, verifica-se que a variação dentro da subunidade é baixa com 4,56%. Contudo, se calcularmos o sistema em aclave, como destacado logo abaixo da Figura 15 (Croqui), este valor de variância salta para 9,95%.

Quadro 18 - Resultado da função *subunit_head* com a pressão do sistema para o diâmetro comercial. Pacote *hydirrig* em RStudio.

```
$d_manifold
[1] 0.0269

$h_ini_manifold
[1] 11.09125

$h_fim_manifold
[1] 10.17723

$q_ini_manifold
[1] 0.0006417351

$q_mean_subunit
[1] 1.000002e-05

$q_var_subunit
[1] 4.5668

$iterations
[1] 18
```

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

2.3.3.6 Dimensionamento da linha principal

$$D = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * V_{max}}} \quad (27)$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * 0.000641735}{\pi * 2 \text{ m/s}}} = 0,02021 \text{ metros} \quad (28)$$

2.3.3.6.1 Perda de carga

$$hf = 9,58 * 10^{-5} * \left(\frac{0,641735}{26,9} \right)^{1,83} * 162 \text{ metros} \quad (29)$$

$$hf = 8,5632 \text{ mca} \quad (30)$$

2.3.3.6.2 Pressão na linha principal

$$H_m = \text{“}h_{ini_manifold}\text{”} + hf + \text{ desnível} + \text{ perda de carga gerada pelo cabeçal} \quad (31)$$

$$H_m = 11,09 + 1,586 + 5 + 5 = 29,65 \text{ mca} \quad (32)$$

2.3.3.6.3 Potência da motobomba

$$P_m = \frac{Q_s * H_m}{75 * \eta_b} \quad (33)$$

$$P_m = \frac{0.641735 * 22,67695}{75 * 0,25} = 1,015 \text{ cv}$$

Sendo assim opta-se pela motobomba Thebe Th-16 Nr , com 1,5 cv de potência e 40% de eficiência. Disponível no catálogo <http://www.thebe.com.br/pdf/catalogo/TH-16%20-%20THA-16.pdf>.

2.3.3.6.4 Tempo de funcionamento

$$Tf = \frac{Lc}{I} * Nu \quad (34)$$

$$Tf = \frac{663,935}{2 \text{ mm}} * 2 = 331,96 \text{ horas} \quad (35)$$

2.3.3.6.5 Consumo de energia

$$Ce = Tf * 0,735 * Pm \quad (36)$$

$$Ce = 331,9675 * 0,735 * 1,5 = 365,99 \text{ kW.h} \quad (37)$$

Este consumo deve ser multiplicado pelo custo do kW.h do local de instalação do projeto, que para Santa Catarina para o período de 22 de agosto de 2020 a 21 de agosto de 2021, para uso rural não cooperativo, é de 0,46837 R\$/kWh (CELESC, 2021). Sendo assim ao multiplicarmos o Consumo de energia (Ce), pelo valor cobrado, obtém-se aproximadamente 171,42 reais no período.

2.3.6.7 Custos do projeto

Tabela 08 - Gastos gerais do projeto para maçã.

Item	Valor unitário	Quantidade	Total
Microaspersor	3,30	480	1.584,00
Mangueira para linha lateral	1,50	1.584,00	2.376,00
Linha de derivação + Linha principal	1,20	273	327,60
Cabeçal de controle	730,00	1	730,00
Motobomba	700,00	1	700,00
Conector Registro	26,00	8	208,00
Adaptador para mangueira com rosca	8,80	16	140,80
Cruzeta roscável	15,00	4	60,00
Joelho 90°	2,50	2	5,00
Total			4.661,40
Gasto em energia	116,00	Anual	114,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O programa testado mostra-se como uma ferramenta excelente para facilitar o trabalho do projetista no dimensionamento hidráulico, possuindo uma alta precisão e acurácia. Além disso, nota-se que os dados necessários para a utilização do pacote são moderadamente fáceis de se encontrar na literatura e nos catálogos comerciais.

