

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA
BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

HENRIQUE PANCIERI DALMONECH

**DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO FIXO POR
GOTEJAMENTO PARA CACAUEIRO USANDO COMO BASE OS
PARÂMETROS DA MOTOBOMBA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PONTA GROSSA

2018

HENRIQUE PANCIERI DALMONECH

**DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO FIXO POR
GOTEJAMENTO PARA CACAUEIRO USANDO COMO BASE OS
PARÂMETROS DA MOTOBOMBA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, do Departamento Acadêmico de Mecânica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Eduardo Melo Lima

PONTA GROSSA

2018



TERMO DE APROVAÇÃO

DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO FIXO POR GOTEJAMENTO PARA CACAUEIRO USANDO COMO BASE OS PARÂMETROS DA MOTOBOMBA

por

HENRIQUE PANCIERI DALMONECH

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 3 de dezembro de 2018 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Luiz Eduardo Melo Lima
Orientador

Prof. Dr. Gerson Henrique dos Santos
Membro Titular

Prof. Dr. Gilberto Zammar
Membro Titular

Prof. Dr. Marcos Eduardo Soares
Responsável pelos TCC

Prof. Dr. Marcelo Vasconcelos de Carvalho
Coordenador do Curso

Dedico este trabalho à memória de meus avós e meu pai. Que sempre confiaram em mim e sonharam com meu sucesso.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho não poderia ser terminado sem a ajuda de diversas pessoas às quais presto minha homenagem. Certamente esses parágrafos não irão atender a todas as pessoas que fizeram parte dessa importante fase de minha vida. Portanto, desde já peço desculpas àquelas que não estão presentes entre estas palavras, mas elas podem estar certas que fazem parte do meu pensamento e de minha gratidão.

Agradeço imensamente:

- A Deus por me guiar e me livrar das armadilhas do destino, me dar saúde e inteligência.
- A minha família, pelo carinho, incentivo e total apoio em todos os momentos da minha vida.
- Aos meus amigos, que se tornaram minha família.
- Ao meu orientador, que me mostrou os caminhos a serem seguidos e pela confiança depositada.
- A todos os professores, colegas e amigos do cotidiano acadêmico, que ajudaram de forma direta e indireta na conclusão deste trabalho e do curso, bem como nos desafios diários.
- E principalmente, agradeço aos meus pais, pelo seu amor.

RESUMO

DALMONECH, Henrique Pancieri. **Dimensionamento de um sistema de irrigação fixo por gotejamento para cacauzeiro usando como base os parâmetros da motobomba**. 2018. 55 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2018.

As alterações climáticas afetam diretamente a oferta de água para produção de alimentos para a população mundial, gerando demanda de adaptação do setor agrícola para absorver suas adversidades, uma das alternativas encontradas para superar tal circunstância é o uso de técnicas de irrigação, que são formas de suprir o estresse hídrico causado nas plantas em épocas de seca, principalmente em cultivos que exigem quantidades relevantes de água, como o cacauzeiro, no qual o Brasil atua como um dos maiores produtores mundiais da amêndoa. O sistema de irrigação indicado para esse cultivo é o gotejamento fixo, que é dimensionado a partir dos parâmetros de uma bomba já existente, visando maior eficiência de bombeamento ao considerar as curvas de desempenho do equipamento. Ao aplicar conceitos da ciência que estuda a mecânica dos fluidos em uma área voltada para o cultivo do cacau o sistema de irrigação é dimensionado considerando as diferenças de altura, perdas de carga nas tubulações, e os aspectos de plantio do cultivo, onde ao gerar hipóteses de números de setores que a área deve ter, obtêm-se opções para seleção da quantidade ideal de setores para maior eficiência de bombeamento da bomba, bem como as medidas das tubulações e números de emissores, no qual garante-se uma distribuição uniforme de água e a validação do reaproveitamento da bomba para repor a necessidade de água do cacauzeiro, colaborando com o abastecimento mundial de cacau e o uso racional dos recursos hídricos.

Palavras-chave: Irrigação. Cultivo de cacau. Sistema de bombeamento.

ABSTRACT

DALMONECH, Henrique Pancieri. **Sizing of a fixed irrigation system by dripping for cocoa tree based on the motor pump parameters**. 2018. 55 p. Final Coursework (Bachelor's Degree in Mechanical Engineering) – Federal University of Technology — Paraná. Ponta Grossa, 2018.

Climate change directly affects the supply of water for food production to the world population, generating adaptation demand of the agricultural sector to absorb its adversities, one of the alternatives found to overcome this circumstance is the use of irrigation techniques, which are forms of to supply the water stress caused to plants in drought seasons, especially in crops that require significant amounts of water, such as cocoa, in which Brazil acts as one of the world's largest almonds producers. The irrigation system indicated for this crop is the fixed drip, which is dimensioned from the parameters of an existing pump, aiming at greater pumping efficiency when considering the curves of equipment performance. When applying concepts of the science that studies the fluids mechanics in an area directed to the cultivation of the cocoa crop, the irrigation system is dimensioned considering the differences of height, losses of load in the pipes, and the aspects of planting of the crop, where when generating hypotheses of the number of sectors that the area must have, options are obtained for selecting the optimum quantity of sectors for greater pumping efficiency of the pump, as well as the sizes of the pipes and numbers of emitters, in which a uniform distribution of water and validation of the reuse of the pump to restore the need for cocoa water, contributing to the global supply of cocoa and the rational use of water resources.

Keywords: Irrigation. Cocoa cultivation. Pumping system.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Gotejador autocompensante.	17
Figura 2 – Distribuição de vazão para múltiplos emissores nas linhas laterais. .	22
Figura 3 – Gráfico das perdas de carga em função do comprimento de uma mangueira de 16 mm de diâmetro.	23
Figura 4 – Determinação do comprimento equivalente com base nos emissores.	24
Figura 5 – Área de cultivo de cacau para realização do projeto.	29
Figura 6 – Fluxograma do projeto de dimensionamento.	30
Figura 7 – Área de cultivo de cacau para realização do projeto.	32
Figura 8 – Indicação das principais medidas para o projeto.	33
Figura 9 – Características técnicas da motobomba utilizada para o presente trabalho.	46
Figura 10 – Manual da Schneider de motobombas com as dimensões da bomba ME-231000 V.	47
Figura 11 – Curvas de altura, NPSH, potência do eixo e rendimento da bomba. .	48
Figura 12 – Croqui do sítio Duas Irmãs em escala.	49
Figura 13 – SDR 41 PVC.	50
Figura 14 – SDR 41 PVC.	51
Figura 15 – SDR 26 PVC.	52
Figura 16 – SDR 26 PVC.	53
Figura 17 – Polietileno (PE).	54
Figura 18 – Tabela com valores de k_f para válvulas e acessórios.	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Correção utilizando o fator F para diversos números de saídas.	21
Tabela 2 – Alturas mensuradas no GPS.	32
Tabela 3 – Conversão de distâncias da planta necessárias para o projeto convertidas para distâncias reais.	34
Tabela 4 – Número de plantas por setor de acordo com número de setores criados.	34
Tabela 5 – Número de carreiras, linhas terciárias e comprimento das linhas terciárias.	34
Tabela 6 – Número de linhas laterais, linhas terciárias e comprimento médio de linhas terciárias de acordo com o número de setores.	35
Tabela 7 – Parâmetros da área e irrigação do cultivo.	35
Tabela 8 – Valores de diâmetros e velocidades de escoamento para vazão de 4,722 L/S.	35
Tabela 9 – Perdas de carga localizadas para a linha principal utilizando hipóteses de 1 e 2 setores.	36
Tabela 10 – Perdas de carga localizadas para a linha principal utilizando hipóteses de 3 e 4 setores.	37
Tabela 11 – Perdas de carga localizadas para a linha principal utilizando hipóteses de 5 e 6 setores.	37
Tabela 12 – Comprimento da linha principal para cada hipótese de número de setores.	37
Tabela 13 – Perda de carga para a linha principal.	37
Tabela 14 – Perda de carga para a linha secundária.	38
Tabela 15 – Perda de carga para as linhas terciárias para cada hipótese de setores.	38
Tabela 16 – Perda de carga total para cada hipótese de setor.	38
Tabela 17 – Eficiência de bombeamento aproximada para cada hipótese de setor.	39
Tabela 18 – Dimensionamento dos principais parâmetros/itens para o projeto de irrigação.	40

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	MOTIVAÇÃO	12
1.2	OBJETIVOS	12
2	REVISÃO DA LITERATURA	14
2.1	IRRIGAÇÃO E A CACAUCULTURA	14
2.2	IRRIGAÇÃO	15
2.3	MICROIRRIGAÇÃO FIXA POR GOTEJAMENTO	16
2.4	GOTEJADORES	17
2.5	BOMBAS CENTRÍFUGAS	18
2.6	PERDAS DE CARGA	20
2.6.1	Perdas de Carga em Bombas	20
2.6.2	Perdas de Carga nas Tubulações	20
2.6.2.1	Perdas de carga nas tubulações principais	20
2.6.2.2	Perdas de carga nas tubulações secundárias	21
2.6.2.3	Perdas de carga nas mangueiras	22
2.6.3	Perdas de Carga em Acessórios	23
2.6.4	Perdas de Carga em Válvulas e Acessórios	23
2.6.5	Perdas de Carga nos Emissores	24
2.7	ASPECTOS DA ÁREA DO CULTIVO E IRRIGAÇÃO	25
2.7.1	Levantamento da Topografia da Área	25
2.7.2	Levantamento das Distâncias da Área	25
2.7.3	Cálculo do Número de Plantas por Área	26
2.7.4	Divisão das Áreas em Setores	26
2.7.5	Determinação do Número de Carreiras e Linhas Terciárias para Irrigação por Gotejamento	26
2.7.6	Determinação do Comprimento das Linhas Terciárias para Irrigação por Gotejamento	27
2.7.7	Determinação do Número de Gotejadores Total e por Linha	27
3	METODOLOGIA	29
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
5	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	41
	REFERÊNCIAS	42
	ANEXOS	45
	ANEXO A – CATÁLOGO TÉCNICO SCHNEIDER DE MOTOBOMBAS	46
	ANEXO B – CATÁLOGO TÉCNICO SCHNEIDER PARA MOTOBOMBAS CENTRÍFUGAS MULTISTÁGIO DA SÉRIE ME-2	47
	ANEXO C – CURVAS DA MOTOBOMBA CENTRÍFUGA MULTISTÁGIO DA SÉRIE ME-2	48
	ANEXO D – SÍTIO DUAS IRMÃS	49
	ANEXO E – PERDAS DE CARGA PARA PVC E PE EM RELAÇÃO A VELOCIDADE E VAZÃO	50

ANEXO F – COEFICIENTES DE PERDA PARA VÁLVULAS E ACESSÓRIOS	55
---	-----------

1 INTRODUÇÃO

Dentre as atividades econômicas brasileiras, a agricultura é responsável por uma parcela considerável da geração de renda e empregos. Ela é capaz de abastecer o consumo interno e externo, inclusive exportando para outros continentes. Além de uma grande extensão territorial, outro fator determinante para consolidação de tal fato é a disponibilidade de água no país.

No Brasil, chove cerca de 13,4 trilhões de metros cúbicos de água por ano, porém, de forma não homogênea territorialmente, tampouco de forma perene. Salienta-se que de 2003 até 2016 foram registrados 5134 casos de secas no Brasil, e cerca de 55% (3058) dos municípios brasileiros decretaram situação de emergência ou estado de calamidade pública devido à estiagem (ANA, 2017).

Além da falta de abastecimento de água para a população, a ocorrência de secas acaba por prejudicar o desempenho da agricultura e, conseqüentemente, da economia, em um cenário em que a demanda mundial por cereais deve crescer de 2,1 bilhões de toneladas para cerca de 3 bilhões de toneladas até 2050 (FAO, 2009), exigindo uso de técnicas agrícolas que conciliam produtividade e racionalização no uso de água.

Uma alternativa para contornar tal situação é a utilização de culturas irrigadas com foco para a economia de água. Salienta-se que se trata da atividade que mais consome água no país, aproximadamente 54% do consumo anual (FAO, 2010).

Com isto, novas técnicas de irrigação com foco no consumo racional de água tem sido desenvolvidas. O tipo de irrigação que apresenta uma maior eficiência é o sistema por gotejamento, com cerca de 95% de eficiência. Isto deve-se ao fato de que a água é aplicada em apenas parte da área, reduzindo a área de solo sujeita a perda por evaporação (ANA, 2013).

Uma das desvantagens do uso da irrigação por gotejamento é a possibilidade de entupimento dos gotejadores devido às impurezas da água. Uma opção para evitar tal fato, é a aplicação de filtros no sistema. Além disso, o uso do gotejamento é mais voltada para culturas de maior valor econômico, devido ao seu custo elevado e necessidade de mão de obra especializada (BERNARDO, 2002), citando como exemplo a cacauicultura.

O Brasil é o sétimo maior produtor de cacau do mundo segundo ICCO (2016), produzindo cerca de 140 mil toneladas na safra 2016, onde junto com outros países das Américas, tornam-se responsáveis por 16,7% da produção mundial.

