



PROJETO DE GRADUAÇÃO

**SISTEMA DE CAPTAÇÃO E
APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS EM
INDÚSTRIA DE ALIMENTOS**

Por,
Felipe Vitoriano Lucas

Brasília, 23 de novembro de 2016

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

**FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Faculdade de Tecnologia
Departamento de Engenharia Mecânica

PROJETO DE GRADUAÇÃO

**SISTEMA DE CAPTAÇÃO E
APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS EM
INDÚSTRIA DE ALIMENTOS**

POR,

Felipe Vitoriano Lucas

Relatório submetido como requisito parcial para obtenção
do grau de Engenheiro Mecânico.

Banca Examinadora

Prof. Thiago de Carvalho Doca, UnB/ ENM

Prof. Jorge Luiz de Almeida Ferreira, UnB/ ENM

Prof. Rafael Gabler Gontijo, UnB/ ENM

Brasília, 23 de novembro de 2016

RESUMO

O presente trabalho apresenta um projeto completo de sistema de captação e aproveitamento de águas pluviais, com ênfase no moinho de trigo da Bunge Alimentos S.A. em Brasília. Com a conscientização sobre a limitação do uso da água potável, questões referentes à importância da preservação dos recursos hídricos ganham cada vez mais destaque. Com base nisso, é realizado um estudo de caso sobre o consumo de água na fábrica, sendo feito um projeto completo 3D de toda a planta que envolve a captação e a distribuição de águas pluviais. É também apresentado o dimensionamento e seleção de todos os componentes do sistema por meio das normas brasileiras e da metodologia do dimensionamento hidráulico, mecânico e estrutural específicos para tubulações. Tudo isso tendo em vista a análise da viabilidade técnica, estratégica e econômico-financeira do projeto e quais benefícios irá trazer tanto para indústria quando para a sociedade.

Por meio do estudo de caso e do projeto completo, é evidenciado o consumo de água na fábrica, que é exorbitante, principalmente para fins não potáveis (uso fim para o projeto). Para a implementação do sistema projetado, o investimento seria em torno de R\$ 163.000,00, o volume anual de água captada será de aproximadamente 3.200.000 litros, a economia de água definida pela demanda na indústria seria de 27% do total, algo em torno de 2.244.000 litros anuais, gerando uma economia anual de R\$ 50.000,00.

ABSTRACT

The present text shows a complete project of a collection and use of rainwater system in food industries, with emphasis at Bunge Alimentos' wheat mill facility in Brasília. Regarding the awareness of drinking water's use limitation, issues relating to the preservation of water resources are gaining more prominence. Based on this, a study of case is carried out about the water consumption and the water collection system already available in the factory, being made a conceptual 3D project of the whole plant that involves the collection and distribution of rainwater. The sizing and selection of all components of the system will also be carried out through the Brazilian standards and the methodology of the hydraulic, mechanical and structural sizing for pipelines. All this in view of the analysis of the technical, strategic and economic-financial viability of the project and which benefits will be generated from them to both, the industry and the society.

Through the case study and the complete project, the consumption of water in the plant is evidenced, which is exorbitant, mainly for non-potable purposes (end use for the project). For the implementation of the projected system, the investment would be around R\$ 163,000.00, the annual volume of water abstracted will be approximately 3,200,000 liters, the water savings defined by the demand in the industry would be 27% of the total, something around 2,244,000 liters per year, generating annual savings of R\$ 50,000.00.

SUMÁRIO

SUMÁRIO.....	iv
LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE TABELAS.....	ix
LISTA DE SÍMBOLOS	x
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO.....	1
1.2 MOTIVAÇÃO.....	3
1.3 NORMAS DO SETOR.....	4
1.4 OBJETIVOS.....	5
1.4.1 OBJETIVO GERAL.....	5
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
1.5 ESTRUTURA DO TEXTO.....	6
2 REVISÃO TEÓRICA	8
2.1 SISTEMAS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS.....	8
2.1.1 TIPOS DE SISTEMAS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DA CHUVA.....	9
2.2 INSTALAÇÕES, ACESSÓRIOS, COMPONENTES E RECOMENDAÇÕES PARA O SISTEMA.....	11
2.2.1 COMPONENTES DE CONDUÇÃO E COLETA DA ÁGUA: CALHAS E CONDUTORES.....	11
2.2.2 INSTALAÇÃO PREDIAL DE ÁGUA FRIA – SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO.....	14
2.2.3 SISTEMA DE TRATAMENTO DA ÁGUA CAPTADA.....	14
2.3 DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO – METODOLOGIA.....	16
2.3.1 ESCOAMENTO EM TUBOS.....	16
2.3.2 ANÁLISE DE PERDA DE CARGA TOTAL DO SISTEMA.....	25
2.3.3 DETERMINAÇÃO DO DIÂMETRO HIDRÁULICO.....	26
2.3.4 ANÁLISE HIDRÁULICA DA PERDA DE CARGA E ENERGIA DISPONÍVEL.....	27
2.4 DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL – METODOLOGIA.....	29
2.5 DIMENSIONAMENTO MECÂNICO (FLEXIBILIDADE) – METODOLOGIA.....	33
2.6 ESCOAMENTO EM CALHAS.....	39
3 ESTUDO DE CASO	43
3.1 SISTEMA DE CAPTAÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS NA BUNGE BRASÍLIA.....	43
3.2 RESERVATÓRIOS E CAIXAS D'ÁGUA.....	44
3.3 SITUAÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA NA UNIDADE.....	44
3.3.1 CONSUMO TOTAL DE ÁGUA DA FÁBRICA.....	44
3.3.2 ANÁLISE DO CONSUMO DE ÁGUA PARA FINS POTÁVEIS E NÃO POTÁVEIS.....	47
3.3.3 ANÁLISE FINANCEIRA.....	49
3.4 PLANTA DO SISTEMA DE CAPTAÇÃO NA UNIDADE BUNGE BRASÍLIA.....	50
3.5 ÁREA DE CAPTAÇÃO.....	55
3.6 LIMITAÇÕES E POTENCIAL DE MELHORIA NO SISTEMA.....	55
4 PROJETO CONCEITUAL	58
4.1 ESQUEMA 3D DO SISTEMA DE CAPTAÇÃO.....	58
4.2 PROPOSTA DE PERCURSO PARA AUMENTO DA ÁREA DE CAPTAÇÃO.....	61
4.3 PROPOSTA E SELEÇÃO DE PERCURSO PARA O SISTEMA DE APROVEITAMENTO DA ÁGUA CAPTADA.....	62
5 DIMENSIONAMENTO DOS COMPONENTES DO SISTEMA	66
5.1 INTRODUÇÃO.....	66
5.2 CRITÉRIOS DE PROJETO DO SISTEMA.....	67
5.2.1 MÉDIA PLUVIOMÉTRICA DE BRASÍLIA.....	67
5.2.2 FATORES METEOROLÓGICOS.....	69
5.2.3 ÁREA DE CONTRIBUIÇÃO.....	70
5.2.4 VAZÃO DE PROJETO.....	72