O pacote *hydirrig*, apesar de ser facilmente aplicável, requer alguns cuidados. Dentre estes, uma boa escolha do diâmetro inicial das linhas laterais, possibilitando uma alta uniformidade de distribuição de água. Destaca-se também aos futuros projetistas o cuidado em limitar o comprimento das linhas laterais, uma vez que linha muito extensas e com menores diâmetros tendem a reduzir a uniformidade da distribuição.

REFERÊNCIAS

- AMANCO. **Linha irrigação**, 2017. Disponível em: http://assets.production.amanco.com.br.s3.amazonaws.com/uploads/gallery_asset/file/114/Catalogo_Irigacao_2017_WEB_FINAL.pdf. Acesso em: 27/08/2021
- ANDRADE, L.; CARVALHO, J. A. Software para suporte hidráulico. *In: INFOAGRO2000 / CONGRESSO E MOSTRA DE INFORMÁTICA*, Ponta Grossa, 2000. **Anais[...]** Ponta Grossa: UEPG, 2000. Disponível em: https://infoagro.deinfo.uepg.br/artigos/pdf/info_021.pdf. Acesso em: 27/08/2021.
- BERNARDO, S; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: UFV, 2008.
- BISCARO, G. A. **Sistemas de Irrigação por Aspersão**. Dourados: UFGD, 2009
Disponível em: <https://repositorio.ufgd.edu.br/jspui/bitstream/prefix/2434/1/sistemas-de-irrigacao-por-aspersao.pdf>. Acesso em: 16/08/2021.
- BISCARO, G. A. **Sistemas de Irrigação localizada**. Dourados: UFGD, 2014
Disponível em: <https://repositorio.ufgd.edu.br/jspui/bitstream/prefix/2433/1/sistemas-de-irrigacao-localizada.pdf>
- BOTREL, T. A.; MARQUES, P. A. A. Software para dimensionamento de irrigação por sulcos. **Scientia Agricola**, v.57, n.4, p.803-811, 2000. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sa/a/7VRmfMQgVq6NMZRwwbSqhSG/?format=pdf&lang=pt#:~:text=O%20Software%20Sulcos%202000%20auxilia,durante%20a%20fase%20de%20projeto.Acesso em:27/08/2021>.
- CANAL AGRICOLA, **Mangueira de Gotejamento Netafim Streamline X 16060**, 2021.
Disponível em: <https://www.canalagricola.com.br/mangueira-gotejamento-netafim-streamline-x-16060-30cm-1000m>.
- CARVALHO, P. E. R. **Clima**. AGEITEC: EMBRAPA. Disponível em: [https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/especies_arboreas_brasileiras/arvore/CONT000fx7sbvql02wyiv80u5vcsvr320a46.html#:~:text=Temperatura%20m%C3%A9dia%20do%20m%C3%AAs%20mais%20quente%3A%2019%2C4%20%2C%20BAC%20\(%20geadas%20no%20Sul%20do%20Brasil.Acesso em: 15/08/2021](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/especies_arboreas_brasileiras/arvore/CONT000fx7sbvql02wyiv80u5vcsvr320a46.html#:~:text=Temperatura%20m%C3%A9dia%20do%20m%C3%AAs%20mais%20quente%3A%2019%2C4%20%2C%20BAC%20(%20geadas%20no%20Sul%20do%20Brasil.Acesso em: 15/08/2021)
- CELESC. **Tarifas e taxas de energia**. 2021. Disponível em: <https://www.celesc.com.br/tarifas-de-energia#tarifas-vigentes>
- CHRISTOFIDIS, D. Água, irrigação e agropecuária sustentável. **Revista de Política Agrícola**, v.22, n.1, p.115 - 117, 2013. Disponível em: <https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/view/286/247>. Acesso em: 27/08/2021
- CLIMATE-DATA. **Dados Climáticos para cidades mundiais**. Oedheim: CLIMATEDATA. Disponível em: < <http://pt.climate-data.org/>>. Acesso em: 15/08/2021.