Grande parte da produção brasileira de cacau é oriundo da agricultura familiar, que é cada vez mais adepta das técnicas de irrigação, porém, o custo elevado dos sistemas faz com que produtores reutilizem componentes de sistemas de áreas não mais cultivadas, ou anexem mais sistemas numa mesma fonte de captação.

No projeto hidráulico de um sistema de irrigação, o mesmo tem início no levantamento da topologia do terreno (diferenças de altura) e distância do ponto de fornecimento, onde são calculadas as perdas de carga causadas pela diferença de altura, comprimento de tubulação e acessórios, sendo que a bomba é selecionada ao final do processo.

Assim, uma opção para maior disseminação de métodos racionalizados de irrigação com redução do custo de implantação é a reutilização de uma bomba já existente em um sistema fixo de gotejamento, onde a partir dos dados técnicos da bomba, é feito todo o projeto hidráulico para garantir que a água chegue na quantidade necessária e de forma uniforme nas raízes da planta.

Este tipo de abordagem considera os mesmos aspectos de projetos hidráulicos tradicionais, porém, a maior diferença se encontra ao assumir uma hipótese de setoriamento do sistema de irrigação.

1.1 MOTIVAÇÃO

O presente trabalho tem como motivação atender à necessidade hídrica do cultivo do cacauzeiro partindo do pressuposto que já exista uma bomba na área que poderá ser reaproveitada, irrigando o cultivo de forma homogênea, com melhor rendimento de bombeamento, obtido através da minimização das perdas de carga.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é dimensionar um sistema de irrigação fixo por gotejamento para cacauzeiro, e o número de setores, usando como base os parâmetros da motobomba.

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Realizar uma revisão da literatura sobre o tema.
- Determinar os parâmetros técnicos do sistema de irrigação.
- Levantar aspectos da área, cultivo e bomba.
- Calcular perdas de carga no sistema.
- Dimensionar componentes do sistema.
- Definir número ideal de setores com menor perda de carga.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo apresenta uma revisão sobre: irrigação e cacauicultura; irrigação; microirrigação por gotejamento; sistema hidráulico; sistemas de bombeamento; aspectos da área de cultivo e irrigação.

2.1 IRRIGAÇÃO E A CACAUCULTURA

No Brasil não existem muitas pesquisas sobre efeitos de irrigação no cultivo do cacau devido a maioria dos plantios serem feitos em regiões com precipitação pluviométrica maior que 1500 mm/ano (SODRÉ, 2017).

A possibilidade de cultivo do cacauzeiro em regiões consideradas inaptas tem crescido exponencialmente com o desenvolvimento de novas tecnologias de irrigação localizada, conhecimento científico dos benefícios do manejo controlado de água, adequação de práticas de nutrição vegetal e fertirrigação de precisão ao lado de material genético de qualidade superior (SODRÉ, 2017).

A demanda mínima anual de precipitação de chuva para o cacauzeiro apresentar retorno econômico viável é de 1200 mm/ano sem o uso de irrigação. Porém, com uso de irrigação, torna-se possível irrigar zonas com precipitação anual média de valores torno de 700 mm/ano e 800 mm/ano, como é o caso dos municípios de Linhares e Colatina (região do baixo Rio Doce, no estado do Espírito Santo) (AUGUSTO, 1997), bem como no norte na Venezuela e no Equador (ALVIM, 1988).

No caso de Colatina, o uso de irrigação incrementou a produtividade em 54% (SIQUEIRA; MULLER; PINHO, 1987).

A pluviosidade influencia diretamente na qualidade da produção do cacauzeiro, tanto na quantidade de frutificação e na qualidade dos frutos. Mais especificamente no peso dos grãos, onde a distribuição (não só a quantidade de chuvas) nos quatro meses precedentes da colheita garantem maior peso por amêndoa. Isto torna explícita a sensibilidade do cultivo ao estresse hídrico (ALVIM, 1977).

Quando o armazenamento da água no solo permanece próximo de 5% da água disponível para a planta por mais de duas semanas, a perda e queda na qualidade dos frutos é consideravelmente grande (SODRÉ, 2017). O melhor cenário pro-

duto para cultivar é quando a porcentagem de armazenagem de água disponível no solo está acima de 60% (ALMEIDA; NOVA; KLAR, 2000).

O tipo de irrigação recomendado depende da textura, porosidade e matéria orgânica presente no solo, topografia, clima, disponibilidade hídrica, qualidade da água, mão de obra disponível e custo de implantação do sistema.

Alguns plantios comerciais do baixo sul da Bahia usam o sistema fixo de gotejamento superficial, com gotejadores localizados entre 0,5 m e 0,6 m e vazão de 2,0 L/h combinados com sistema de fertirrigação, plantados a pleno sol (SODRÉ, 2017), onde a transpiração diária é estimada em aproximadamente 45 L/dia para dias nublados e 90 L/dia para dias ensolarados (ALMEIDA; NOVA; KLAR, 2000), alcançando produtividade de até 3500 kg/ha/ano (SODRÉ, 2017).

2.2 IRRIGAÇÃO

O objetivo da irrigação é a suplementação das necessidades e perdas hídricas das plantas, sendo que as principais perdas de qualquer cultivo são através da transpiração. Os resultados obtidos com o emprego da irrigação são substancialmente significantes para qualquer cultura situada em localidades de baixa precipitação de chuva média anual.

Atualmente, existem diversos sistemas com característica diferentes e especificidades para diversos tipos de culturas. Sua escolha pode ser feita tomando como fatores determinantes a viabilidade técnica e econômica do projeto por uma análise cuidadosa e detalhada de fatores agrônômicos, físicos e econômicos (MOURQUELLI; SILVA, 1998).

Para cultivos de pomares, recomenda-se o uso da microirrigação (LAMM; AYARS; NAKAYAMA, 2007), no qual o sistema possuem aspectos de funcionamento importantes, como o baixo volume de água e alta frequência de aplicação, deste modo mantém a umidade do solo em um nível desejado (SILVA; SILVA, 2005).

Um sistema de irrigação consiste basicamente de emissores, tubulações, estação de controle e conjunto motobomba. Na estação de controle a água a ser distribuída para o sistema é captada e são instalados: filtros, válvulas, manômetros, sistema de automação e sistema de injeção de fertilizantes (em projetos onde os sistemas citados são aplicados) (ESTEVES et al., 2012).

As tubulações tem por finalidade transportar a água até a planta, variando de diâmetro e material de acordo com requisitos e cálculos do projeto.

Os gotejadores são os dispositivos responsáveis por liberar a água para o solo, podendo ser instalados nas mangueiras de polietileno que passam pelas carreiras da plantação, ou já vir inseridos dentro das mangueiras (ESTEVES et al., 2012) e sua aplicação é definida por custos de projeto.

2.3 MICROIRRIGAÇÃO FIXA POR GOTEJAMENTO

Os sistemas de gotejamento apresentam diversas vantagens aos demais sistemas de irrigação utilizados atualmente. Uma delas é a gestão da água, neste tipo de dispositivo é possível uma utilização controlada e eficiente do uso da água, garantindo menores perdas por evaporação e umidade ideal do solo devido a uniformidade de aplicação (PHOCAIDES, 2007).

Em contrapartida, devido sua baixa velocidade de escoamento e seu orifício de saída serem menores, a taxa de entupimento é incrementada, exigindo manutenção constante de emissores e filtros.

Em campo, a forma de identificação de entupimentos mais usada é através de inspeção visual, sendo difícil principalmente na ocorrência de entupimento parcial, podendo ser constatada somente através da medição das vazões dos emissores (LAMM; AYARS; NAKAYAMA, 2007), portanto, a qualidade da água é fundamental para evitar este problema causado por materiais particulados na tubulação (BATISTA, 2007).

Como a água é distribuída pontualmente no solo, outras atividades do cultivo podem ser realizadas simultaneamente sem interferência mútua, por exemplo, é possível irrigar e fazer a colheita de culturas que possuem colheitas múltiplas, otimizando a gestão tanto de tempo quanto de mão de obra em épocas com menores taxas de evapotranspiração, ao se utilizar sistemas de irrigação por gotejamento (LAMM; AYARS; NAKAYAMA, 2007).

O gotejamento evita que água seja desperdiçada em áreas marginais não produtivas como pedras, variações na topografia e criações de ervas daninhas (MOURUELLI; SILVA, 1998), neste último, em especial, o gotejamento contribui para o controle de ervas daninhas em épocas de estiagem, alimentando com água somente a cultura de interesse.

Devido o fato de ser localizada esse sistema de irrigação faz com que as ervas daninhas que cresçam na zona irrigada, podendo potencialmente cortar o efeito de herbicidas devido contato com a água, exigindo maior periodicidade de aplicação (LAMM; AYARS; NAKAYAMA, 2007).

2.4 GOTEJADORES

Os gotejadores são os dispositivos responsáveis pela descarga de água da tubulação para a planta, na microirrigação eles vem dentro ou fora de mangueiras feitas em polietileno, pode-se visualizar um na Figura 1.

Figura 1 – Gotejador autocompensante.



Fonte: Irritec (2009).

Os que são alocados dentro das mangueiras são mais utilizados em sistemas de irrigação. Além disto, eles podem ser autocompensantes ou não; sendo que os autocompensantes mantêm um vazão constante numa grande gama de pressões e geralmente são aplicados em projetos onde a perda de carga é significativa, garantindo maior uniformidade de molha e dimensionamento de carreiras mais longas .

A vazão do gotejador é inversamente proporcional a sua possibilidade de entupimento. Sua seleção deve ser feita considerando a capacidade de retenção de impurezas do filtro.

Os fabricantes padronizaram os valores de vazão por emissor em taxas de 2 L/h, 4 L/h, ou 8 L/h. Fatores determinantes para sua escolha são as características

do solo, a demanda de água do cultivo e a susceptibilidade ao entupimento (LAMM; AYARS; NAKAYAMA, 2007).

Em solos com maior teor de areia a infiltração de água ocorre mais rapidamente, portanto, gotejadores com vazões muito grandes podem fazer com que a água passe da zona radicular da planta, desperdiçando este recurso (LAMM; AYARS; NAKAYAMA, 2007).

A seleção do gotejador também deve levar em conta as necessidades de água do cultivo, ou seja, a vazão deve estar dentro do tempo máximo de irrigação diária definido pelo projeto (LAMM; AYARS; NAKAYAMA, 2007).

2.5 BOMBAS CENTRÍFUGAS

As bombas são utilizadas em sistemas de bombeamento de fluidos incompressíveis para transformar energia mecânica em energia cinética e energia de pressão, possibilitando o transporte de líquidos até um ponto desejado superando as forças de atrito de tubulações, resistências do fluido e desníveis energéticos (MACINTYRE, 1997a).

A aplicação de bombas em atividades industriais e agrícolas é notável, principalmente de bombas centrífugas, que tem uma série de vantagens perante os demais tipos de bombas, como custos de manutenção e operação baixos, dissipação do fluido com pressão uniforme e larga escala de aplicação, onde têm-se como contrapartida a baixa eficiência.

No âmbito do balanço energético presente no fenômeno do bombeamento em bombas centrífugas, a energia cinética gerada pela rotação do eixo com pás (rotor), fornece e transforma a energia de pressão em energia cinética para o fluido alocado na voluta, posteriormente no difusor acontece o processo inverso, transformando energia cinética em energia de pressão para que o escoamento seja mantido com velocidade desejada, expelindo o fluxo de líquido (MENON; MENON, 2010).

Um dos problemas esperados e analisados para o dimensionamento do sistema de bombeamento para irrigação são os desníveis topográficos apresentados na região de cultivo, estes apresentam uma diferença de altura entre a sucção e fixação da bomba, e entre a fixação e o recalque, estas considerações de alturas são denominadas a alturas estáticas do sistema (PHOCAIDES, 2007).

A altura estática de aspiração (h_a) representa a diferença entre o centro da bomba e a superfície do reservatório de água. A altura estática de recalque (h_r) representa a diferença entre o centro da bomba e descarga da água. A altura estática de elevação ou altura topográfica (h_e) representa a somatória das demais alturas do sistema, conforme a Equação (1):

$$h_e = h_a + h_r \quad (1)$$

A instalação de bombas centrífugas é simples, algumas condições básicas para a instalação são: fixar em lugares acessíveis para inspeções e manutenções; utilização de bancada sólida para diminuir os efeitos de vibrações; alinhamento entre acoplamentos de entrada e saída; instalação próxima ao lugar de aspiração, reduzindo os riscos com cavitação no sistema (HERAS, 2011).

Outra análise importante a se fazer na instalação de uma bomba é no que diz respeito à altura útil de elevação, que trabalha com a energia do líquido passando pela bomba, na qual utilizando a equação de conservação de energia entre a entrada e saída da bomba torna-se possível determinar a quantidade de energia de escoamento (MACINTYRE, 1997b).