5.2.5	ÁREA DE CAPTAÇÃO.....	73
5.2.6	DEMANDA, USO FIM E CONSUMO DA ÁGUA.....	73
5.3	DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO.....	73
5.4	DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE CAPTAÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS.....	76
5.4.1	DESENHOS PARA VISUALIZAÇÃO DOS COMPONENTES.....	76
5.4.2	DIMENSIONAMENTO DE CALHAS.....	79
5.4.3	DIMENSIONAMENTO DE CONDUTORES VERTICAIS.....	80
5.4.4	DIMENSIONAMENTO DE CONDUTORES HORIZONTAIS.....	81
5.4.5	DIMENSIONAMENTO DAS CONEXÕES.....	82
5.4.6	DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE RECALQUE E SUCCÃO.....	82
5.5	DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA CAPTADA... ..	89
5.5.1	DESENHOS PARA VISUALIZAÇÃO DOS COMPONENTES.....	89
5.5.2	DIÂMETRO NOMINAL DOS TUBOS.....	92
5.5.3	DIMENSIONAMENTO DOS COMPONENTES PARA CADA PERCURSO.....	93
5.6	ANÁLISE DE PERDA DE CARGA E ENERGIA DISPONÍVEL.....	93
5.6.1	PERDA DE CARGA TOTAL.....	94
5.6.2	ENERGIA DISPONÍVEL NO SISTEMA.....	99
5.7	ANÁLISE DE TENSÕES.....	101
5.8	ANÁLISE DE FLEXIBILIDADE.....	103
5.9	DESENHOS DO SISTEMA COMPLETO.....	103
6	SELEÇÃO DOS COMPONENTES.....	106
6.1	INTRODUÇÃO.....	106
6.2	SELEÇÃO DO RESERVATÓRIO.....	106
6.3	SELEÇÃO DO SISTEMA DE CAPTAÇÃO.....	108
6.3.1	CALHAS.....	108
6.3.2	CONDUTORES VERTICAIS.....	109
6.3.3	CONDUTORES HORIZONTAIS.....	109
6.3.4	CONEXÕES.....	109
6.3.5	SISTEMA DE RECALQUE E SUCCÃO E DA BOMBA.....	109
6.4	SELEÇÃO DO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO.....	111
6.4.1	TUBOS.....	111
6.4.2	CONEXÕES.....	111
6.5	SELEÇÃO DOS COMPONENTES PARA INSTALAÇÃO DOS TUBOS.....	111
6.6	SELEÇÃO DOS COMPONENTES DO SISTEMA DE TRATAMENTO DA ÁGUA.....	112
6.7	SELEÇÃO FINAL.....	113
7	ANÁLISE FINANCEIRA DO PROJETO.....	114
7.1	INTRODUÇÃO.....	114
7.2	CUSTO TOTAL.....	114
7.3	PAYBACK SIMPLES.....	116
7.4	VALOR PRESENTE LÍQUIDO - VPL.....	118
7.5	TAXA INTERNA DE RETORNO - TIR.....	118
8	UTILIZAÇÃO E MANUTENÇÃO.....	120
8.1	INSTALAÇÃO PREDIAL DE ÁGUA FRIA.....	120
8.2	TUBULAÇÕES.....	121
8.3	RESERVATÓRIOS.....	121
8.4	QUALIDADE DA ÁGUA.....	122
8.5	PERIODICIDADE DA MANUTENÇÃO.....	122
9	CONCLUSÕES.....	123
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	124
	ANEXOS.....	128
	APÊNDICE.....	134

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Foto do moinho de trigo Brasília.	2
Figura 2.1. Esquema do sistema de fluxo total. Fonte: (ANNECCHINI, 2005).	9
Figura 2.2. Esquema com o sistema com derivação. Fonte: (ANNECCHINI, 2005)	10
Figura 2.3. Esquema com o sistema com volume adicional de retenção. Fonte: (ANNECCHINI, 2005)	10
Figura 2.4. Esquema do sistema com infiltração no solo. Fonte: (ANNECCHINI, 2005)	11
Figura 2.5. Tipos de calhas: calha de beiral, calha de platibanda e calha de água-furtada, respectivamente. Fonte: (GHISI, 2005).	12
Figura 2.6. Calhas de alumínio, PVC rígido e aço galvanizado, respectivamente. Fonte: Google Imagens.	12
Figura 2.7. Tubos e conexões de aço inoxidável e PVC rígido, respectivamente. Fonte: Google Imagens.	13
Figura 2.8. Tipos de conectores: nípel roscável (ligação rosqueada), joelho e cruzeta (conexões), fole (junta de expansão simples), respectivamente. Fonte: Google Imagens.	14
Figura 2.9. Kit filtro VF6. Fonte: (ECOCASA, 2016).	15
Figura 2.10. Caixa de areia. Fonte: Tigre.	16
Figura 2.11. A velocidade média definida como a média da velocidade em toda uma seção transversal. Para o escoamento de tubo laminar totalmente desenvolvido, a velocidade média é metade da velocidade máxima. Fonte: (ÇENGEL, et al., 2012).	17
Figura 2.12. Desenvolvimento de camada limite da velocidade em um tubo. Fonte: (ÇENGEL, et al., 2012).	19
Figura 2.13. Diagrama de corpo livre de um elemento de fluido diferencial em forma de anel. Fonte: (ÇENGEL, et al., 2012).	20
Figura 2.14. Relação da perda de pressão e perda de carga em tubos para escoamentos laminares ou turbulentos. Fonte: (ÇENGEL, et al., 2012).	22
Figura 2.15. Perfil de velocidade e a variação da tensão de cisalhamento com a distância radial do escoamento turbulento em um tubo. Fonte: (ÇENGEL, et al., 2012).	24
Figura 2.16. Instalação com trechos evidenciando as perdas de carga. Fonte: (BRUNETTI, 2008). ...	26
Figura 2.17. Tensões atuantes nas paredes do tubo. Fonte: (TELLES, 2001).	30
Figura 2.18. Efeito das cargas de serviço – Pressão interna. Fonte: (DOCA, 2014).	30
Figura 2.19. Efeito das cargas de serviço – Pesos. Fonte: (DOCA, 2014).	31
Figura 2.20. Tubo reto fixado nos dois extremos. Fonte: (TELLES, 2001).	34
Figura 2.21. Percurso de tubulações. Fonte: (TELLES, 2001).	35
Figura 2.22. Esquema demonstrando as hipóteses. Fonte: (TELLES, 2001).	36
Figura 2.23. Estrutura real à esquerda e modelo idealizado à direita. Fonte: (DOCA, 2014).	37
Figura 2.24. Estrutura real à esquerda e modelo idealizado à direita. Fonte: (DOCA, 2014).	37
Figura 2.25. Configuração usada para o caso geral tubulações. Fonte: (DOCA, 2014).	37
Figura 2.26. Lâmina d'água escoando da calha pelo condutor. Fonte: (GNIPPER, 2012).	40
Figura 2.27. Tipo de curva da calha: canto vivo à direita e curva à esquerda. Fonte: (GNIPPER, 2012).	40
Figura 2.28. Funil que promove uma redução gradual da seção da embocadura do condutor vertical, permitindo que este escoe uma maior vazão de água pluvial. Fonte: (GNIPPER, 2012).	41
Figura 2.29. Esquema de instalação de grelha hemisférica na tomada d'água de condutor vertical ao fundo da calha. Fonte: (GNIPPER, 2012).	41
Figura 2.30. Esquema de instalação da bandeja pluvial dotada de grelha hemisférica e condutor vertical com tubo prolongador. Fonte: (GNIPPER, 2012).	42
Figura 3.1. Foto do novo depósito de produtos acabados.	43
Figura 3.2. Histórico do consumo de água.	45
Figura 3.3. Porcentagem do consumo de água por atividade.	48
Figura 3.4. Porcentagem da demanda de água potável e não potável.	49
Figura 3.5. Histórico de contas de água ano a ano.	50
Figura 3.6. Vista isométrica do depósito de produtos acabados.	51