COELHO, E. F.; DONATO, S. L. R.; OLIVEIRA, P. M.; SILVA, T. S. M. Aspectos de manejo de irrigação para eficiência de uso de água em bananeira. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE BANANICULTURA*, 2015, Montes Claros. **Anais [...]**. Montes Claros, 2015. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/126855/1/Aspectos-de-manejo-de-irrigacao-para-eficiencia-de-uso-de-agua-em-bananeira.pdf>

CONCEIÇÃO, M. A. F. Sistema de Produção de Uva de Mesa do Norte de Minas Gerais, **Embrapa Uva e Vinho**, 2005. Disponível em: <https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Uva/MesaNorteMinas/irrigacao.htm>. Acesso em: 16/08/2021.

CONCEIÇÃO, M. A. F.; NACHTIGALL, G. R.; CARGNINO, C.; FIORAVANÇO, J. C. Balanço hídrico na cultura da macieira em Vacaria, RS. *In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia*, 16., 2009. Belo Horizonte. **Anais [...]**. Viçosa: Embrapa Milho e Sorgo, 2009.

DENARDI, F.; BERNARDI, J. **Produção integrada de maçãs no Brasil**. EMBRAPA, 2003. Disponível em: <https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Maca/ProducaoIntegradaMaca/plantio.htm>

ESTEVES, B. S; SILVA, D. G.; PAES, H. M. F.; SOUSA, E. F. S. **Irrigação por gotejamento**. Niterói: Programa Rio Rural, 2012. 18 p. (Manual Técnico, 32). Disponível em: http://www.pesagro.rj.gov.br/downloads/riorural/32_Irrigacao_por_gotejamento.pdf

FLORES, D. M. **Irrigar – aplicativo computacional para o dimensionamento econômico de sistemas de irrigação por aspersão convencional**. 2014. 133f. Tese (Doutor em Engenharia Agrícola)- Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2014. Disponível em: https://files.ufgd.edu.br/arquivos/arquivos/78/MESTRADO-ENGENHARIA-AGRICOLA/DISSERTA%C3%87%C3%83O_Danilo%20de%20Mattos%20Flores.pdf. Acesso em: 24/08/2021.

FRIZZONE, J. A.; VIEIRA, A. T.; PAZ, V. P. S.; BOTREL, T. A. CARACTERIZAÇÃO HIDRÁULICA DE UM TUBO GOTEJADOR. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, n.3, p.278-283, 1998. Disponível em: <http://www.agriambi.com.br/revista/v2n3/278.pdf>. Acesso em: 15/08/2021

GARCIA, R. B.G. **Software para fertirrigação da cultura do morangueiro**. 2012. 91f. Dissertação (Mestre em Sistema de Produção na Agropecuária)- Programa de Pós-Graduação em sistema de produção na agropecuária, Universidade José do Rosário Vellano. Alfenas, 2012. Disponível em: <http://tede2.unifenas.br:8080/jspui/bitstream/jspui/60/1/RobertaBonamichiGuidiGarcia-dissertacao.pdf>.

HERNANDEZ, F. B. T. Noções da elaboração de um projeto de irrigação, **UNESP**, São Paulo, 1999. Disponível em: <http://www2.feis.unesp.br/irrigacao/projeto.htm>. Acesso em: 24/08/2021.

KELLER, J.; KARMELI, D. **Trickle irrigation design**. Rain Bird Sprinkler Manufacturing Corporation, 1975. 133 p.

LUCENA, K. F. M. **Modelo de otimização para o dimensionamento e operação de sistemas de microirrigação**. 2003. 187f. Tese (Doutor em Recursos Naturais) - Programa Institucional de Doutorado Temático em Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2003. Disponível em:http://ct.ufpb.br/lenhs/contents/documentos/pesquisa-lenhs/2003-tese_kennedy.pdf. Acesso em: 24/08/2021.