O motor utilizado normalmente trabalha com velocidades constantes (MENON; MENON, 2010), deixando explícita a consideração de regime permanente nas análises e cálculos feitos em projetos.

Fatores relacionados a potência são úteis para determinar o consumo de energia durante o funcionamento, nota-se que existem basicamente três variáveis (vazão, altura manométrica e eficiência), onde, para visualizar de forma mais palpável o comportamento e a influência das variáveis entre si e no trabalho da bomba, geram-se as curvas características de funcionamento.

Curvas características de bombas são as relações gráficas entre as alturas manométricas em função das vazões num sistema, onde torna-se possível determinar a potência de acionamento necessária, também pode-se determiná-las com base em catálogos de fabricantes de bombas, no Anexo C encontra-se um exemplo de curvas características de bombas centrífugas.

O modo de seleção da bomba depende de qual encaixa-se melhor com as considerações de projeto e uso eficiente de energia. Também pode ser definida a relação entre as curvas características da bombas com as curvas características da tubu-

lação, entre elas haver um ponto ótimo de trabalho que determina as condições ideais entre vazão, altura manométrica, rendimento e funcionamento em geral do sistema de bombeamento (MACINTYRE, 1997b).

2.6 PERDAS DE CARGA

As perdas de carga em sistemas hidráulicos acontecem em todos os acessórios, na bomba e nas tubulações. Estas perdas de carga (ou de energia) influenciam as velocidades do sistema, afetando a turbulência e aumentando de atrito.

2.6.1 Perdas de Carga em Bombas

As perdas de carga em bombas acontecem principalmente nas superfícies das pás e do rotor, na parte interna da bomba e regiões de entrada e saída. Para diminuir as perdas de carga na entrada e na saída da bomba é importante trabalhar com velocidades menores de escoamento e aumentar os diâmetros.

2.6.2 Perdas de Carga nas Tubulações

As perdas de carga dependem da rugosidade equivalente da tubulação, que varia conforme o material e o tempo de utilização, pois para sistemas de irrigação, em função do tempo, a qualidade da água gera incrustações que dificultam no escoamento e causa deposições de partículas nas paredes das tubulações e nos filtros.

2.6.2.1 Perdas de carga nas tubulações principais

As tubulações principais são aquelas que saem da bomba e levam a água até a área destinada a ser irrigada. Possuem um diâmetro maior do que as outras tubulações para diminuir a perda de carga devido o comprimento, porém, quando maior a distância, maior o gasto na instalação.

O gradiente de perda de carga na linha principal do sistema de irrigação é obtido a partir da Equação (2) proposta por Hazen-Williams (LAMM; AYARS; NAKAYAMA, 2007):

$$J = \frac{100h_f}{L} = 1,212 \times 10^{12} \left(\frac{Q}{C} \right)^{1,852} D^{-4,87} \quad (2)$$

Sendo J o gradiente de perda de carga na tubulação (m/100m), h_f a perda de carga (m), L o comprimento da tubulação (m), C o coeficiente de Hazen-Williams e D o diâmetro da tubulação (mm). O valor de C para o PVC é de 150.

2.6.2.2 Perdas de carga nas tubulações secundárias

São das linhas principais que saem as linhas secundárias e posteriormente as mangueiras com os gotejadores. As saídas para as mangueiras alteram o cálculo da perda de carga mostrado pela Equação (2), levando em consideração o fator de múltiplas saídas F , proposta por Christiansen (LAMM; AYARS; NAKAYAMA, 2007), conforme apresentado na Equação (6):

$$h_f = 1,212 \times 10^{10} \left(\frac{Q}{C} \right)^{1,852} D^{-4,87} FL \quad (3)$$

A correção utilizando o fator F para diversos números de saídas pode ser obtida a partir da Tabela 1.

Tabela 1 – Correção utilizando o fator F para diversos números de saídas.

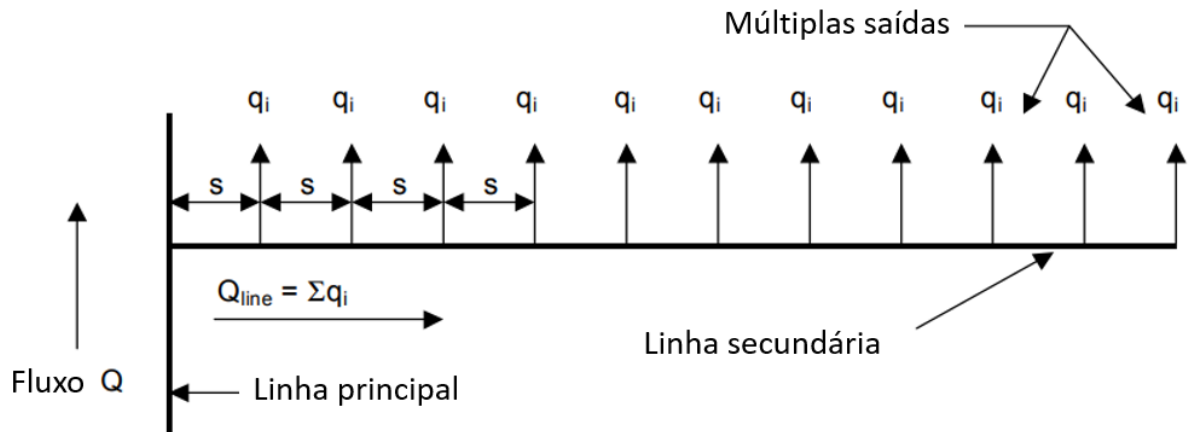
Número de saídas	F		Número de saídas	F	
	Espaçamento uniforme	Espaçamento não uniforme		Espaçamento uniforme	Espaçamento uniforme
1	1.00	1.00	8	0.42	0.38
2	0.64	0.52	9	0.41	0.37
3	0.53	0.44	10 - 11	0.40	0.37
4	0.49	0.41	12 - 14	0.39	0.37
5	0.46	0.40	15 - 20	0.38	0.36
6	0.44	0.39	21 - 35	0.37	0.36
7	0.43	0.38	>35	0.36	0.36

Fonte: Lamm, Ayars e Nakayama (2007).

Os valores de F variam de acordo com o número de saídas e também com a disposição das mesmas. Se o espaçamento entre as saídas (mangueiras) for uniforme, F é obtido cruzando o número de saídas com a primeira coluna da Tabela 1, se não, da segunda coluna da Tabela 1.

A Figura 2 apresenta uma representação esquemática da distribuição de vazão para múltiplos emissores nas linhas laterais.

Figura 2 – Distribuição de vazão para múltiplos emissores nas linhas laterais.



Fonte: Lamm, Ayars e Nakayama (2007).

2.6.2.3 Perdas de carga nas mangueiras

Assim como a tubulação secundária, nas mangueiras também são consideradas múltiplas saídas, pois cada gotejador corresponde a uma saída. Para o cálculo é utilizada a Equação (4):

$$h_{fl} = F \frac{L_E}{100} J \quad (4)$$

Sendo h_{fl} as perdas de carga das mangueiras, F o fator de múltiplas saídas, visualizado na Figura 2 e contabilizado pela Tabela 1, L_E o comprimento equivalente gerado pela interferência dos gotejadores, e J a perda de carga causada por atrito na mangueira, obtido através da vazão nas tabelas do Anexo E.

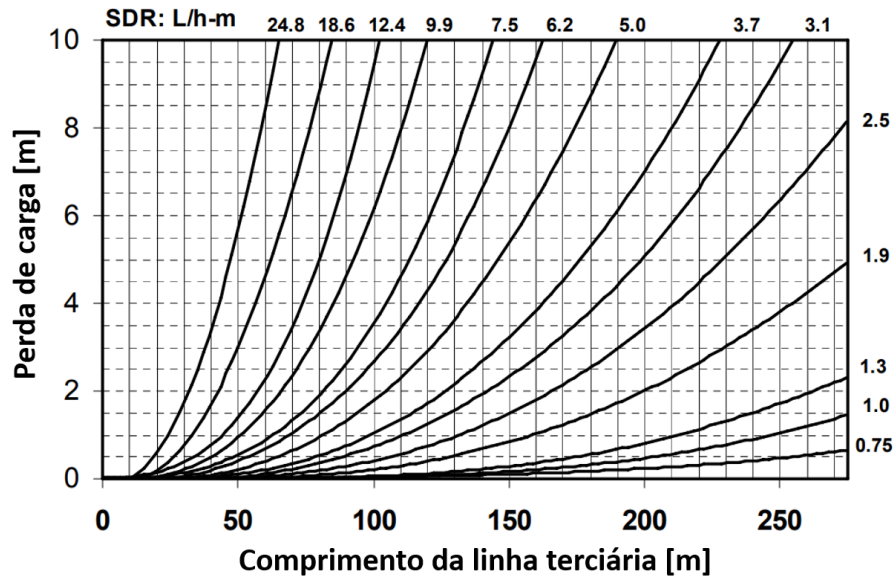
O comprimento equivalente da mangueira pode ser calculado pela Equação (5), onde n_e é o número de emissores por carreira, L_e é o comprimento físico da mangueira e L_f é o comprimento equivalente gerado pelos emissores.

$$L_E = n_e (L_e + L_f) \quad (5)$$

O diâmetro das tubulações de gotejamento podem variar entre 4 mm e 27 mm, possibilitando muita flexibilidade nos projetos de irrigação. Na aplicação de gotejadores convencionais, o diâmetro da tubulação interfere diretamente no comprimento das carreiras devido as perdas de carga (LAMM; AYARS; NAKAYAMA, 2007), como pode ser visto na Figura 3 onde é mostrada a perda de carga em função do comprimento de uma mangueira de 16 mm de diâmetro para diferentes vazões de emissores.

Quanto maior o diâmetro, menor é a perda de carga, porém, maior é o custo de aquisição. No entanto, dependendo da aplicação, a diminuição nas perdas de carga

Figura 3 – Gráfico das perdas de carga em função do comprimento de uma mangueira de 16 mm de diâmetro.



Fonte: Boswell (1984).

pode diminuir o uso de outros acessórios para cobrir a mesma área, e até mesmo diminuir a potência da bomba a ser utilizada, barateando o custo com o consumo de eletricidade.

A perda de carga nas mangueiras são calculadas levando em consideração tanto as saídas dos emissores quanto o comprimento das mangueiras (LAMM; AYARS; NAKAYAMA, 2007).

2.6.3 Perdas de Carga em Acessórios

Acessórios, válvulas e conexões fornecem perdas de carga localizadas, que podem ser definidas conforme a fórmula geral ou pelo método dos comprimentos equivalentes. Depois de toda a análise do sistema, é realizado o somatório de todas as perdas de carga, este parâmetro é importante para entender o comportamento do escoamento e a energia necessária para bombeamento (PHOCAIDES, 2007).

2.6.4 Perdas de Carga em Válvulas e Acessórios

As válvulas são dispositivos utilizados para várias funções distintas, como garantir o escoamento do fluido, controle de vazão, trabalhar com pressões ideais, segurança do sistema.

A escolha adequada de uma válvula evita problemas com manutenções e garantem melhoramento de desempenho, divididas em três classes: direcionais, de medição e auxiliares (PHOCAIDES, 2007).

A perda de carga das válvulas e acessórios são definidos pela Equação (6), na qual k_f é a constante de perda de carga para o acessório, V é a velocidade média do escoamento e g a aceleração da gravidade.

$$h_f = k_f \frac{V^2}{2g} \quad (6)$$

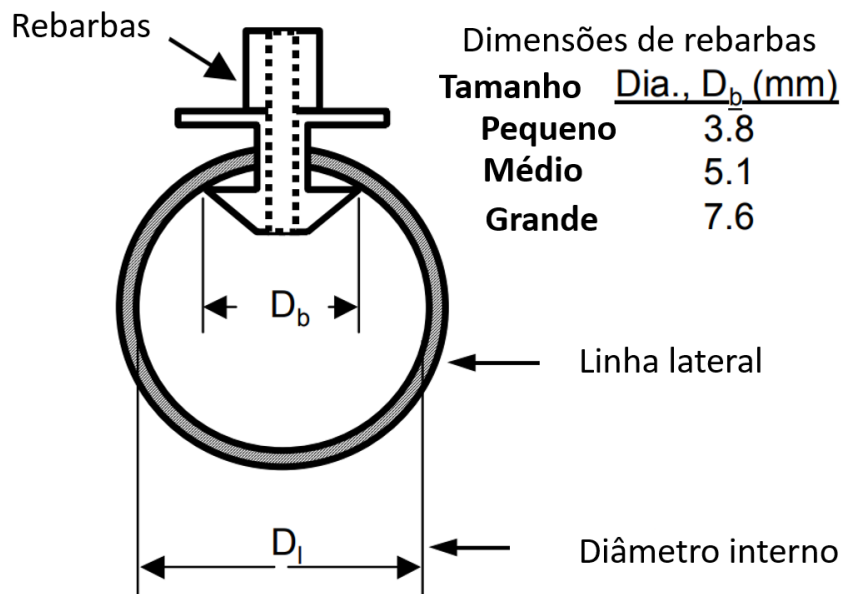
2.6.5 Perdas de Carga nos Emissores

Os emissores são considerados como acessórios, pois vão acoplados nas tubulações (mangueiras), representando perdas de carga localizadas. A Equação (7) apresenta uma relação utilizada por Pitts, para esta perda gerada pelos gotejadores, em específico.

$$L_f = 3,5 D_b D_l^{-1,86} \quad (7)$$

Cujas dimensões D_b e D_l podem ser visualizados na Figura 4 e seus valores obtidos de acordo com o fabricante.