Figura 3.7. Foto do reservatório e das tubulações na entrada e saída do mesmo.	52
Figura 3.8. Foto da vista frontal.	52
Figura 3.9. Vista lateral esquerda do novo DPA com o antigo DPA ao fundo.	53
Figura 3.10. Foto da vista lateral esquerda com as tubulações de passagem até chegar ao reservatório.	53
Figura 3.11. Foto da vista traseira do sistema mostrando o antigo DPA.	53
Figura 3.12. Foto da vista superior com o novo DPA ao fundo a esquerda, o antigo DPA a direita e o telhado anexo.....	54
Figura 3.13. Foto de cima do prédio do novo DPA com a descaída do telhado e a calha.....	54
Figura 3.14. Foto da vista lateral esquerda do novo DPA mostrando o vazamento nas tubulações.	56
Figura 3.15. Foto da calha do teto do novo DPA.	57
Figura 4.1. Vista em perspectiva da planta do moinho no qual faz parte o sistema de captação e, posteriormente, distribuição das águas pluviais.	58
Figura 4.2. Vista 3D do sistema dando ênfase a parte frontal e lateral esquerda.	59
Figura 4.3. Vista 3D do sistema dando ênfase a parte frontal e lateral direita.	59
Figura 4.4. Vista 3D do sistema dando ênfase a parte traseira e lateral esquerda.	60
Figura 4.5. Vista superior do sistema com as 3 áreas de captação e as calhas.	60
Figura 4.6. Vista traseira e parcial lateral esquerda do sistema de captação com as tubulações instaladas para o novo percurso de captação.	61
Figura 4.7. Esquema do sistema com os novos percursos de tubulações instalados para conduzir a água captada até o reservatório.	61
Figura 4.8. Planta baixa da Bunge com ênfase nas superfícies de captação e onde será posicionado o reservatório.	62
Figura 4.9. Planta baixa da Bunge especificando o 1º percurso do sistema de distribuição.	64
Figura 4.10. Planta baixa da Bunge especificando o 2º e 3º percurso do sistema de distribuição.	65
Figura 5.1. Precipitação média anual entre os anos 2000 e 2015. Fonte: (INMET, 2016).	67
Figura 5.2. Precipitação pluviométrica média mensal entre 2000-2015. Fonte: (INMET, 2016).	68
Figura 5.3. Precipitação mensal do ano de 2015. Fonte: (INMET, 2016).....	68
Figura 5.4. Influência do vento na inclinação da chuva. Fonte: Reprodução (ABNT NBR 10844, 1989).....	70
Figura 5.5. Indicações para cálculos da área de contribuição. Fonte: Reprodução (ABNT NBR 10844, 1989).....	70
Figura 5.6. Medidas em mm para cálculo da área de contribuição da superfície I.	71
Figura 5.7. Medidas em mm para cálculo da área de contribuição da superfície II.	71
Figura 5.8. Medidas em mm para o cálculo da área de contribuição da superfície III.	72
Figura 5.9. Tipos de reservatórios. Fonte: (TOMAZ, 2009).	74
Figura 5.10. Reservatório apoiado de 15 m de altura e 3,5 de diâmetro para capacidade de 150 mil litros.....	76
Figura 5.11. Esquema com numeração dos componentes da superfície I.	77
Figura 5.12. Esquema com numeração dos componentes da superfície II.	77
Figura 5.13. Esquema com numeração dos componentes da superfície III.....	78
Figura 5.14. Esquema com numeração dos componentes da superfície III.....	78
Figura 5.15. Vista em perspectiva das tubulações do sistema de captação sem a estrutura dos depósitos.	79
Figura 5.16. Esquema do sistema de recalque e de sucção com um conjunto motobomba. Fonte: (UFCEG, 2010).....	83
Figura 5.17. Sistema de recalque e sucção com conjunto motor bomba, reservatório apoiado e enterrado.....	83
Figura 5.18. Sistema de recalque evidenciando os componentes principais, mostrando a água captada no reservatório enterrado após passagem por unidade de filtração e a saída da tubulação de sucção até a moto bomba e sua saída com a tubulação de recalque.	84
Figura 5.19. Sistema recalque e sucção evidenciando o conjunto moto bomba com a tubulação correspondente.	84
Figura 5.20. Tubulação de recalque chegando na entrada de recalque do reservatório apoiado.....	84
Figura 5.21. Bomba centrífuga. Fonte: (FAZFÁCIL, 2016).....	88
Figura 5.22. Bomba centrífuga pressurizada. Fonte: (FAZFÁCIL, 2016).....	88

Figura 5.23. Vista lateral dando ênfase as tubulações e conexões (em amarelo) do primeiro percurso do sistema de distribuição.	89
Figura 5.24. Vista em perspectiva do primeiro percurso do sistema de distribuição.	90
Figura 5.25. Vista frontal do sistema com os percursos II e III.	90
Figura 5.26. Vista frontal expandida do percurso II.	91
Figura 5.27. Vista frontal expandida do percurso III.	91
Figura 5.28. Vista em perspectiva dos componentes do sistema de distribuição sem a estrutura.	92
Figura 5.29. Medidas comerciais de tubos PVC rígidos soldáveis da Tigre. Fonte: (Tigre S/A, 2016)	93
Figura 5.30. Reservatório em parede delgada. Fonte: (SILVA, 2014).	96
Figura 5.31. Vista frontal e lateral direita do sistema completo em perspectiva.	104
Figura 5.32. Vista frontal e lateral esquerda em perspectiva do sistema completo.	105
Figura 6.1. Desenho técnico do reservatório da Fazforte. Fonte: (FAZFORTE, 2016)	107
Figura 6.2. Moto-bomba com sistema pressurizador centrífugo. Fonte: (Loja do Mecânico, 2016) ..	110
Figura 6.3. Unidade de filtração VF12. No canto superior a esquerda tem-se o realimentador, no inferior esquerdo tem-se a unidade filtrante. No canto superior direito tem-se a caixa protetora do filtro e logo abaixo a montagem. Fonte: (ECOCASA, 2016)	113

LISTA DE TABELAS

Tabela 2-1. Valores da rugosidade característica. Fonte: (DOCA, 2014).....	25
Tabela 3-1. Reservatórios e caixas d'água na fábrica.	44
Tabela 3-2. Histórico de consumo de água da fábrica desde 2012.....	45
Tabela 3-3. Consumo mensal de água da fábrica em 2015.	46
Tabela 3-4. Banheiros na fábrica.....	47
Tabela 3-5. Calhas e tubulações do sistema.	52
Tabela 5-1. Coeficientes de rugosidade. Fonte: Reprodução (ABNT NBR 10844, 1989).	80
Tabela 5-2. Capacidade de calhas semicirculares com coeficientes de rugosidade $n = 0,011$ (Vazão em L/min). Fonte: Reprodução (ABNT NBR 10844, 1989).....	80
Tabela 5-3. Capacidade dos condutores horizontais de seção circular (vazões em L/min). Fonte: Reprodução (ABNT NBR 10844, 1989).	81
Tabela 5-4. Determinação da vazão de recalque, diâmetro de recalque e sucção e velocidade econômica.....	85
Tabela 5-5. Determinação da altura manométrica de recalque.	86
Tabela 5-6. Dimensionamento final da potência da moto-bomba.....	87
Tabela 5-7. Dimensionamento do diâmetro comercial adotado.	93
Tabela 5-8. Dimensionamento do comprimento equivalente para cada percurso.	95
Tabela 5-9. Comprimento total equivalente dos percursos (tubos mais conexões).....	95
Tabela 5-10. Valores de C_v para orifícios de parede delgada. Fonte: (AZEVEDO NETTO, et al., 2015).....	97
Tabela 5-11. Vazão nos pontos de utilização em função do aparelho sanitário e da peça de utilização. Fonte: Reprodução (ABNT NBR 5626, 1998).....	97
Tabela 5-12. Velocidade final (na saída da torneira) em função da vazão requerida.....	98
Tabela 5-13. Velocidade média do escoamento nos percursos.	98
Tabela 5-14. Determinação do fator de atrito.....	99
Tabela 5-15. Determinação da perda de carga em cada percurso.	99
Tabela 5-16. Determinação da energia disponível em cada percurso.	100
Tabela 5-17. Diferença entre a perda de carga e a energia disponível em cada percurso.	100
Tabela 5-18. Valores da tensão normal circunferencial e longitudinal.	101
Tabela 5-19. Tensões máximas pelo critério da máxima tensão normal.....	102
Tabela 5-20. Tensão máxima admissível e fator de segurança.	102
Tabela 5-21. Espessura mínima de parede.	103
Tabela 6-1. Seleção da caixa de areia para filtração em tubulações enterradas.	113
Tabela 7-1. Investimento total do projeto.....	115
Tabela 7-2. Investimento final do projeto com todas as taxas e mão de obra incluídas.....	116
Tabela 7-3. Cenários da análise de Payback Simples.....	118
Tabela 8-1. Parâmetros de qualidade da água da chuva para usos restritivos não potáveis. Fonte: Reprodução (ABNT NBR 10844, 1989).	122
Tabela 8-2. Tabela de periodicidade da manutenção de acordo com o componente. Fonte: REPRODUÇÃO (ABNT NBR 15527, 2007).	122

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolos Latinos

A	Área	[m ²]
V	Volume	[m ³]
v	Velocidade	[m/s]
P	Pressão	[N/m ²]
g	Aceleração da gravidade	[m/s ²]
J	Perda de carga	[m]
T	Temperatura	[°C]
Q	Vazão	[L/min]
E	Energia interna	[J]
t	Espessura de parede	[mm]
T	Torque	[N.m]
E	Módulo de elasticidade	[N/m ²]
K	Constante de flexibilidade	[MPa/m]
I	Intensidade pluviométrica	[mm/h]
i	Declividade da calha	[m/m]
H	Altura	[m]
Pot	Potência	[W]

Símbolos Gregos

ν	Viscosidade cinemática	[m ² /s]
δ	Espessura de filme	[μ m]
ε	Rugosidade Uniforme	[mm]
γ	Peso específico do fluido	[N/m ³]
Δ	Variação	
σ	Tensão normal	[N/m ²]
τ	Tensão de cisalhamento	[N/m ²]
α	Coefficiente linear de dilatação térmica	[1/°C]
η	Eficiência	

Grupos Adimensionais

Re	Número de Reynolds
f	Fator de atrito
C	Coefficiente de Hazen-Williams
K	Fator de perda de carga localizada
n	Coefficiente de rugosidade

Subscritos

amb	ambiente
ext	externo
man	manométrica
b	bomba
m	motor
x	eixo x
y	eixo y
z	eixo z

<i>adm</i>	admissível
<i>max</i>	máximo
<i>ll</i>	longitudinal
<i>θθ</i>	circunferencial
<i>iθ</i>	radial
<i>r</i>	recalque
<i>s</i>	sucção

Siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASME	American Society of Mechanical Engineers

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta considerações gerais relacionadas a contextualização e motivações para a realização do Projeto de Graduação, além de introduzir os objetivos que serão desenvolvidos durante o projeto e as normas que serão consultadas.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO.