MESQUITA, M. **Avaliação dos componentes hidráulicos e do material filtrante em filtros de areia utilizados na irrigação**. 2010. 120 f. Dissertação (Mestrado em ...??). Faculdade de Engenharia Agrícola - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010. Disponível em: http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/256945/1/Mesquita_Marcio_M.pdf

NAANDANJAIN. **NAANTIF**. Leme: NaanDan Jain Brasil, 2017. Disponível em:<https://naandanjain.com.br/wp-content/uploads/2017/02/catalogo-naantif.pdf>. Acesso em:24/08/2021

Oliveira Filho, D.; Teixeira, C. A.; Ribeiro, M. C. Racionalização energética de um perímetro irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.8, n.1, p.144-152, 2004. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/xNJBs7gFpPxjsGcsGYWnc5G/abstract/?lang=pt>

PEREIRA, J. B. A. **Manual prático de irrigação**. Niterói: Emater, 2014. Disponível em:http://www.espacodoagricultor.rj.gov.br/pdf/irrigacao/MANUAL_PRATICO_DE_IRRIG_ACAO.pdf

R DEVELOPMENT CORE TEAM R: **A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria, 2018. Disponível em: <https://gexpdes.ufsc.br/>

SANTOS, F. J. S.; MIRANDA, F. R.; OLIVEIRA, V. H.; SAUNDERS, L. C. U. **Irrigação localizada (Microirrigação)**. Fortaleza: Embrapa, 1997. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/421474/1/Dc023.pdf>

SCHNEIDER MOTOBOMBAS. **MBI-1**: Motobomba para poços com altura de sucção superior a 8 m.c.a., 2021a. Disponível em:<https://schneider.ind.br/produtos/motobombas-de-superf%C3%ADcie/light/injetoras/mbi-1/>. Acesso em: 10/08/2021.

SCHNEIDER MOTOBOMBAS. **Manual de Instruções**: Bombas e Motobombas, 2021 Disponível em:https://schneidermotobombas.blob.core.windows.net/media/296441/schneider_manual_instru%C3%A7%C3%B5es_geral_2021-06.pdf. Acesso em: 10/08/2021

SCHRODER, F. C. **Levantamento em campo da rugosidade equivalente de tubos metálicos**. 2011. 167f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2011. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/296863871.pdf> . Acesso em: 10/08/2021.

SILVA, L. P.; SILVA, M. M.; CORREA, M. M.; SOUZA, F. C. D.; SILVA, E. F. F. Desempenho de gotejadores autocompensantes com diferentes efluentes de esgoto doméstico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**: Campina Grande. v.16, n.5, p. 480–486, 2012.

SILVA, F. O. **HydIrrig**: Um pacote para o dimensionamento hidráulico de sistemas de irrigação. 2018. TCC (Graduação em Agronomia) - Curso de Graduação em Agronomia do Centro de Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Catarina, Curitibanos, 2018.

SOARES, A. R. **Efeito da lâmina de irrigação e da porcentagem de área molhada no desenvolvimento e produção do cafeeiro em Patrocínio, MG**. 2005, 63f.. Tese (Doutor em Ciências) Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, , 2005. Disponível em:
<http://www.sbicafe.ufv.br/bitstream/handle/123456789/508/190303f.pdf?sequence=1>. Acesso em: 16/08/2021

SOUZA, C. C. M. **Avaliação do uso de esgoto doméstico tratado na irrigação do capim tifton 85, Aquiraz – CE**. 2009, 177f. Dissertação (Mestre em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

TEIXEIRA, A. G. **Comportamento de cultivares de café arábica com e sem irrigação nas regiões das montanhas do estado do Espírito Santo**. 2014, 54f. Dissertação (Mestre em Produção Vegetal) - Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2014. Disponível em:
<https://repositorio.ufes.br/bitstream/10/2012/1/Ariany%20das%20Gracas%20Teixeira.pdf>

TESTEZLAF, R.; MATSURA, E. E. **Engenharia de Irrigação: Tubos e acessórios**. São Paulo: Unicamp, 2015.

TESTEZLAF, R. **Irrigação: métodos, sistemas e aplicações**. São Paulo: Unicamp, 2017