Figura 4 – Determinação do comprimento equivalente com base nos emissores.



Fonte: Lamm, Ayars e Nakayama (2007).

2.7 ASPECTOS DA ÁREA DO CULTIVO E IRRIGAÇÃO

Para um projeto de irrigação aspectos relacionados a área são de suma importância. Partindo do levantamento da topografia do terreno, considerando declives, aclives e peculiaridades da área. Posteriormente, levam-se em consideração os aspectos do cultivo. Como o espaçamento de plantio, número de plantas na área, espaçamento entre carreiras, número de carreiras, número de setores, número de plantas por setor e comprimento de carreiras e seus impactos no projeto de irrigação.

2.7.1 Levantamento da Topografia da Área

Em projetos de irrigação, o levantamento de topologia de áreas é feito com ajuda de dispositivos de sistema de posicionamento global (GPS) que medem as diferenças de altura entre pontos relevantes levantados no procedimento de medição. Estes pontos são compilados e geram uma base de dados que é tratada numericamente até chegar em porcentagens de aclive e declive de subáreas da área em questão.

2.7.2 Levantamento das Distâncias da Área

As distâncias relevantes para a realização do projeto podem ser obtidas através da planta do terreno e do uso de uma proporção linear entre a escala da planta e a medida real, conforme a Equação (8). Como existem inúmeros tamanhos de folha de papel, o uso da escala da planta não é confiável.

$$D = eL_{cm} \quad (8)$$

Onde L_{cm} é a medida em centímetros da distância da planta a ser convertida para o valor real da distância (D), e e é o fator de proporção entre as medidas da planta e a real, em m/cm, expresso pela Equação (9). Na qual D_r é o valor de uma distância real conhecida em metros, e L_r é a medida desta mesma distância na planta (em centímetros).

$$e = D_r/L_r \quad (9)$$

2.7.3 Cálculo do Número de Plantas por Área

O número de plantas por área é obtido através da Equação (10), onde N_p é o número de plantas da área, A é a área objetivo do projeto em hectares, e A_{un} é a área ocupada por planta de acordo com o espaçamento que foi plantado, em metros quadrados.

$$N_p = \frac{A10000}{A_{un}} \quad (10)$$

2.7.4 Divisão das Áreas em Setores

Quando a área a ser irrigada é muito grande, são criados setores a fim de chegar numa relação de custo e benefício entre o comprimento das linhas terciárias e a altura de bombeamento disponível para a bomba, visto que as maiores perdas de carga estão concentradas nelas, esta ideia é reforçada na Figura 3.

2.7.5 Determinação do Número de Carreiras e Linhas Terciárias para Irrigação por Gotejamento

O espaçamento lateral é determinado de acordo com o espaçamento do plantio, que é determinado de acordo com a expectativa de desenvolvimento do cultivo e aspectos do solo. Em pomares, podem ser utilizados de uma a duas linhas laterais, quando se usa duas, garante-se uma maior parte do solo molhada, desde que os emissores não fiquem distantes um do outro em no máximo 1 m.

Além disto, dependendo do cultivo, o uso de duas linhas evita que o tronco seja molhado, diminuindo a chance de desenvolvimento de doenças relacionadas a este aspecto na planta (LAMM; AYARS; NAKAYAMA, 2007), porém, o uso acarreta em mais gastos com material.

O número de carreiras é definido a partir do espaçamento entre as carreiras e o comprimento da linha secundária, pela Equação (11). Onde N_c é o número de carreiras, L_s é o comprimento real da linha secundária de irrigação e E_c é o espaçamento entre as carreiras. Já o número de linhas terciárias N_t é definido pela Equação (12).

$$N_c = \frac{L_s}{E_c} \quad (11)$$

$$N_t = 2N_c \quad (12)$$

Este cálculo para o número de linhas terciárias é devido a maior fonte de perdas de carga ser o comprimento, ao se posicionar as linhas secundárias num ponto no comprimento médio das carreiras, esta influência é diminuída pela metade, mas inversamente proporcional ao número de linhas terciárias, que dobra (LAMM; AYARS; NAKAYAMA, 2007).

2.7.6 Determinação do Comprimento das Linhas Terciárias para Irrigação por Gotejamento

A linha terciária deve ter seu comprimento dimensionado buscando a maior uniformidade de aplicação possível; fatores relevantes para o projeto são a vazão do emissor, a relação entre vazão e pressão do emissor, a topografia do terreno, o layout do plantio, a pressão de operação do sistema e o espaçamento lateral dos emissores, que refletem diretamente na perda de carga do sistema (LAMM; AYARS; NAKAYAMA, 2007).

O comprimento das linhas terciárias N_{lt} é obtido através da Equação (13). Onde N_s é o número de setores definidos para o projeto e L_t é o comprimento total da área onde são feitas as carreiras.

$$L_{lt} = \frac{L_t}{2N_s} \quad (13)$$

2.7.7 Determinação do Número de Gotejadores Total e por Linha

Fatores determinantes para definição do espaçamento entre os emissores são o tempo diário aceitável de operação e as características do solo juntamente com o volume de solo que necessita ser molhado.

O espaçamento deve ser dimensionado a fim de que a água fornecida a planta seja o suficiente para suprir suas necessidades durante o tempo em que a planta não for irrigada.

Uma das formas de garantir maior uniformidade de molha é espaçando os emissores de forma que os limites de solo molhado por cada emissor se encontrem mas não se sobreponham para não desperdiçar água e nem molhar demais (LAMM;

AYARS; NAKAYAMA, 2007), que ocasiona percolação profunda e demais problemas de infertilidade no solo.

O número de gotejadores por setor é definido pela Equação (14) e o número de gotejadores por linha é definido pela Equação (15).

$$N_{tg} = \frac{N_p}{N_s} N_{gpl} \quad (14)$$

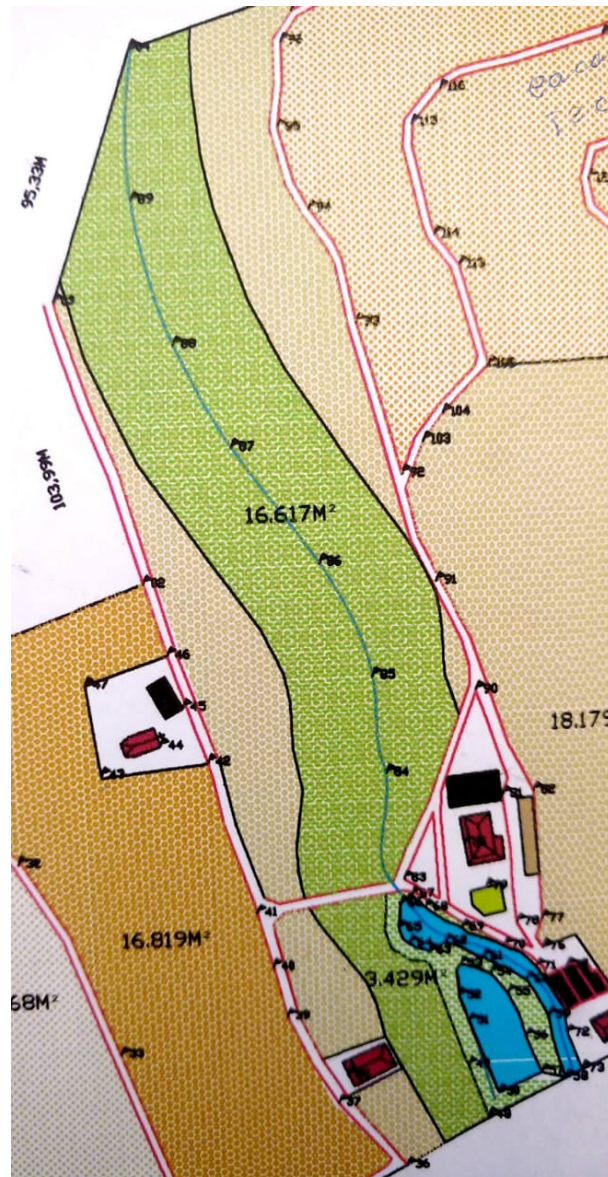
$$L_{lt} = \frac{N_{tg}}{N_{lt}} \quad (15)$$

Onde N_{tg} é o número total de gotejadores por setor; N_p é o número total de plantas da área, definido pelo fabricante; N_{gpl} é o número de gotejadores por planta; N_s é o número de setores; e N_{lt} é o número de linhas terciárias.

3 METODOLOGIA

O presente trabalho destina-se a uma área de 16617 m² para o cultivo de cacau no Sítio Duas Irmãs, localizado no Córrego João Pretinho, S/N, Distrito de Ângelo Frechiani, Colatina, estado do Espírito Santo, Brasil, conforme mostrado na Figura 5.

Figura 5 – Área de cultivo de cacau para realização do projeto.



Fonte: Autoria própria.

O projeto parte do levantamento da topografia do terreno, considerando declives, aclives e peculiaridades da área. Posteriormente, levam-se em consideração os aspectos do cultivo.

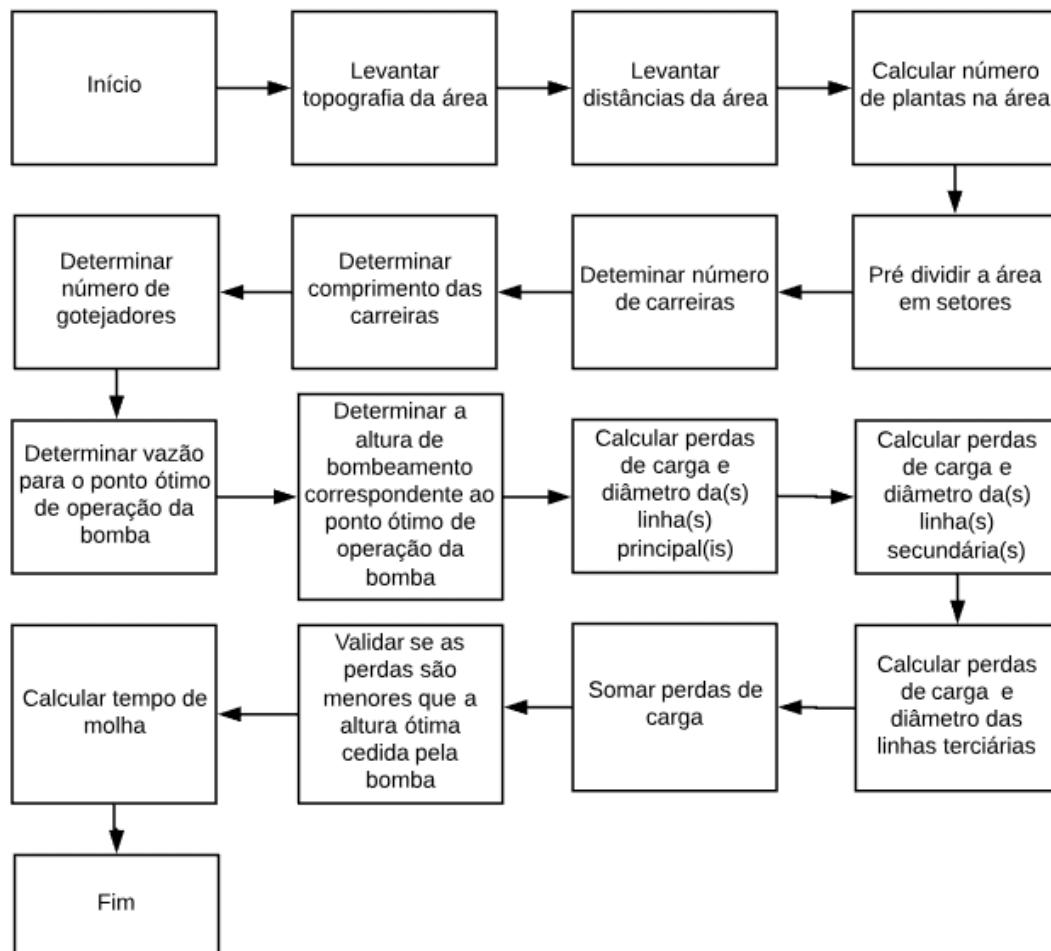
Como o espaçamento de plantio, número de plantas na área, espaçamento entre carreiras, número de carreiras, número de setores, número de plantas por setor, número de emissores por carreira, e comprimento de carreiras.

Após isto, são coletados os parâmetros da motobomba para determinação da vazão no auge da eficiência, e posteriormente a altura de bombeamento correspondente ao seu ponto ótimo de operação.