Atualmente, existe uma grande preocupação da sociedade em relação à conservação dos recursos naturais. Dentre estes, a água é um dos mais preciosos, se tornando indispensável para vida de todos. No cenário brasileiro e do Distrito Federal, a crise hídrica e o racionamento de água já são uma realidade. As grandes empresas e indústrias não estão alheias a essa mudança de pensamento e, hoje, tratam o desenvolvimento sustentável como fator primordial para os negócios.

A Bunge é uma grande multinacional do setor privado e trabalha diante de um dos maiores desafios do mundo contemporâneo: garantir de forma sustentável a alimentação de uma população em constante crescimento. No Brasil há 110 anos, a empresa é a maior exportadora do agronegócio e uma das principais no setor de alimentos e ingredientes para a indústria alimentícia. De forma integrada, ela atua do campo à mesa do consumidor, comercializando e processando grãos (soja, trigo e milho), produzindo alimentos (óleos, margarinas, maioneses, azeites, arroz, atomatados, farinhas e pré-misturas para bolos), atuando em serviços portuários e de logística e produzindo açúcar e bioenergia. (Bunge Imprensa, 2016)

A Bunge busca o desempenho econômico respeitando o meio ambiente e responsabilidade social. É regida pela política de sustentabilidade, de meio ambiente e de biodiversidade, que direcionam todos os negócios da empresa. A gestão baseia-se no controle de riscos, metas e oportunidades de negócio para a empresa. (Bunge Brasil, 2016)

A fábrica da Bunge em Brasília faz parte do negócio de Alimentos e Ingredientes e é um moinho de trigo que produz farinha especial para panificação, massas, bolos, salgados, pizzas e outros produtos. Nele, recebe-se o trigo e é realizado todo o processo para extração da farinha. Faz-se também o processo de misturas de aditivos na farinha, o envasamento e o armazenamento da farinha pronta e ensacada para ser distribuída para o consumidor final, além do controle laboratorial de qualidade e da logística de todo o processo. Na Figura 1.1 tem-se a foto do moinho Brasília.



Figura 1.1. Foto do moinho de trigo Brasília.

Na fábrica da Bunge em Brasília, tem-se diversas oportunidades de aliar o desenvolvimento econômico com a sustentabilidade. O consumo de água é um fator de grande importância para a indústria, pois é utilizada em grande quantidade não só no processo, mas também em todos os outros setores. Nos banheiros, com os chuveiros, pias e descargas de sanitários, para higienização, limpeza do moinho, limpeza do setor administrativo, lavagem externa do pátio, irrigação dos gramados, no refeitório e outras atividades dentro do complexo industrial é utilizada uma quantidade considerável de água.

Além disso, a unidade tem diversas metas que fazem parte do PEOB (Programa de Excelência Operacional da Bunge). Dentro dessas metas, tem-se o consumo de água, onde a unidade é auditada mensalmente para verificar como está a situação do consumo. A meta é calculada da seguinte forma:

$$Meta\ mensal = \frac{Consumo\ total\ de\ água\ na\ fábrica - Consumo\ de\ água\ no\ processo}{Moagem\ total\ de\ farinha} \quad (1.1)$$

Onde a meta mensal é dada em m³/ton, o consumo total de água na fábrica e o consumo de água no processo em m³ e a moagem total de farinha em ton.

Todas as metas possuem 3 Ranges (alcance, em tradução livre), onde tem-se valores que deverão ser atingidos. O Range 1 é o mínimo exigido pela empresa, o Range 3 é o ideal que se deseja obter e o Range 5 é quando a unidade supera as expectativas. À medida de curiosidade, esses Ranges das metas servem para determinar quanto os colaboradores da Bunge receberão de bônus salarial no programa Recompensar da empresa.

Para o ano de 2016, os Ranges da meta de consumo de água são os seguintes:

- Range 1 = 0,100 m³/ton;
- Range 3 = 0,090 m³/ton;

- Range 5 = 0,080 m³/ton.

Como pode-se observar, quanto menor for o valor de m³/ton, melhor para a meta. Esses valores das metas são calculados de acordo com dados de anos anteriores, levando em conta o quanto é esperado que se consuma de água para determinada moagem de farinha esperada.

Da Equação 1.1 tem-se que para a meta de consumo de água é considerado todo o consumo fora do processo de obtenção do trigo, ou seja, é só o que é consumido em atividades que não são o objetivo principal da indústria.

Essa sempre foi uma meta muito difícil de ser alcançada e, desde quando se tem dados, nunca houve um ano em que a unidade a atingiu, seja por problemas de vazamentos, desperdícios, ou até mesmo pelo consumo exacerbado em tarefas comuns do dia-a-dia.

1.2 MOTIVAÇÃO.

A água está no centro do desenvolvimento sustentável. Os recursos hídricos e a gama de serviços providos por esses recursos, contribuem para a redução da pobreza, para o crescimento econômico e para a sustentabilidade ambiental. Desde a segurança alimentar e energética até a saúde humana e ambiental, a água contribui para as melhorias no bem-estar social e no crescimento inclusivo, afetando os meios de subsistência de bilhões de pessoas.

A água é um recurso essencial na produção da maioria dos bens e serviços, incluindo alimentos, energia e manufaturados. O abastecimento de água (em quantidade e qualidade), no local onde o usuário precisa, deve ser confiável e previsível, para apoiar investimentos financeiramente sustentáveis em atividades econômicas. Bons investimentos em infraestrutura e gestão, que sejam adequadamente financiados, operados e mantidos, facilitam as mudanças estruturais necessárias para promover avanços na economia. (Unesco, 2015)

Apesar da água doce ainda ser encontrada em grande quantidade no planeta, em algumas regiões do mundo, suprir a demanda de água já está se tornando um problema em função do acelerado crescimento populacional, principalmente urbano. De acordo com relatórios da Organização das Nações Unidas, a população mundial em 2015 é estimada em aproximadamente 7,3 bilhões de pessoas, tendendo a alcançar a marca de 10 bilhões em 2050, sobrecarregando ainda mais os sistemas de abastecimento de água. Com isso, cresce a necessidade da utilização de novas técnicas visando um melhor aproveitamento de água. (United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division , 2015)

No Brasil, a Região Sudeste dispõe de um potencial hídrico de apenas 6% do total nacional, porém conta com 43% do total de habitantes do país, enquanto a Região Norte, que compreende a Bacia Amazônica, apresenta 69% de água disponível, contando com apenas 8% da população brasileira. Isso traz um grande problema de abastecimento. Além disso, o desperdício de água potável, resultante do mau uso dos aparelhos sanitários, bem como vazamentos nas instalações, tem contribuído para maior consumo deste recurso. (GHISI, et al., 2004)

O maior desafio atual é encontrar soluções sustentáveis de modo a alinhar os objetivos financeiros e de desenvolvimento sem prejudicar os recursos naturais. Uma solução encontrada para o problema da falta de água para fins não potáveis foi o aproveitamento de águas pluviais.

No Brasil, a ABNT fornece os requisitos para a implementação tanto do sistema de captação quanto de distribuição de água pluviais por meio de diversas normas que, entre outros objetivos, fixam as exigências e os critérios necessários aos projetos das instalações de drenagem de águas pluviais, visando garantir níveis aceitáveis de funcionalidade, segurança, higiene, conforto, durabilidade e economia. Tais normas se aplicam à drenagem de águas pluviais em coberturas e demais áreas associadas ao edifício, em que as águas das chuvas podem ser utilizadas, após tratamento adequado, para diversos fins, como, por exemplo, descargas em bacias sanitárias, irrigação de gramados e plantas ornamentais, lavagem de veículos, limpeza de calçadas e ruas, limpeza de pátios, espelhos d'água e usos industriais. (ABNT NBR 15527, 2007)

Diante disso, com a escassez de água e a economia brasileira em plena crise, faz-se necessário que o setor industrial brasileiro se adeque a esse novo cenário e tenha como objetivo contribuir para a diminuição desse problema que, além do desenvolvimento sustentável, trará benefícios financeiros para o negócio.