Com estes dados, inicia-se o dimensionamento do sistema. Para tal, o projeto foi dividido pelas perdas de carga (causadas pelo atrito da tubulação e pelos acessórios) de cada classe de tubulação, ou seja, perdas de carga na(s): linha principal, linha(s) secundária(s), e linhas terciárias (mangueiras).

Os valores das perdas de carga são somadas e, devem ser maiores que a altura de bombeamento no ponto ótimo disponibilizado pela bomba para validar os cálculos. As etapas do dimensionamento podem ser melhor visualizadas na Figura 6.

Figura 6 – Fluxograma do projeto de dimensionamento.



Fonte: Autoria própria.

Após o levantamento da topografia, calculam-se as distâncias relevantes para o projeto medindo-as na planta do Anexo D, substituindo o valor mensurado na Equação (8), após calcular o fator de proporção entre as medidas da planta e a real através da Equação (9).

Parte-se então para determinação dos aspectos da área do cultivo relacionados ao projeto de irrigação. O número de plantas é estipulado pela Equação (10), que permite o levantamento da hipótese de dividir a área em setores, com um mesmo número de plantas.

O número de carreiras por setor é definido de acordo com a Equação (12), obtendo o número de carreiras N_c com a Equação (11), e, posteriormente, o comprimento das linhas terciárias pela Equação (13) e o número de gotejadores por mangueira pelas Equações (14) e (15).

Com o valor da vazão no ponto de maior eficiência da bomba em mãos, e da sua altura correspondente, obtidos nos gráficos do Anexo C. Inicia-se o cálculo das perdas de carga, partindo das linhas principais, através da equação de Hazen-Williams, Equação (2), para perdas de atrito, e a Equação (6) para perdas de carga geradas por acessórios, retirando os valores de k_f dos acessórios selecionados da Figura 18 no Anexo F.

O diâmetro da linha principal é obtido pelas tabelas do Anexo E, procurando a vazão da bomba e o ponto onde a velocidade do escoamento é igual ou menor que 1,5 m/s, verificando o diâmetro que satisfaça esta condição. A definição dos diâmetros das linhas secundárias e terciárias (mangueiras) segue a mesma lógica.

As perdas de carga por atrito nas linhas secundárias são calculadas pela Equação (6), obtendo o fator de múltiplas saídas F na Tabela 1. As perdas de carga nos acessórios usam a mesma lógica das perdas nas linhas principais.

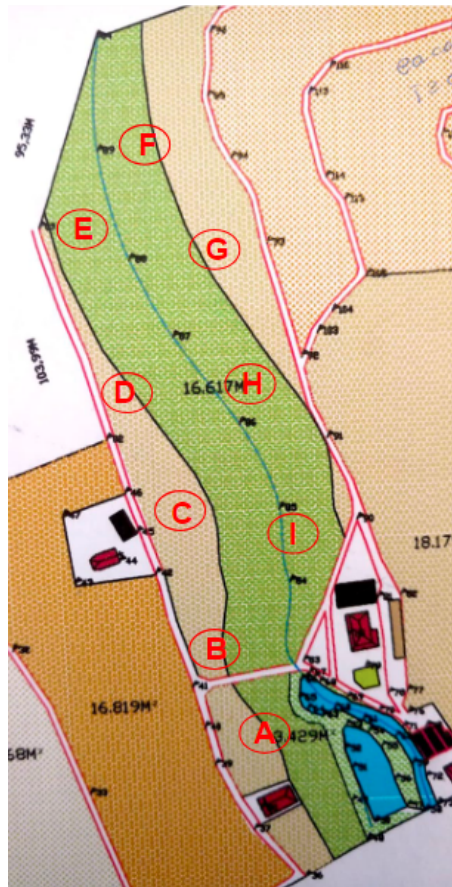
Nas linhas terciárias, o cálculo das perdas de carga inicia-se com o levantamento das perdas nos acessórios (emissores) pela Equação (7), que é somado com o comprimento real da carreira na Equação (5), substituindo o valor encontrado na Equação (4), obtendo a perda de carga total nas carreiras.

As perdas de carga para cada hipótese de setor são somadas, mostrando qual número de setores fornece perda de carga o suficiente para a bomba operar na sua máxima eficiência de bombeamento.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com auxílio de um aparelho de sistema de posicionamento global (GPS), foram realizadas as medições das alturas na área. Os pontos de medida são os da Figura 7. E os resultados obtidos estão na Tabela 2.

Figura 7 – Área de cultivo de cacau para realização do projeto.



Fonte: Autoria própria.

Tabela 2 – Alturas mensuradas no GPS.

Ponto na área de cultivo	Medida da altura [m]
A	117,34
B	118,02
C	117,11
D	117,83
E	118,12
F	117,76
G	117,30
H	117,27
I	117,12

Fonte: Autoria própria.

O ponto A é onde a bomba está localizada, tendo sua altura definida como o referencial zero do projeto. É assumida a maior diferença de altura em relação à bomba para cálculo da altura disponível, neste caso, o valor é de 0,78 m.

As medidas mais relevantes para o projeto estão destacadas na Figura 8. O valor do fator de conversão $e = 35,2$ m/cm foi calculado medindo uma distância conhecida com valor de 10,8 cm e o valor real da medida de 380,2 m, substituindo estes valores na Equação (9).

Figura 8 – Indicação das principais medidas para o projeto.



Fonte: Autoria própria.

Com este valor, pode-se calcular as distâncias reais necessárias com auxílio da Equação (8). Os resultados das medidas reais para cada medida pode ser visualizado na Tabela 3.

Tabela 3 – Conversão de distâncias da planta necessárias para o projeto convertidas para distâncias reais.

Ponto	Distância medida [cm]	Distância real [m]
A	1,4	45,5
B	3,6	117
C	2,6	84,5
D	5,4	175,5

Fonte: Autoria própria.

O cacauzeiro é cultivado num espaçamento de 3 entre carreiras e 3 m entre uma planta e outra, ou seja, cada planta ocupa uma área de 9 m². Este valor é utilizado para calcular o número de plantas na área pela Equação (10). Assim sendo, admitindo que a área possui 1,6617 hectares, têm-se $N_p = 1846,33 \cong 1856$.

Estima-se que a área de cultivo pode ser dividida em até seis setores, onde assumindo a mesma quantidade de plantas para cada setor, chega-se aos resultados apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Número de plantas por setor de acordo com número de setores criados.

Número de setores	1	2	3	4	5	6
Número de plantas por setor	1856	928	618	464	371	309

Fonte: Autoria própria.

Com as distâncias em mãos, pode-se calcular o número de carreiras através da Equação (11), o número de linhas laterais com a Equação (12) e o comprimento médio das linhas terciárias pela Equação (13), considerando que o comprimento real da linha secundária L_s seja igual à medida C e L_t como sendo a soma das medidas B e D da Tabela 3, e o espaçamento entre as plantas como sendo de 3 m, chega-se aos resultados apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Número de carreiras, linhas terciárias e comprimento das linhas terciárias.

Número de setores	1	2	3	4	5	6
Número de carreiras	28	28	28	28	28	28
Número de linhas terciárias	56	56	56	56	56	56
Comprimento das linhas terciárias [m]	146,25	73,125	48,75	36,5625	29,25	24,375

Fonte: Autoria própria.

Partindo para o número de gotejadores, utiliza-se a Equação (14) para determinar o número total comportado pela área de cultivo, e o número de gotejadores por linha. Assumindo que são utilizados os gotejadores autocompensantes modelo PCDS da Irritec, com vazão nominal de 7,8 L/h (IRRITEC, 2009) e que os mesmos são espaçados em 1,5 m entre si. Os valores encontrados para cada hipótese de número de setores podem ser vistos na Tabela 6.

Tabela 6 – Número de linhas laterais, linhas terciárias e comprimento médio de linhas terciárias de acordo com o número de setores.

Número de setores	1	2	3	4	5	6
Número de gotejadores por setor	3712	1856	1237	928	742	618
Número de gotejadores por linha terciária	146	73	48	36	29	24

Fonte: Aatoria própria.

Com todos os parâmetros da área finalmente definidos, após reuni-los, têm-se seus valores na Tabela 7:

Tabela 7 – Parâmetros da área e irrigação do cultivo.

Número de setores	1	2	3	4	5	6
Número de plantas por setor	1856	928	618	464	371	309
Número de carreiras	28	28	28	28	28	28
Número de linhas terciárias	56	56	56	56	56	56
Comprimento das linhas terciárias [m]	146,25	73,125	48,75	36,5625	29,25	24,375
Número de gotejadores por setor	3712	1856	1237	928	742	618
Número de gotejadores por linha terciária	146	73	48	36	29	24

Fonte: Aatoria própria.

A bomba centrífuga considerada no presente trabalho é uma Schneider modelo ME-AL/BR23100V, com potência de 10 cavalo-vapor (cv), de 3 estágios, trifásica, com diâmetro de sucção de 1 1/2 polegadas, diâmetro de recalque de 1 1/2 polegadas, pressão máxima sem vazão de 105 metros de coluna d'água (m.c.a.), altura máxima de sucção de 8 m.c.a., com dois rotores de 146 mm de diâmetro e um de 135 mm de diâmetro, conforme a Figura 9 no Anexo A e a Figura 10 no Anexo B. A vazão máxima da bomba é de 24,3 m³/h e a mínima é 8,7 m³/h, variando de acordo com a altura manométrica total do sistema.

Analisando as curvas de desempenho da bomba, conclui-se que a vazão correspondente para o máximo rendimento é de 17 m³/h, que, ao se procurar a altura de bombeamento correspondente, chega-se ao valor de 80 m.c.a., com uma eficiência de bombeamento de aproximadamente 55%, conforme a Figura 11 no Anexo C.

O diâmetro da tubulação é obtido com auxílio das tabelas do Anexo E, convertendo a vazão de metros cúbicos por hora para litros por segundo, encontra-se o valor de 4,722 L/s. Para chegar no valor exato, é feito uso de interpolação linear, obtendo as velocidades em relação aos diâmetros disponíveis na Tabela 8.

Tabela 8 – Valores de diâmetros e velocidades de escoamento para vazão de 4,722 L/S.

Diâmetros (polegadas)	1	2	3	4
Velocidade de escoamento [m/s]	-	1,92	0,89	0,54

Fonte: Aatoria própria.

Para garantir a integridade do sistema, utilizam-se diâmetros que permitam a velocidade de escoamento ser inferior à 1,5 m/s (ASAE, 2000), e portanto, eliminando a possibilidade de uso de um diâmetro de duas polegadas. O diâmetro da tubulação é diretamente proporcional ao custo do material, portanto, o diâmetro que atende a restrição de velocidade com menor custo de aquisição é o de 3 polegadas. Também deve ser notado que a velocidade de escoamento está intimamente ligada a perda de carga gerada pelo atrito, de forma quadrática.

Com isto, calcula-se as perdas de carga, iniciando nas linhas principais a partir dos acessórios. Cada hipótese de número de setor apresenta um número diferente de acessórios, que influenciam na perda de carga. A perda de carga na linha principal é diretamente proporcional ao número de setores, conforme pode ser visto nas Tabelas 9, 10 e 11, assumindo a velocidade do escoamento igual à 0,89 m/s. Os valores de k_f foram obtidos da Figura 18 do Anexo F, e a perda de carga do filtro foi estipulada considerando o uso de um filtro de areia compatível com a vazão do sistema, gerando 7 m de perda de carga (NETAFIM, 2013).

Tabela 9 – Perdas de carga localizadas para a linha principal utilizando hipóteses de 1 e 2 setores.

Número de setores Acessório	k_f	1		2	
		Qtd.	Perda de carga [m.c.a.]	Qtd.	Perda de carga [m.c.a.]
Registro de globo aberto	6	0	0	1	0,24
Curva 90°	0,3	2	0,02	1	0,01
T com fluxo aberto	0,9	0	0	1	0,04
T com fluxo fechado	1,2	0	0	1	0,05
Válvula de fluxo	2,1	1	0,08	1	0,08
Válvula de gaveta	0,14	1	0,006	1	0,007
Filtro	-	1	7	1	7
		Total [m.c.a.]	7,11	Total [m.c.a.]	7,43

Fonte: Autoria própria.

Observa-se que a perda de carga aumenta de proporcionalmente ao número de acessórios utilizados para cada hipótese de setores devido seu incremento na turbulência do escoamento da água na tubulação.

O comprimento da linha principal varia para cada hipótese de número de setores. Onde assume-se que C é igual à 150 para o PVC, têm-se os valores da Tabela 12, juntamente com a sua perda de carga equivalente.

A perda de carga por atrito aumenta de acordo com o número de setores devido incremento do comprimento da linha principal, intensificando a interferência da área sujeita a atrito na tubulação.

Tabela 10 – Perdas de carga localizadas para a linha principal utilizando hipóteses de 3 e 4 setores.

Número de setores	k_f	3		4	
		Acessório	Qtd.	Perda de carga [m.c.a.]	Qtd.
Registro de globo aberto	6	2	0,48	3	0,73
Curva 90°	0,3	1	0,01	1	0,01
T com fluxo aberto	0,9	1	0,04	1	0,04
T com fluxo fechado	1,2	2	0,10	3	0,14
Válvula de fluxo	2,1	1	0,08	1	0,08
Válvula de gaveta	0,14	1	0,005	1	0,006
Filtro	-	1	7	1	7
		Total [m.c.a.]	7,72	Total [m.c.a.]	8,01

Fonte: Autoria própria.

Tabela 11 – Perdas de carga localizadas para a linha principal utilizando hipóteses de 5 e 6 setores.

Número de setores	k_f	5		6	
		Acessório	Qtd.	Perda de carga [m.c.a.]	Qtd.
Registro de globo aberto	6	4	0,97	5	1,21
Curva 90°	0,3	1	0,01	1	0,01
T com fluxo aberto	0,9	1	0,04	1	0,04
T com fluxo fechado	1,2	4	0,19	5	0,24
Válvula de fluxo	2,1	1	0,08	1	0,08
Válvula de gaveta	0,14	1	0,006	1	0,006
Filtro	-	1	7	1	7
		Total [m.c.a.]	8,30	Total [m.c.a.]	8,59

Fonte: Autoria própria.

Tabela 12 – Comprimento da linha principal para cada hipótese de número de setores.

Número de setores	1	2	3	4	5	6
Comprimento das linhas principais [m]	157,37	236,06	262,29	275,40	283,27	288,52
Perda de carga causada por atrito [m]	2,16	3,23	3,59	3,77	3,88	3,95

Fonte: Autoria própria.

Assim sendo, as perdas de carga totais nas linhas principais para cada hipótese de setor são apresentadas na Tabela 13.

Tabela 13 – Perda de carga para a linha principal.

Número de setores	1	2	3	4	5	6
Perda de carga total [m]	9,27	10,66	11,31	11,78	12,18	12,55

Fonte: Autoria própria.

O diâmetro das linhas secundárias é o mesmo que o das linhas principais devido a vazão ser constante. Prossegui-se para os resultados das perdas de carga, visualizados na Tabela 14. Foi considerado F igual à 0,36 pois este é o fator para mais de 35 saídas (LAMM; AYARS; NAKAYAMA, 2007).

Observa-se na Tabela 14 que os valores de perda de carga são iguais, mesmo variando o número de setores, visto que a quantidade de saídas e o comprimento das

Tabela 14 – Perda de carga para a linha secundária.

Número de setores	1	2	3	4	5	6
Perda de carga [m]	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48

Fonte: Autoria própria.

linhas secundárias sempre permanece constante. Então, calcula-se a perda de carga nas linhas terciárias.

Inicialmente parte-se para a determinação do diâmetro das linhas terciárias. Para isto, é necessário saber a vazão por linha. Que é calculada dividindo a vazão total pelo número de linhas terciárias, que é constante para todas as hipóteses de setores, chegando ao valor de aproximadamente 5,06 L/min por linha terciária, que quando interpolado nas tabelas do Anexo E, obtêm-se um diâmetro de 15,8 mm.

Prosseguindo com o cálculo, e considerando o aspersor gotejador autocompensante modelo PCDS da Irritec com vazão nominal de 7,8 L/h, com diâmetro de rebarbas de 3,8 mm. calcula-se a perda de carga na saída do emissor como sendo aproximadamente 0,078 m. Os resultados para perda de carga nas linhas terciárias podem ser vistos na Tabela 15.

Tabela 15 – Perda de carga para as linhas terciárias para cada hipótese de setores.

Número de setores	1	2	3	4	5	6
\bar{L}_f	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
L_E	66,29	33,14	22,09	16,57	13,25	11,04
F	0,36	0,36	0,36	0,37	0,37	0,38
J [m/100m]	1,24	4,49	9,51	17,16	25,20	34,34
H_{fl} [m]	0,3	0,54	0,76	1,05	1,23	1,44
Perda de carga total [m]	16,62	29,99	42,36	58,91	69,19	80,64

Fonte: Autoria própria.

A perda de carga nas linhas terciárias aumentou, pois a vazão é diretamente proporcional à velocidade, quando se considera uma mesma área de seção transversal, e também devido à influência da velocidade na perda de carga, proporcionando este aumento.

Somando todas as perdas de carga por hipóteses, obtêm-se os valores apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 – Perda de carga total para cada hipótese de setor.

Número de setores	1	2	3	4	5	6
Perda de carga [m]	26,37	41,13	54,15	71,17	81,85	93,66

Fonte: Autoria própria.

As perdas de carga sofrem um aumento, visto que ao aumentar o número de setores, se diminui a quantidade de plantas por setor, ou seja, a vazão aumenta

proporcionalmente ao número de setores, e por esta ser diretamente proporcional à velocidade, que está relacionada à perda de carga, provoca um aumento na perda de carga, por consequência.

Ao conferir qual é a eficiência de bombeamento aproximada para as perdas de carga obtidas na Tabela 16 nas curvas de rendimento do Anexo C, têm-se os resultados da tabela Tabela 17.

Tabela 17 – Eficiência de bombeamento aproximada para cada hipótese de setor.

Número de setores	1	2	3	4	5	6
Eficiência de bombeamento [%]	-	-	47	51	54	51

Fonte: Aatoria própria.

Para as hipóteses de 1 e 2 setores, não existe um valor de eficiência definido. Pois, não se encontra um valor de vazão correspondente à perda de carga, na curva da altura de carga. Portanto, descarta-se o uso destas duas hipóteses de número de setores, devido não atingirem a pressão mínima de operação da bomba.

Para as hipóteses de 3 e 4 setores, encontram-se valores de eficiências plausíveis para o uso da bomba, porém, os valores de eficiência ainda não correspondem ao máximo valor, como ocorre na hipótese de 6 setores.

Considerando 5 setores, a eficiência chega próximo ao valor máximo obtido da análise das curvas realizada anteriormente. Sendo assim, este é melhor número de setores quando se pretende dimensionar o sistema com a melhor eficiência de bombeamento.

Esta hipótese de dimensionamento é plausível, pois a pressão de trabalho para as tubulações das linhas principais e secundárias, considerando um diâmetro de 3 polegadas, é menor que o valor máximo de pressão de serviço (100 m.c.a.). O mesmo ocorre com as linhas secundárias e terciárias, com pressão máxima de serviço de 75 m.c.a. (TIGRE, 2013).

Deste modo, o dimensionamento do sistema considerando no presente trabalho tem em sua melhor hipótese para operação definida conforme valores apresentados na Tabela 18.

Tabela 18 – Dimensionamento dos principais parâmetros/itens para o projeto de irrigação.

Parâmetro	Valor e medida
Diâmetro da linha principal	3 polegadas
Comprimento da linha principal	283,27 metros
Número de filtros de areia	1 peça
Número de Tê's	5 peças
Número de curvas 90°	2 peças
Número de válvulas de fluxo	1 peça
Número de válvulas de gaveta	1 peça
Diâmetro da linha secundária	3 polegadas
Comprimento da linha secundária	84,5 metros
Diâmetro das linhas terciárias	15,8 milímetros
Número de linhas terciárias	56 linhas
Espaçamento entre gotejadores	1 metro
Espaçamento entre linhas terciárias	3 metros
Comprimento médio das linhas terciárias	29,25 metros
Número de gotejadores por linha terciária	29 peças

Fonte: Autoria própria.

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A bomba já existente conseguirá suprir às necessidades hídricas do cultivo na área, em seu regime de trabalho com maior eficiência de bombeamento, de forma homogênea. Ocasionado pelo fato da perda de carga do projeto ser menor que a altura disponível de bombeamento do equipamento, e pelo uso de gotejadores autocompensantes, racionalizando o uso da água e garantindo o abastecimento de cacau.

O sistema opera no regime de melhor eficiência de bombeamento quando considerado a hipótese de 5 setores, segundo os valores de dimensionamento definidos na Tabela 18.

Para trabalhos futuros, seria relevante comparar a metodologia realizada com a metodologia padrão para dimensionamento de sistemas de irrigação, levantando os custos de cada tipo de projeto para comparar qual é mais viável economicamente, avaliando diferentes áreas, e relacionando com parâmetros da bomba.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, H. A.; NOVA, N. A. Villa; KLAR, A. E. Estimativa da demanda hídrica do cacauzeiro (*Theobroma cacao* L.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, p. 402–406, 2000. Citado na página 15.

ALVIM, P. de T. Hydroperiodicity in the cocoa tree. In: **Anais da Conferencia Internacional de Investigación em Cacao — Cocoa Producers Alliance**. [S.l.: s.n.], 1977. p. 204–209. Idaban, Nigéria. Citado na página 14.

_____. Relações entre fatores climáticos e produção do cacauzeiro. In: **Anais da Conferencia Internacional de Investigación em Cacao — Cocoa Producers Alliance**. Santo Domingo, Paraguai: [s.n.], 1988. p. 159–167. Citado na página 14.

ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2013 : relatório pleno**. Brasília, 2013. Agência Nacional de Águas (ANA). Citado na página 11.

_____. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017 : relatório pleno**. Brasília, 2017. Agência Nacional de Águas (ANA). Citado na página 11.

ASAE. **S 376.2: Design, Installation and Performance of Underground Thermoplastic Irrigation Pipelines**. [S.l.], 2000. American Society of Agricultural Engineers (ASAE). Citado na página 36.

AUGUSTO, S. G. **Irrigação complementar nos diferentes estágios fenológicos do cacauzeiro (*Theobroma cacao* L.)**. 1997. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997. Citado na página 14.

BATISTA, Rafael Oliveira. **Desempenho de sistema de irrigação por gotejamento utilizado na aplicação de água residuária de suinocultura**. 2007. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007. Citado na página 16.

BERNARDO, S. **Manual de Irrigação**. 6. ed. Viçosa: Editora UFV, 2002. Citado na página 11.

BOSWELL, M. J. **Micro-Irrigation Design Manual**. [S.l.]: Hardie Irrigation, 1984. 288 p. Citado na página 23.

ESTEVEES, Bárbara dos Santos et al. **Irrigação por gotejamento**. Niterói, 2012. Secretaria de Estado de Agricultura e Pecuária. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 16.

FAO. Global agriculture towards 2050. In: FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). **How to feed the world 2050 high-level expert forum**. Rome, Italy, 2009. Citado na página 11.

_____. **FAO - Agricultural water withdraws as % of total water withdrawal**. 2010. FAO Homepage. Food and Agriculture Organization (FAO). Disponível em: <<https://goo.gl/2gmHn3>>. Citado na página 11.

HERAS, Salvados de las. **Fluidos, bombas e instalaciones hidráulicas**. Barcelona, Espanha, 2011. 415 p. Universitat Politècnica de Catalunya. Citado na página 19.

HYDRAULIC INSTITUTE. **Engineering Data Book**. 1. ed. Cleveland, Ohio, USA: Hydraulic Institute, 1978. Citado na página 55.

ICCO. **Quarterly Bulletin of Cocoa Statistics**. [S.l.], 2016. International Cocoa Organization (ICCO). Citado na página 12.

IRRITEC. **iDrop**. Capo d'Orlando, Itália, 2009. Irritec s.r.l. Disponível em: <http://new.irritec.com/it-IT/wp-content/uploads/sites/2/2013/09/Catalogo_iDrop.pdf>. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 34.

LAMM, Freddie R.; AYARS, James E.; NAKAYAMA, Francis S. **Microirrigation for Crop Production**. Elsevier, 2007. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167413707800035>>. Citado 18 vezes nas páginas 15, 16, 17, 18, 20, 21, 22, 23, 24, 26, 27, 28, 37, 50, 51, 52, 53 e 54.

MACINTYRE, Archibald Joseph. **Bombas e Instalações de Bombeamento**. Rio de Janeiro: LTC, 1997. 782 p. Citado na página 18.

_____. **Equipamentos Industriais e de Processo**. Rio de Janeiro: LTC, 1997. 277 p. Citado 2 vezes nas páginas 19 e 20.

MENON, E. Shashi; MENON, Pramila S. **Working Guide to Pumps and Pumping Stations**. Burlington, USA: Elsevier, 2010. Citado 2 vezes nas páginas 18 e 19.

MOUROUELLI, Waldir A.; SILVA, Washington L. C. **Seleção de sistemas de irrigação para hortaliças**. Brasília, 1998. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). Citado 2 vezes nas páginas 15 e 16.

NETAFIM. **Manual do usuário**. Ribeirão Preto, 2013. Netafim Brasil Sist. e Equip. de Irrigação Ltda. Disponível em: <http://www.terramolhada.com/file/2014/12/netafim-sistema_filtragem_areia.pdf>. Citado na página 36.

PHOCAIDES, A. Handbook. **Handbook on Pressurized Irrigation Techniques**. 2. ed. Roma, Itália: Food & Agriculture Org., 2007. Citado 4 vezes nas páginas 16, 18, 23 e 24.

SCHNEIDER MOTOBOMBAS. **Curvas ME-2**. Joinville, 2012. Citado na página 48.