A Bunge tem um setor específico que se chama Gestão de Projetos. Nele, são implantados diversos projetos de investimentos nas unidades por todo o Brasil. O setor corporativo da Gestão de Projetos cobra de todas as unidades que busquem projetos que tragam em melhorias tanto na produção, quanto na manutenção, logística ou no desenvolvimento sustentável. Todo o ano são investidos milhões de reais em diversos projetos de investimento por todo o Brasil.

Dessa forma, pretende-se projetar um sistema de captação e de distribuição de águas pluviais na unidade Bunge Brasília que atenda a demanda de água para fins não potáveis e que seja viável para ser tornar um projeto de investimento na empresa. Será tomado como base um sistema de captação que já existe na unidade, porém que está inutilizado. O sistema de captação será projetado de tal forma que possa atender melhor às necessidades da indústria, corrigindo os problemas e tornando viável sua utilização. Para o sistema de distribuição serão criados percursos que possibilitem o aproveitamento dessa água em diversos setores da fábrica.

1.3 NORMAS DO SETOR.

Este projeto será realizado com base nas seguintes normas:

- ABNT NBR 15527:2007 – Água da chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos;
- ABNT NBR 10844:1989 – Instalações prediais de águas pluviais;
- ABNT NBR 5626:1998 – Instalação predial de água fria.

Além disso, serão consultadas diversas outras normas, entre elas:

- ABNT NBR 12213:1992 – Projeto de captação de água de superfície para abastecimento público;
- ABNT NBR 12214:1992 – Projeto de sistema de bombeamento de água para abastecimento público;
- ABNT NBR 12217:1994 – Projeto de reservatório de distribuição de água para abastecimento público;

1.4 OBJETIVOS.

1.4.1 OBJETIVO GERAL.

- Fazer o projeto completo do sistema de captação e distribuição de águas pluviais para aplicação no moinho de trigo da empresa Bunge Alimentos em Brasília com base nas normas da ABNT e avaliar toda sua viabilidade técnica, estratégica e econômico-financeira.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Fazer um estudo de caso da Bunge Alimentos, descrevendo: a planta da unidade, os reservatórios, caixas d'água, tubulações e outros componentes do sistema de captação, todo o percurso de tubulações e calhas, possibilidades de melhoria no sistema, materiais utilizados nas tubulações, entre outros.
- Fazer uma análise geral do consumo de água na fábrica, evidenciando o consumo de água potável e não potável nos diversos setores da fábrica, além da análise financeira em torno desse consumo nos anos anteriores;
- Determinar a área de captação do sistema existente na fábrica e as possibilidades de aumento dessa área;
- Definir o uso que será dado a água da chuva captada na fábrica;
- Propor tratamentos dessa água de forma que se torne viável sua utilização;
- Fazer desenhos 3D para facilitar a visualização do sistema como um todo;
- Estudar as metodologias disponíveis do sistema de captação de águas pluviais.
- Fazer a análise dos componentes do sistema, tais quais tubos, conectores, caixa de areia, calhas, filtros, válvulas, juntas, entre outros.
- Apresentar uma revisão teórica de escoamento em tubulações e reservatórios, assim como todos os fatores envolvidos (camada limite, escoamento laminar e turbulento, entre outros);
- Apresentar metodologias para o dimensionamento hidráulico, mecânico e estrutural;
- Apresentar os critérios de projeto exigidos por norma para o dimensionamento geral do sistema de captação de águas pluviais;
- Verificar normas e parâmetros referentes à seleção dos componentes do sistema de coleta de águas pluviais, dos reservatórios e afins.

- Selecionar percursos de tubulações para que essa água captada seja utilizada em outros setores da planta;
Dimensionar e selecionar o reservatório;
- Dimensionar e selecionar todas as calhas, condutores e conexões do sistema de captação;
- Dimensionar e selecionar todos os condutores e conexões do sistema de distribuição;
- Realizar toda análise hidráulica, estrutural e mecânica do sistema;
- Dimensionar e selecionar todo o sistema de recalque e de sucção, caso necessário;
- Fazer análise financeira, de viabilidade técnica e econômica e de payback do sistema;
- Levantar requisitos de utilização e manutenção do sistema como um todo.

1.5 ESTRUTURA DO TEXTO.

Durante o desenvolvimento do texto, serão levantados todos os tópicos referentes ao projeto do sistema de captação de águas pluviais na indústria Bunge Alimentos em Brasília.

No primeiro capítulo foi feita uma introdução ao projeto, expondo em qual contexto o mesmo está inserido, quais as motivações para a sua realização, as normas que serão seguidas e os objetivos traçados.

No segundo capítulo será levantada uma revisão teórica acerca do tema. Serão descritos tipos de sistemas de captação de águas pluviais, seus acessórios e componentes. Será feito também um estudo teórico acerca de escoamentos em tubulações e reservatórios, além de analisada a metodologia para o dimensionamento hidráulico, estrutural e mecânico utilizados no projeto de tubulações industriais. Serão analisados também problemas recorrentes em escoamentos em calhas.

No terceiro capítulo será feito um estudo de caso da fábrica da Bunge Alimentos em Brasília. Será feita uma análise acerca do sistema de captação de águas pluviais existente na unidade, qual a planta do sistema, áreas de captação, limitações e potencial de melhoria. Será realizada também uma análise do consumo de água na fábrica, demonstrando, por meio de dados, o consumo para água potável e não potável, além da análise financeira.

No quarto capítulo será mostrado o projeto conceitual do sistema com o esquema 3D do sistema de captação de águas pluviais com todas as áreas que fazem parte do sistema de captação e distribuição, tubulações e componentes. Nesse capítulo serão realizadas propostas de percursos de tubulações para aumento da área de captação atual e também propostas de percursos para distribuição da água captada pelas áreas da fábrica.

O dimensionamento dos componentes de todos os sistemas será realizado no 5º capítulo. É nesse capítulo também que serão levantados todos os critérios de projeto do sistema exigidos por norma: média pluviométrica, fatores meteorológicos, área de contribuição, vazão de projeto, área de captação, demanda, uso fim e consumo da água.

Tais critérios serão utilizados para o dimensionamento do reservatório, de todos os componentes do sistema de captação, de recalque e sucção e de distribuição. Nesse capítulo será realizada toda a análise de perda de carga e energia disponível no sistema, além da análise de tensões e flexibilidade.

No capítulo 6 todos os componentes dimensionados no capítulo 5 serão selecionados. Serão avaliados orçamentos de diferentes fornecedores e selecionados aqueles que mais oferecerem vantagens para o projeto. É nesse capítulo que será selecionado também o sistema de filtragem da água captada.

É no capítulo 7 que será realizada toda análise financeira do projeto. Serão expostos e analisados todos os custos e economias do projeto e será analisada sua viabilidade econômico-financeira por meio de técnicas de análise de investimento.

Por fim, no capítulo 8 serão levantados os procedimentos de utilização e manutenção do sistema exigidos por norma.

2 REVISÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta um estudo sobre sistemas de captação de águas pluviais, descrevendo tipos de tubulações, acessórios e componentes empregados nessa aplicação, sistemas de tratamento de água da chuva, análise do escoamento em reservatórios, tubulações e calhas e a metodologia para o dimensionamento hidráulico, análise de tensões e flexibilidade.

2.1 SISTEMAS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS.

Antes de entrar no estudo de caso da fábrica em si, é importante se fazer um estudo dos sistemas de captação de águas pluviais.

Desde a antiguidade, sistemas para aproveitamento de água da chuva vem sendo utilizados em diversas partes do mundo. Há relatos do uso de águas pluviais por vários povos como Maias, Incas e Astecas.