_____. **Manual da Schneider de Motobombas**. Joinville, 2012. Citado na página 47.

_____. **Tabela para seleção de bombas e motobombas**. Joinville, 2017. Citado na página 46.

SILVA, César Antônio da; SILVA, Cícero José da. Avaliação de uniformidade em sistemas de irrigação localizada. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, 2005. Citado na página 15.

SIQUEIRA, R. R.; MULLER, M. W.; PINHO, A. F. S. Efeito da irrigação na produtividade do cacauzeiro (*Theobroma cacao* L.). In: **Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**. Jundiaí: [s.n.], 1987. Citado na página 14.

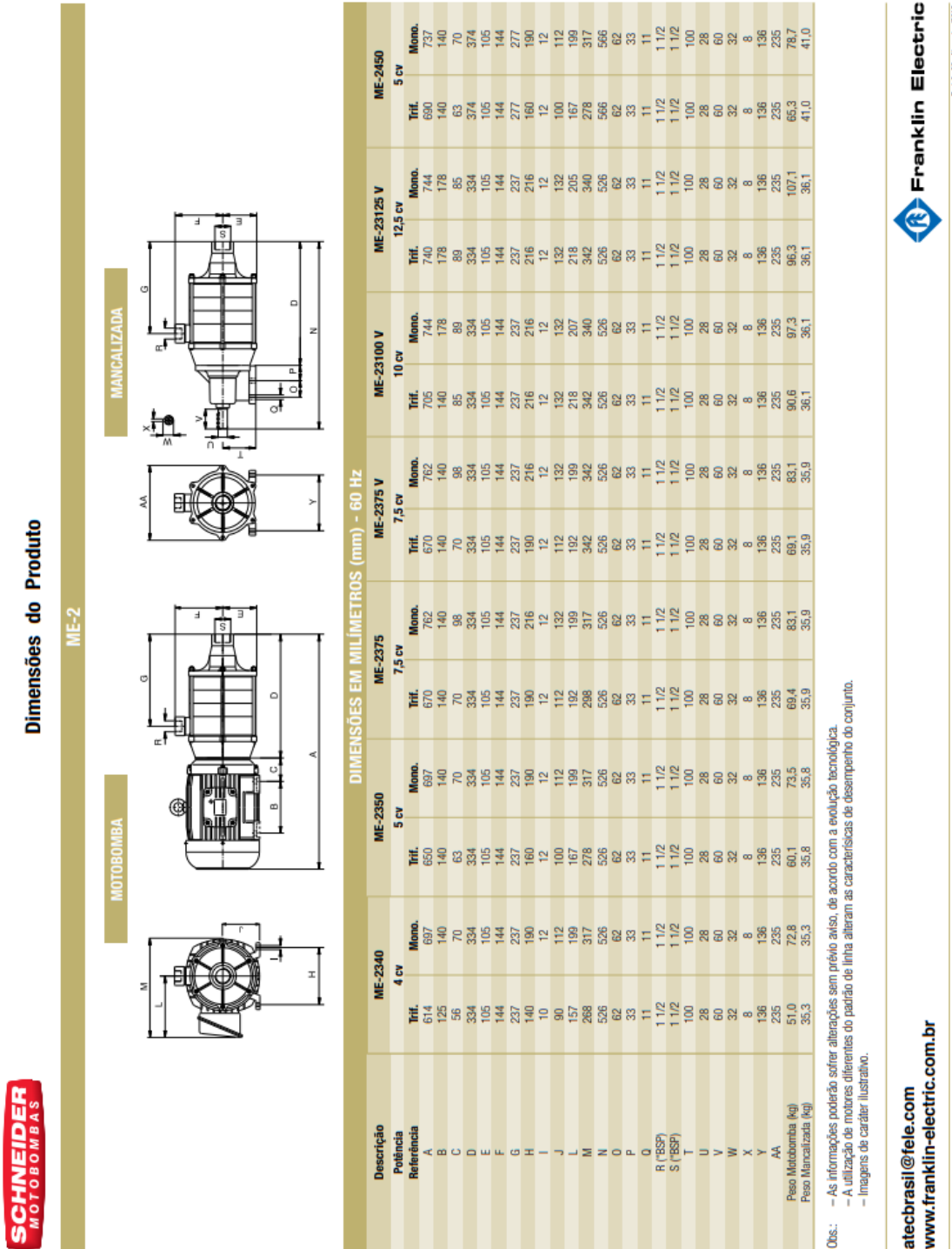
SODRÉ, George Andrade (Ed.). **Cultivo do cacauzeiro no estado da Bahia**. Bahia, 2017. 128 p. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 15.

TIGRE. **Ficha Técnica - Linha Soldável**. Joinville, 2013. Tigre S.A. Disponível em: <https://www.tigre.com.br/sites/default/files/produtos/catalogos/tubos-conexoes-soldaveis_0.pdf>. Citado na página 39.

ANEXOS

ANEXO B – CATÁLOGO TÉCNICO SCHNEIDER PARA MOTOBOMBAS CENTRÍFUGAS MULTIESTÁGIO DA SÉRIE ME-2

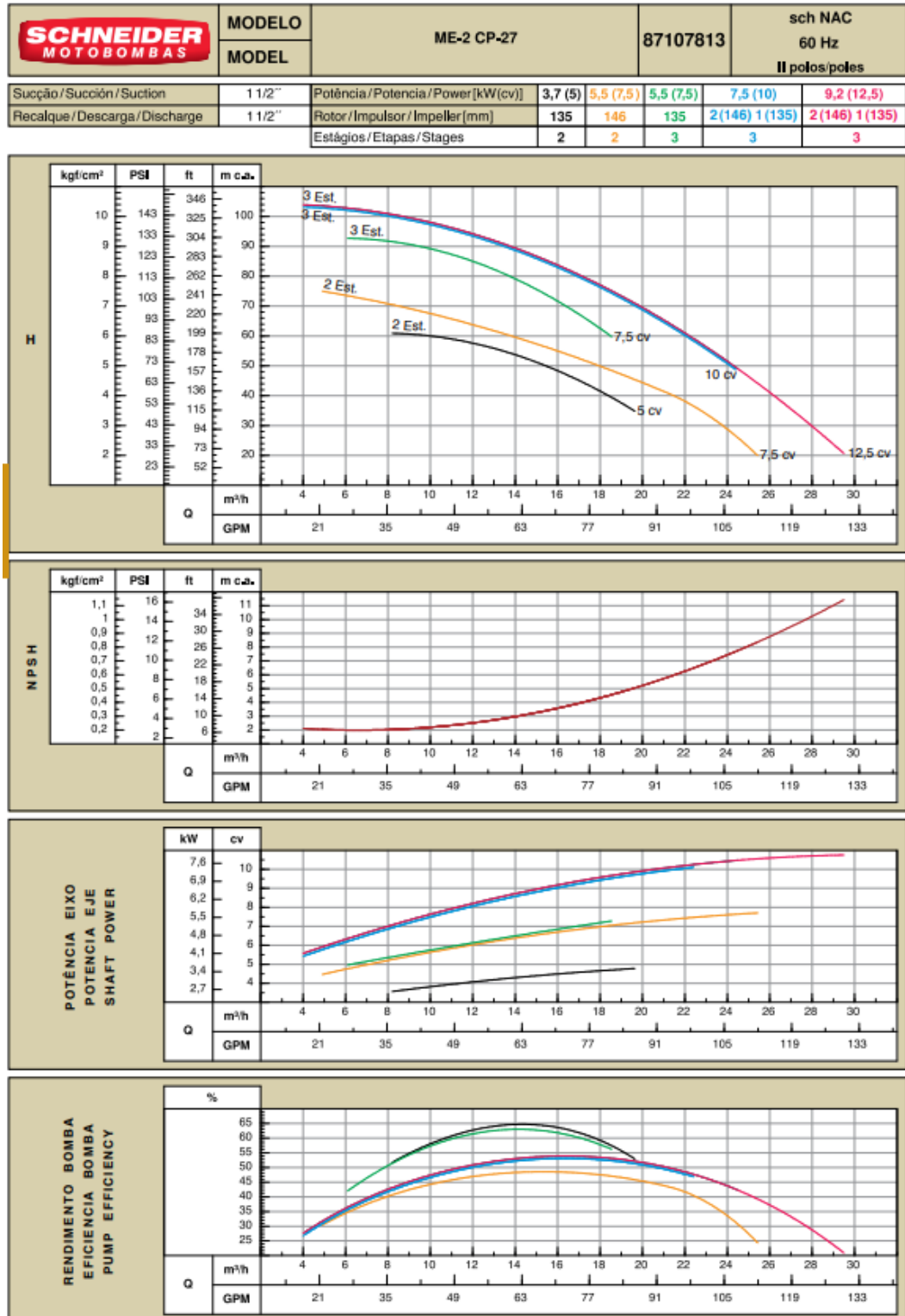
Figura 10 – Manual da Schneider de motobombas com as dimensões da bomba ME-231000 V.



Fonte: Schneider Motobombas (2012b).

ANEXO C – CURVAS DA MOTOBOMBA CENTRÍFUGA MULTIESTÁGIO DA SÉRIE ME-2

Figura 11 – Curvas de altura, NPSH, potência do eixo e rendimento da bomba.



Fonte: Schneider Motobombas (2012a).

ANEXO E – PERDAS DE CARGA PARA PVC E PE EM RELAÇÃO A VELOCIDADE E VAZÃO

Figura 13 – SDR 41 PVC.

PVC Class 100 IPS plastic pipe; SDR = 41				C = 150				
	OD	ID	OD	ID	OD	ID	OD	ID
Diameter (mm)	33.4	31.8	48.3	45.9	60.3	57.4	88.9	84.6
Nom. size (in.)	1	1	1.5	1.5	2	2	3	3
Q	v	J	v	J	v	J	v	J
L/s	m/s	m/100 m	m/s	m/100 m	m/s	m/100 m	m/s	m/100 m
0.10	0.13	0.08	0.06	0.01				
0.20	0.25	0.28	0.12	0.05				
0.30	0.38	0.59	0.18	0.10	0.12	0.03	0.05	0.01
0.40	0.50	1.00	0.24	0.17	0.15	0.06	0.07	0.01
0.50	0.63	1.52	0.30	0.25	0.19	0.09	0.09	0.01
0.60	0.76	2.13	0.36	0.35	0.23	0.12	0.11	0.02
0.70	0.88	2.83	0.42	0.47	0.27	0.16	0.12	0.02
0.80	1.01	3.62	0.48	0.60	0.31	0.20	0.14	0.03
1.00	1.26	5.48	0.60	0.91	0.39	0.31	0.18	0.05
1.20	1.51	7.68	0.73	1.28	0.46	0.43	0.21	0.07
1.40	1.77	10.21	0.85	1.70	0.54	0.57	0.25	0.09
1.60	2.02	13.08	0.97	2.18	0.62	0.73	0.28	0.11
1.80	2.27	16.26	1.09	2.71	0.70	0.91	0.32	0.14
2.00	2.52	19.77	1.21	3.29	0.77	1.11	0.36	0.17
2.50			1.51	4.98	0.97	1.68	0.45	0.25
3.00			1.81	6.98	1.16	2.35	0.53	0.36
3.50			2.11	9.28	1.35	3.13	0.62	0.47
4.00			2.42	11.89	1.55	4.01	0.71	0.61
4.50			2.72	14.79	1.74	4.99	0.80	0.75
5.00					1.93	6.06	0.89	0.92
5.50					2.13	7.23	0.98	1.09
6.00					2.32	8.50	1.07	1.29
8.00							1.42	2.19
10.00							1.78	3.31
12.00							2.14	4.64
14.00							2.49	6.17
16.00							2.85	7.91

Pipe dimensions of Outside Diameter (OD) and Inside Diameter (ID) are shown in mm, Nominal size is in inches, and Velocity is shown in meters per second (m/s).

Head loss gradient (J) is calculated using the Hazen-Williams formula and is expressed as meters of head loss per 100 meters of pipe (m/100 m).

** Velocities over 1.5 m/s are not recommended (shaded areas).

Fonte: Lamm, Ayars e Nakayama (2007).

Figura 14 – SDR 41 PVC.

PVC Class 100 IPS plastic pipe; SDR = 41				C = 150				
	OD	ID	OD	ID	OD	ID	OD	ID
Diameter (mm)	114.3	108.7	168.3	160.1	219.1	208.4	273.1	259.7
Nom. size (in.)	4	4	6	6	8	8	10	10
Q	v	J	v	J	v	J	v	J
L/s	m/s	m/100 m	m/s	m/100 m	m/s	m/100 m	m/s	m/100 m
1.00	0.11	0.01						
1.20	0.13	0.02						
1.40	0.15	0.03						
1.60	0.17	0.03						
1.80	0.19	0.04	0.09	0.01				
2.00	0.22	0.05	0.10	0.01				
2.50	0.27	0.07	0.12	0.01				
3.00	0.32	0.10	0.15	0.02				
3.50	0.38	0.14	0.17	0.02	0.10	0.01		
4.00	0.43	0.18	0.20	0.03	0.12	0.01		
4.50	0.48	0.22	0.22	0.03	0.13	0.01		
5.00	0.54	0.27	0.25	0.04	0.15	0.01		
5.50	0.59	0.32	0.27	0.05	0.16	0.01		
6.00	0.65	0.38	0.30	0.06	0.18	0.02	0.11	0.01
8.00	0.86	0.64	0.40	0.10	0.23	0.03	0.15	0.01
10.00	1.08	0.97	0.50	0.15	0.29	0.04	0.19	0.01
12.00	1.29	1.36	0.60	0.21	0.35	0.06	0.23	0.02
14.00	1.51	1.82	0.70	0.28	0.41	0.08	0.26	0.03
16.00	1.72	2.33	0.80	0.35	0.47	0.10	0.30	0.03
18.00	1.94	2.89	0.89	0.44	0.53	0.12	0.34	0.04
20.00	2.15	3.52	0.99	0.53	0.59	0.15	0.38	0.05
25.00	2.69	5.31	1.24	0.81	0.73	0.22	0.47	0.08
30.00			1.49	1.13	0.88	0.31	0.57	0.11
35.00			1.74	1.51	1.03	0.42	0.66	0.14
40.00			1.99	1.93	1.17	0.53	0.75	0.18
45.00			2.24	2.40	1.32	0.66	0.85	0.23
50.00			2.48	2.92	1.47	0.81	0.94	0.28
60.00			2.98	4.09	1.76	1.13	1.13	0.39
70.00					2.05	1.51	1.32	0.51
80.00					2.35	1.93	1.51	0.66
90.00					2.64	2.40	1.70	0.82
100.00							1.89	1.00
120.00							2.26	1.40
140.00							2.64	1.86

Pipe dimensions of Outside Diameter (OD) and Inside Diameter (ID) are shown in mm, Nominal size is in inches, and Velocity is shown in meters per second (m/s).

Head loss gradient (J) is calculated using the Hazen-Williams formula and is expressed as meters of head loss per 100 meters of pipe (m/100 m).

** Velocities over 1.5 m/s are not recommended (shaded areas).

Fonte: Lamm, Ayars e Nakayama (2007).

Figura 15 – SDR 26 PVC.

PVC Class 160 IPS plastic pipe; SDR = 26				C = 150				
	OD	ID	OD	ID	OD	ID	OD	ID
Diameter (mm)	33.4	30.8	48.3	44.5	60.3	55.7	88.9	82.1
Nom. size (in.)	1	1	1.5	1.5	2	2	3	3
Q	v	J	v	J	v	J	v	J
L/s	m/s	m/100 m	m/s	m/100 m	m/s	m/100 m	m/s	m/100 m
0.10	0.13	0.09	0.06	0.01				
0.20	0.27	0.32	0.13	0.05				
0.30	0.40	0.68	0.19	0.11	0.12	0.04	0.06	0.01
0.40	0.54	1.16	0.26	0.19	0.16	0.07	0.08	0.01
0.50	0.67	1.76	0.32	0.29	0.21	0.10	0.09	0.01
0.60	0.80	2.46	0.38	0.41	0.25	0.14	0.11	0.02
0.70	0.94	3.27	0.45	0.55	0.29	0.18	0.13	0.03
0.80	1.07	4.19	0.51	0.70	0.33	0.24	0.15	0.04
1.00	1.34	6.34	0.64	1.06	0.41	0.36	0.19	0.05
1.20	1.61	8.88	0.77	1.48	0.49	0.50	0.23	0.08
1.40	1.88	11.82	0.90	1.97	0.57	0.66	0.26	0.10
1.60	2.14	15.14	1.03	2.52	0.66	0.85	0.30	0.13
1.80	2.41	18.82	1.15	3.14	0.74	1.06	0.34	0.16
2.00	2.68	22.88	1.28	3.81	0.82	1.29	0.38	0.19
2.50			1.60	5.76	1.03	1.94	0.47	0.29
3.00			1.92	8.08	1.23	2.72	0.57	0.41
3.50			2.25	10.75	1.44	3.62	0.66	0.55
4.00			2.57	13.76	1.64	4.64	0.76	0.70
4.50			2.89	17.11	1.85	5.77	0.85	0.87
5.00					2.05	7.02	0.95	1.06
5.50					2.26	8.37	1.04	1.27
6.00					2.46	9.84	1.13	1.49
8.00							1.51	2.54
10.00							1.89	3.83
12.00							2.27	5.37
14.00							2.65	7.15
16.00							3.03	9.15

Pipe dimensions of Outside Diameter (OD) and Inside Diameter (ID) are shown in mm, Nominal size is in inches, and Velocity is shown in meters per second (m/s).

Head loss gradient (J) is calculated using the Hazen-Williams formula and is expressed as meters of head loss per 100 meters of pipe (m/100 m).

** Velocities over 1.5 m/s are not recommended (shaded areas).

Fonte: Lamm, Ayars e Nakayama (2007).

Figura 16 – SDR 26 PVC.

PVC Class 160 IPS plastic pipe; SDR = 26				C = 150				
	OD	ID	OD	ID	OD	ID	OD	ID
Diameter (mm)	114.3	105.5	168.3	155.3	219.1	202.2	273.1	252.0
Nom. size (in.)	4	4	6	6	8	8	10	10
Q	v	J	v	J	v	J	v	J
L/s	m/s	m/100 m	m/s	m/100 m	m/s	m/100 m	m/s	m/100 m
1.00	0.11	0.02						
1.20	0.14	0.02						
1.40	0.16	0.03						
1.60	0.18	0.04	0.08	0.01				
1.80	0.21	0.05	0.09	0.01				
2.00	0.23	0.06	0.11	0.01				
2.50	0.29	0.09	0.13	0.01				
3.00	0.34	0.12	0.16	0.02				
3.50	0.40	0.16	0.18	0.02	0.11	0.01		
4.00	0.46	0.21	0.21	0.03	0.12	0.01		
4.50	0.51	0.26	0.24	0.04	0.14	0.01		
5.00	0.57	0.31	0.26	0.05	0.16	0.01		
5.50	0.63	0.37	0.29	0.06	0.17	0.02	0.11	0.01
6.00	0.69	0.44	0.32	0.07	0.19	0.02	0.12	0.01
8.00	0.92	0.75	0.42	0.11	0.25	0.03	0.16	0.01
10.00	1.14	1.13	0.53	0.17	0.31	0.05	0.20	0.02
12.00	1.37	1.58	0.63	0.24	0.37	0.07	0.24	0.02
14.00	1.60	2.10	0.74	0.32	0.44	0.09	0.28	0.03
16.00	1.83	2.69	0.84	0.41	0.50	0.11	0.32	0.04
18.00	2.06	3.35	0.95	0.51	0.56	0.14	0.36	0.05
20.00	2.29	4.07	1.06	0.62	0.62	0.17	0.40	0.06
25.00	2.86	6.15	1.32	0.94	0.78	0.26	0.50	0.09
30.00			1.58	1.31	0.93	0.36	0.60	0.12
35.00			1.85	1.74	1.09	0.48	0.70	0.17
40.00			2.11	2.23	1.25	0.62	0.80	0.21
45.00			2.37	2.78	1.40	0.77	0.90	0.26
50.00			2.64	3.38	1.56	0.93	1.00	0.32
60.00			3.17	4.73	1.87	1.31	1.20	0.45
70.00					2.18	1.74	1.40	0.60
80.00					2.49	2.23	1.60	0.76
90.00					2.80	2.77	1.80	0.95
100.00							2.00	1.15
120.00							2.41	1.62
140.00							2.81	2.15

Pipe dimensions of Outside Diameter (OD) and Inside Diameter (ID) are shown in mm, Nominal size is in inches, and Velocity is shown in meters per second (m/s).

Head loss gradient (J) is calculated using the Hazen-Williams formula and is expressed as meters of head loss per 100 meters of pipe (m/100 m).

** Velocities over 1.5 m/s are not recommended (shaded areas).

Fonte: Lamm, Ayars e Nakayama (2007).

Figura 17 – Polietileno (PE).

Polyethylene plastic pipe		C = 150									
Diameter (mm)		ID 15.8		ID 20.9		ID 26.6		ID 35.1		ID 40.9	
Nom. size (in.)		0.5		0.75		1.00		1.25		1.5	
Q	Q	v	J	v	J	v	J	v	J	v	J
L/min	L/s	m/s	m/100m	m/s	m/100m	m/s	m/100m	m/s	m/100m	m/s	m/100m
2	0.03	0.17	0.30	0.10	0.08						
4	0.07	0.34	1.09	0.19	0.28						
6	0.10	0.51	2.31	0.29	0.59	0.18	0.18	0.10	0.05	0.08	0.02
8	0.13	0.68	3.94	0.39	1.00	0.24	0.31	0.14	0.08	0.10	0.04
10	0.17	0.85	5.96	0.48	1.51	0.30	0.47	0.17	0.12	0.13	0.06
12	0.20	1.02	8.35	0.58	2.12	0.36	0.65	0.21	0.17	0.15	0.08
14	0.23	1.19	11.11	0.68	2.82	0.42	0.87	0.24	0.23	0.18	0.11
16	0.27	1.36	14.22	0.78	3.62	0.48	1.12	0.28	0.29	0.20	0.14
18	0.30	1.53	17.69	0.87	4.50	0.54	1.39	0.31	0.36	0.23	0.17
20	0.33	1.70	21.50	0.97	5.47	0.60	1.69	0.34	0.44	0.25	0.21
22	0.37	1.87	25.65	1.07	6.52	0.66	2.01	0.38	0.53	0.28	0.25
24	0.40	2.04	30.14	1.16	7.66	0.72	2.36	0.41	0.62	0.30	0.29
26	0.43	2.21	34.95	1.26	8.89	0.78	2.74	0.45	0.72	0.33	0.34
28	0.47	2.38	40.09	1.36	10.19	0.84	3.15	0.48	0.82	0.36	0.39
30	0.50			1.45	11.58	0.90	3.57	0.52	0.93	0.38	0.44
35	0.58			1.70	15.41	1.05	4.75	0.60	1.24	0.44	0.59
40	0.67			1.94	19.73	1.20	6.09	0.69	1.59	0.51	0.76
45	0.75			2.18	24.54	1.35	7.57	0.78	1.98	0.57	0.94
50	0.83			2.42	29.83	1.49	9.20	0.86	2.40	0.63	1.14
60	1.00					1.79	12.90	1.03	3.37	0.76	1.60
70	1.17					2.09	17.17	1.21	4.48	0.89	2.13
80	1.33					2.39	21.98	1.38	5.74	1.01	2.73
90	1.50							1.55	7.14	1.14	3.39
100	1.67							1.72	8.68	1.27	4.12
125	2.08							2.15	13.12	1.59	6.23
150	2.50									1.90	8.74
175	2.92									2.22	11.62

Pipe Inside Diameter (ID) are shown in mm, Nominal size is in inches, and Velocity is in m/s.

Head loss gradient (J) is calculated using the Hazen-Williams formula and is expressed as meters of head loss per 100 meters of pipe (m/100 m).

** Velocities over 1.5 m/s are not recommended (shaded areas).

Fonte: Lamm, Ayars e Nakayama (2007).

ANEXO F – COEFICIENTES DE PERDA PARA VÁLVULAS E ACESSÓRIOS

Figura 18 – Tabela com valores de k_f para válvulas e acessórios.

Fitting or valve	Screwed fittings (mm)				Flanged fittings (mm)				
	25	50	75	100	100	125	150	200	250
Elbows									
Regular 90	1.50	1.00	0.80	0.70	0.31	0.30	0.29	0.27	0.25
Long radius 90	0.75	0.42	0.30	0.25	0.22	0.20	0.18	0.16	0.14
Regular 45	0.34	0.30	0.29	0.28	0.18	0.18	0.17	0.17	0.16
Tees									
Line flow	0.90	0.90	0.90	0.90	0.15	0.13	0.12	0.10	0.09
Branch flow	1.90	1.40	1.20	1.10	0.70	0.66	0.62	0.58	0.54
Valves									
Globe	8.70	7.00	6.00	5.60	6.30	6.00	5.90	5.80	5.80
Gate	0.25	0.17	0.14	0.12	0.16	0.13	0.11	0.08	0.06
Swing check	3.00	2.30	2.10	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Angle	4.70	2.00	1.40	1.00	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10
Foot	0.80	For all diameters							
Basket strainer		1.50	1.30	1.10	1.10	0.95	0.85	0.75	0.65
Couplings/Unions	0.08	0.05	0.04	0.04					
Sudden reduction	$Dr = \text{ratio of smaller to larger pipe}$				For $0.25 < Dr < 1.0$; $k_f = 0.45 + 0.10 * Dr - 0.54 * Dr^2$				
Sudden enlargement	$Dr = \text{ratio of smaller to larger pipe}$				$k_f = (1 - Dr)^2$; use velocity of smaller pipe				
Inlets/Entrances									
Bell-mouth	0.05	For all diameters							
Square edged	0.50	For all diameters							
Inward projecting	1.00	For all diameters							

Fonte: Hydraulic Institute (1978).