No século XXI, o crescimento populacional, a falta de água nos grandes centros, o desenvolvimento sustentável e a busca cada vez maior por soluções sustentáveis que tragam um retorno financeiro, aliado a tecnologias e materiais modernos tem permitido uma abordagem atualizada na construção de tanques de armazenamento, aumento nas áreas de captação e tubulações inteligentes, levando a uma nova expansão dos sistemas para captação de águas pluviais, principalmente para fins não potáveis. (GNADLINGER, 2000)

Os principais motivos que levam à decisão para se utilizar água de chuva são basicamente os seguintes:

- Conscientização e sensibilidade da necessidade da conservação da água;
- Região com disponibilidade hídrica menor que 1200 m³ /habitante x ano;
- Elevadas tarifas de água das concessionárias públicas;
- Retorno dos investimentos (payback) muito rápido;
- Instabilidade do fornecimento de água pública;
- Exigência de lei específica;
- Locais onde a estiagem é maior que 5 meses;

Para indústrias, o motivo principal é aliar o desenvolvimento sustentável à diminuição de custos.

Pode-se citar diversas vantagens no uso de um sistema para aproveitamento de águas provenientes da chuva, entre eles: (MARINOSKI, 2007)

- Utiliza estruturas existentes na edificação (telhados, lajes e rampas);
- Baixo impacto ambiental;
- Água com qualidade aceitável para vários fins com pouco ou nenhum tratamento;
- Completa o sistema convencional;

- Reserva de água para situações de emergência ou interrupção do abastecimento público;
- Redução do consumo de água potável e do custo de fornecimento da mesma;
- Melhor distribuição da carga de água da chuva do sistema de drenagem urbana, o que ajuda a controlar as enchentes.

O sistema também possui algumas desvantagens, como: a diminuição do volume de água coletada durante os períodos de seca e a necessidade de se fazer uma manutenção regular no sistema, caso contrário pode surgir riscos sanitários.

A viabilidade da implantação de sistema de aproveitamento de água pluvial depende essencialmente dos seguintes fatores: precipitação, área de captação e demanda de água. Além disso, para projetar tal sistema, deve-se levar em conta as condições ambientais locais, clima, fatores econômicos, finalidade e usos da água, buscando não uniformizar as soluções técnicas.

Deve-se também fazer uma revisão teórica acerca da instalação do sistema para captação, baseando-se nas normas que fornecem os requisitos necessários e também quais tubulações deverão ser utilizadas (materiais), acessórios, componentes, sistemas para tratamento dessa água e outros parâmetros de projeto para o dimensionamento hidráulico, análise de tensões e flexibilidade. No estudo devem constar o alcance do projeto, a população que utiliza a água da chuva e a determinação da demanda. Incluem-se também os estudos das séries históricas e sintéticas das precipitações da região onde será feito o projeto de aproveitamento de água da chuva.

2.1.1 TIPOS DE SISTEMAS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DA CHUVA.

De acordo com várias literaturas, tem-se diversos tipos de sistemas para coleta de água da chuva. Segundo Anecchini (2005), quatro formas construtivas de sistemas de aproveitamento da água da chuva destacam-se: sistema de fluxo total, sistema com derivação, sistema com volume adicional de retenção e sistema com infiltração no solo. Tais sistemas serão descritos a seguir:

- Sistema de fluxo total: onde toda a chuva coletada pela superfície de captação é direcionada ao reservatório de armazenamento, passando antes por um filtro ou por uma tela. A chuva que extravasa o reservatório é direcionada ao sistema de drenagem, conforme a Figura 2.1.

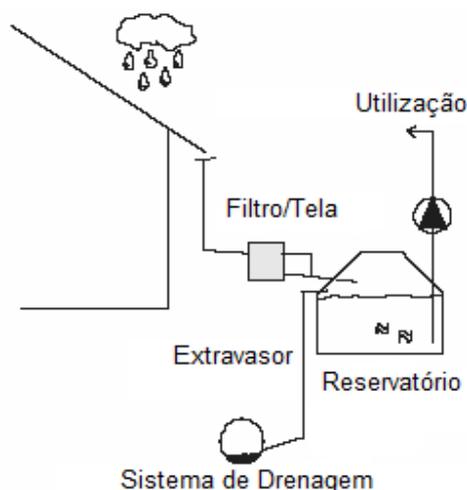


Figura 2.1. Esquema do sistema de fluxo total. Fonte: (ANNECCHINI, 2005).

- Sistema com derivação: neste sistema, uma derivação é instalada na tubulação vertical de descida da água da chuva, com o objetivo de descartar a primeira chuva, direcionando-a ao sistema de drenagem. Em alguns casos, instala-se um filtro ou uma tela na derivação. A chuva que extravasa do reservatório é direcionada ao sistema de drenagem, conforme Figura 2.2.

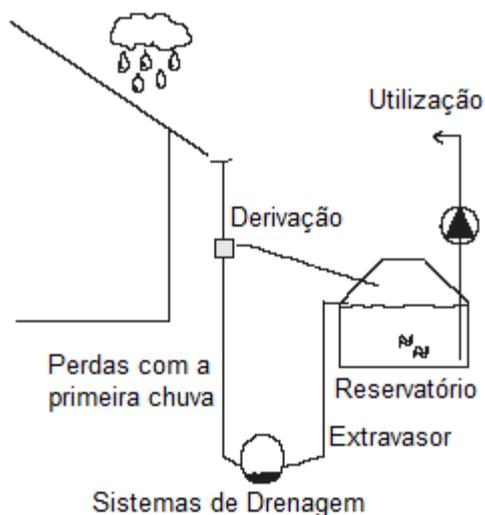


Figura 2.2. Esquema com o sistema com derivação. Fonte: (ANNECCHINI, 2005)

- Sistema com volume adicional de retenção: no qual constrói-se um reservatório maior, capaz de armazenar o volume de chuva necessário para o suprimento da demanda e capaz de armazenar um volume adicional com o objetivo de evitar inundações. Neste sistema uma válvula regula a saída de água correspondente ao volume adicional de retenção para o sistema de drenagem como mostrado na Figura 2.3.

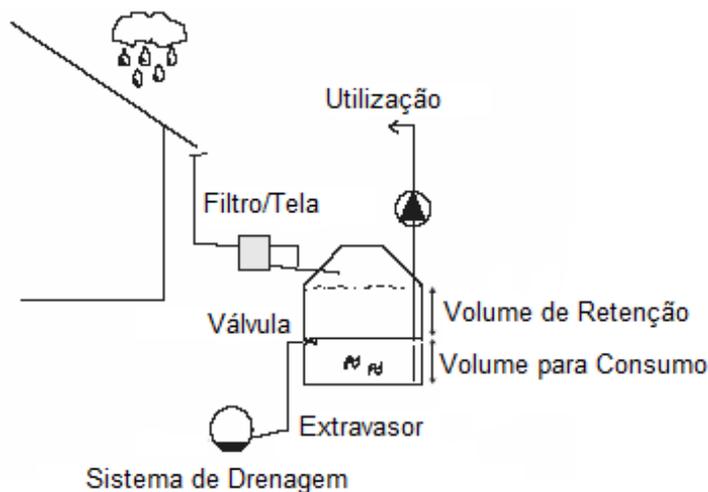


Figura 2.3. Esquema com o sistema com volume adicional de retenção. Fonte: (ANNECCHINI, 2005)

- Sistema com infiltração no solo: neste sistema toda a água da chuva coletada é direcionada ao reservatório de armazenamento, passando antes por um filtro ou uma tela. O volume de chuva

que extravasa do reservatório é direcionado a um sistema de infiltração de água no solo conforme Figura 2.4.

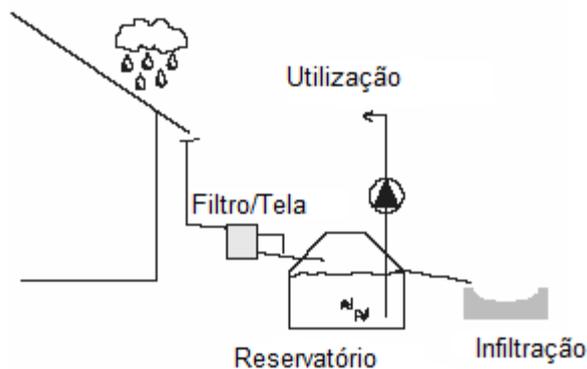


Figura 2.4. Esquema do sistema com infiltração no solo. Fonte: (ANNECCHINI, 2005)

No caso da Bunge, será utilizado o sistema de fluxo total, onde a chuva coletada será direcionada ao reservatório de armazenamento, passando antes por filtros e telas. Haverá também um sistema de drenagem para onde a chuva que extravasa o reservatório será direcionada.

2.2 INSTALAÇÕES, ACESSÓRIOS, COMPONENTES E RECOMENDAÇÕES PARA O SISTEMA.

Independente da técnica adotada, os componentes principais do sistema de aproveitamento da água da chuva são: a área de captação (telhado, área e piso), os sistemas de condução de água (tubulações, calhas, condutores horizontais e verticais), a unidade de tratamento da água (reservatório de autolimpeza, telas ou filtros para remoção de materiais grosseiros como folhas e galhos) e o reservatório de armazenamento.

Pode ainda ser necessário uma tubulação de recalque, reservatório superior (caixa d'água) e rede de distribuição dessa água. (PETERS, 2006)

Todas as recomendações de materiais, componentes e instalações prediais se dão pelas normas da ABNT NBR 10844:1989, NBR 5626: 1998 e NBR 15527:2007.

2.2.1 COMPONENTES DE CONDUÇÃO E COLETA DA ÁGUA: CALHAS E CONDUTORES.

No sistema tem-se componentes que captam e conduzem a água para os reservatórios de armazenamento. Tais componentes são as calhas e os condutores que devem atender a ABNT NBR 10844:1989 e NBR 15527:2007.

2.2.1.1 CALHAS – ASPECTOS GERAIS.

A água captada pela cobertura dirige-se para o ponto mais baixo, seja o beiral, o encontro com outros planos inclinados ou ralos, nestes devem ser instaladas as calhas que conduzem a água para as tubulações coletoras.

As calhas apresentam geralmente as seções em forma de V, U, semicircular, quadrada ou retangular. A Figura 2.5 ilustra a calha instalada em beiral, a calha instalada em platibanda e a calha instalada no encontro das águas do telhado (água-furtada).

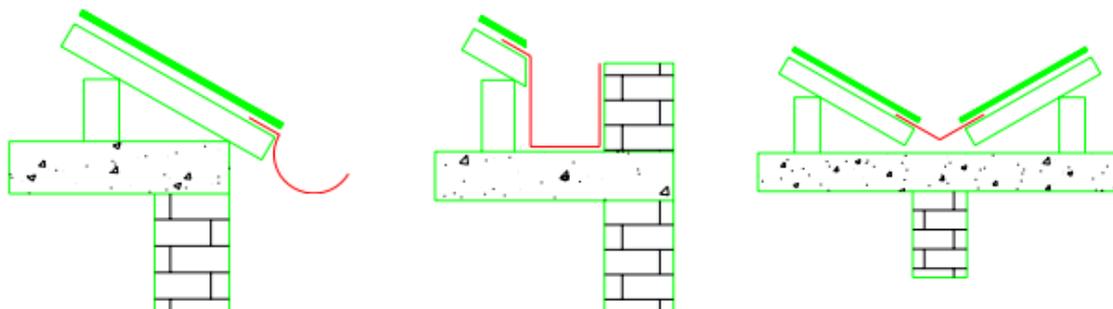


Figura 2.5. Tipos de calhas: calha de beiral, calha de platibanda e calha de água-furtada, respectivamente. Fonte: (GHISI, 2005).

Os materiais deverão ser escolhidos de acordo com a ABNT NBR 10844:198: chapas de aço galvanizado, folhas-de-flandres, chapas de cobre, aço inoxidável, alumínio, fibrocimento, PVC rígido, fibra de vidro, concreto ou alvenaria.

Para as calhas, os materiais mais utilizados são o aço galvanizado e o alumínio pois possuem um custo médio, são fortes, rígidos e bons condutores. (DOCA, 2014)



Figura 2.6. Calhas de alumínio, PVC rígido e aço galvanizado, respectivamente. Fonte: Google Imagens.

As áreas de captação quando planas devem ser capazes de conduzir as águas para um ponto em comum, normalmente um ralo, esse direcionamento é feito a partir do caimento. Para evitar que os detritos sólidos presentes nos telhados, como folhas e objetos, entrem nas tubulações e conseqüentemente nos reservatórios, é colocada uma proteção do sistema na conexão entre a calha e a tubulação, sendo que essa proteção pode ser um ralo hemisférico.

A manutenção/limpeza destes elementos do sistema influenciará diretamente na eficiência do mesmo. Essa manutenção permitirá que se evitem entupimentos e os riscos de contaminação serão reduzidos.

2.2.1.2 CONDUTORES – ASPECTOS GERAIS.

As calhas conduzem a água da chuva para condutores. Esses condutores são tubos para condução que são destinados ao transporte de fluidos. Os tubos de condução têm vários acessórios e componentes dependendo da aplicação. Medidores de fluxo, bombas, sensores e diversos tipos de válvulas podem ser utilizados juntamente com o sistema de tubos condutores.

Segundo a ABNT NBR 10844:1989, nos condutores verticais, devem ser empregados tubos e conexões de ferro fundido, fibrocimento, PVC rígido, aço galvanizado, cobre, chapas de aço galvanizado, folhas-de-flandres, chapas de cobre, aço inoxidável, alumínio ou fibra de vidro.

Nos condutores horizontais, devem ser empregados tubos e conexões de ferro fundido, fibrocimento, PVC rígido, aço galvanizado, cerâmica vidrada, concreto, cobre, canais de concreto ou alvenaria.



Figura 2.7. Tubos e conexões de aço inoxidável e PVC rígido, respectivamente. Fonte: Google Imagens.

Para seleção dos materiais tanto dos tubos condutores quanto das calhas, deverá ser levado em conta diversos fatores, entre eles: o fluido que será conduzido, condições de serviço, nível de tensões do material, natureza dos esforços mecânicos, disponibilidade dos materiais, sistema de ligações, custo dos materiais, segurança, facilidade de fabricação e montagem, experiência prévia e tempo de vida previsto. Para a aplicação do sistema de captação de águas pluviais, o material mais utilizado para os tubos condutores é o PVC rígido, pois tem baixo custo, são leves, resistentes à corrosão e indicados para condução de águas não potáveis.

Para que não ocorra transbordamento de água é necessário que seja feito o correto dimensionamento das calhas e a especificação de um número adequado de coletores verticais, para que o sistema opere com a eficiência esperada e não traga problemas tanto à estrutura quanto aqueles que dependerão desse sistema. (GHISI, 2005)

O dimensionamento das calhas e condutores verticais deve ser feito levando-se em conta a equação da intensidade de chuva e a vazão de projeto, uma vez que o sistema deverá de ser capaz de suportar e drenar a máxima precipitação que foi deduzida, ou seja, são dimensionadas supondo índices pluviométricos e período de retorno altos, de forma a se operar com a máxima eficiência.

Outros componentes são utilizados para fazer a ligação de calhas e tubos condutores: meios de ligação (ligações rosqueadas, soldadas, flangeadas ou por encaixe), conexões (joelhos, têes, cruzetas, selas, luvas, uniões, tampão, entre outras) e juntas de expansão.



Figura 2.8. Tipos de conectores: nípel roscável (ligação rosqueada), joelho e cruzeta (conexões), fole (junta de expansão simples), respectivamente. Fonte: Google Imagens.

2.2.2 INSTALAÇÃO PREDIAL DE ÁGUA FRIA – SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO.

As instalações prediais de água fria devem atender a ABNT NBR 5626:1998, principalmente quanto as recomendações de separação atmosférica, dos materiais de construção das instalações, da retrossifonagem, dos dispositivos de prevenção de refluxo, proteção contra interligação entre água potável e não potável, do dimensionamento das tubulações e limpeza e desinfecção dos reservatórios, controle de ruídos e vibrações.

Podem ser utilizados diversos tipos de materiais para tubos e conexões do sistema de distribuição desde que atendam as normas especificadas na ABNT NBR 5626:1998. O material mais utilizado em geral é o PVC rígido. Deve-se considerar os efeitos da degradação e da temperatura nos materiais plásticos e, dessa forma, as instalações prediais de água fria devem ser projetadas, executadas e usadas de modo a evitar ou minimizar esses problemas.

Diferentes sistemas de distribuição de água fria, sendo um para água potável e outro para água não potável devem existir em qualquer tipo de edificação, evitando a conexão cruzada e obedecendo a ABNT NBR 5626:1998.

2.2.3 SISTEMA DE TRATAMENTO DA ÁGUA CAPTADA.

O sistema de captação de água da chuva deve utilizar tratamentos para que essa água seja aproveitada posteriormente. Tratamentos simples de filtração e desinfecção são uma alternativa para reuso de água em descargas de vasos sanitários, irrigação de jardins e lavagens de carros, pisos e roupa.

Deve-se então analisar se essa água captada poderá ser utilizada também para fins potáveis ou estritamente para fins não potáveis.

A chuva ao cair, traz os elementos presentes na atmosfera, os quais poderão interferir na qualidade desta água. Existem certos parâmetros relacionados a qualidade da água que devem ser analisados para que a mesma possa vir a ser tratada de acordo com o uso que será dado. Os principais parâmetros a serem analisados de acordo com a CONAMA, e com as normas NBR 15527 e NBR 13969

que regem a qualidade da água para os fins não potáveis, são: turbidez, pH, D.Q.O., D.B.O., nitrogênio, oxigênio dissolvido, fósforo, ferro, manganês, coliformes, cloretos e sólidos.

Para ser considerada como potável, a água deve atender à Portaria N° 2.914 de 12 de dezembro de 2011 do Ministério da Saúde, onde:

"Art. 5° Para os fins desta Portaria, são adotadas as seguintes definições:

I - Água para consumo humano: água potável destinada à ingestão, preparação e produção de alimentos e à higiene pessoal, independentemente da sua origem;

II - Água potável: água que atenda ao padrão de potabilidade estabelecido nesta Portaria e que não ofereça riscos à saúde; "

Dessa forma, a água captada pelo sistema será utilizada unicamente para usos não potáveis.

A qualidade da água de chuva coletada em sistemas de captação e aproveitamento de água de chuva depende de diversos fatores, dentre eles a superfície de captação.

Serão propostos alguns tratamentos que serão utilizados no sistema, entre eles estão o descarte das primeiras chuvas, utilização de filtros e caixas de areia.

O descarte das primeiras chuvas ou first flush é um procedimento simples e recomendável para limpeza da água da chuva. É a remoção dos primeiros milímetros de chuva, devido à concentração de poluentes tóxicos dispersos na atmosfera conforme mencionado anteriormente, além da poeira, fuligem e materiais orgânicos que acumulam nas coberturas e calhas. (FREITAS, 2014)

O descarte pode ser feito através de um componente importante do sistema de aproveitamento que é o reservatório de eliminação da primeira chuva ou com o auxílio de dispositivos automáticos.

O descarte da primeira chuva pode também estar associado a uso de um filtro e de uma estrutura desinfetante. O filtro serve para remover partículas grosseiras presentes no escoamento e a estrutura desinfetante para eliminar os microrganismos oriundos da precipitação.

Para a aplicação podem ser utilizados vários tipos de filtros que são responsáveis por separar sólidos e resíduos e fazer com que a água captada das calhas tenha um bom aspecto para utilização em fins não potáveis.

Como exemplo, tem-se o filtro VF6 (Acquasave/3P Technik) para projetos de aproveitamento de águas pluviais que é utilizado juntamente com um freio d'água, um multisifão ladrão e um flutuante como mostrado na Figura 2.9. (ECOCASA, 2016)

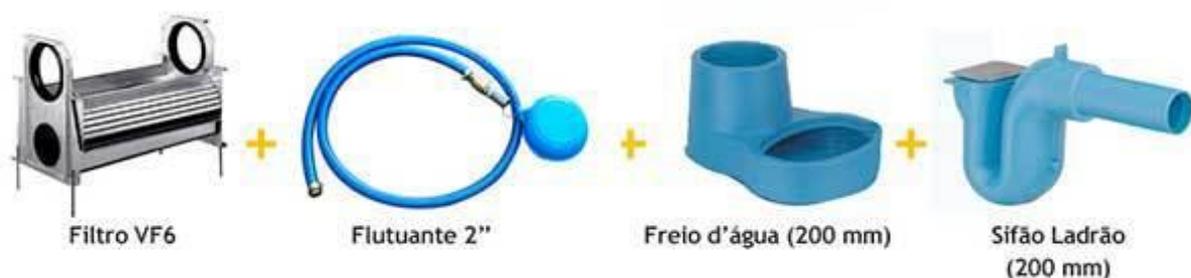


Figura 2.9. Kit filtro VF6. Fonte: (ECOCASA, 2016).

Devem ser utilizadas também caixas de areia nas tubulações enterradas sempre que houver conexões com outra tubulação, mudança de declividade, mudança de direção e ainda a cada trecho de 20 m nos percursos retilíneos.



Figura 2.10. Caixa de areia. Fonte: Tigre.

2.3 DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO – METODOLOGIA.

Para o projeto conceitual é necessário se levantar uma revisão teórica acerca do dimensionamento hidráulico (que será abordado nessa seção), estrutural (seção 2.4) e mecânico (seção 2.5) do sistema de tubulações.

Todos esses tópicos serão feitos de acordo com os livros: Tubulações Industriais – Volume I e II – Silva Telles (2001), Análise de tensões de tubulações industriais – França Filho (2013) e Mecânica dos Fluidos: Fundamentos e Aplicações – Çengel (2012).

2.3.1 ESCOAMENTO EM TUBOS.

2.3.1.1 INTRODUÇÃO.

O escoamento de líquido através de tubos ou dutos normalmente é usado em redes de distribuição de fluidos. O fluido de tais aplicações em geral é forçado por um ventilador ou uma bomba a escoar através de uma seção de escoamento. Deve-se se atentar então ao atrito, que está diretamente relacionado à queda de pressão e à perda de carga durante o escoamento através de tubos e dutos. (ÇENGEL, et al., 2012)

Um sistema típico de tubulação envolve tubos de diâmetros diferentes conectados entre si por diversos acessórios para transportar o fluido, válvulas para controlar a vazão e bombas para pressurizar o fluido.

A velocidade do fluido de um tubo varia do zero na superfície, por conta da condição de não-eskorregamento, até o máximo no centro do tubo. No escoamento de fluidos é conveniente trabalhar com uma velocidade média, que permanece constante no escoamento incompressível quando a área de seção transversal do tubo for constante, como mostrado na Figura 2.11.

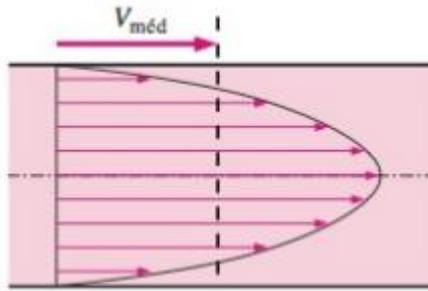


Figura 2.11. A velocidade média definida como a média da velocidade em toda uma seção transversal. Para o escoamento de tubo laminar totalmente desenvolvido, a velocidade média é metade da velocidade máxima.
Fonte: (ÇENGEL, et al., 2012).

O valor da velocidade média em alguma seção transversal da corrente é determinado pelo requisito de que o princípio da conservação da massa seja satisfeito. Ou seja:

$$\dot{m} = \rho V_{méd} A_c = \int_A \rho u(r) dA_c \quad (2.1)$$

Onde \dot{m} é a vazão de massa, ρ é a densidade, A_c é a área de seção transversal e $u(r)$ é o perfil de velocidade. Então a velocidade média do escoamento incompressível em um tubo circular de raio R pode ser expressa como:

$$V_{méd} = \frac{\int_A \rho u(r) dA_c}{\rho A_c} = \frac{\int_0^R \rho u(r) 2\pi r dr}{\rho \pi R^2} = \frac{2}{R^2} \int_0^R u(r) r dr \quad (2.2)$$

Assim, conhecendo a vazão ou o perfil de velocidade, a velocidade média pode ser determinada.

2.3.1.2 ESCOAMENTOS LAMINAR E TURBULENTO.

Fazendo a análise dos escoamentos em tubos, tem-se que o escoamento do fluido é aerodinâmico a baixas velocidades, caracterizando o regime de escoamento como laminar que tem linhas de corrente suaves e movimento altamente ordenado, mas torna-se caótico à medida que a velocidade sobe acima de um valor crítico, se tornando turbulento, caracterizado pelas flutuações de velocidade e pelo movimento altamente desordenado. O escoamento de transição do escoamento laminar para turbulento não ocorre repentinamente, ele ocorre em alguma região na qual o escoamento flutua entre os escoamentos laminar e turbulento antes de tornar-se totalmente turbulento. A maioria dos escoamentos encontrados na prática é turbulento. (ÇENGEL, et al., 2012)

A transição do escoamento laminar para turbulento depende da geometria, da rugosidade da superfície, da velocidade de escoamento, da temperatura da superfície e do tipo de fluido, entre outras coisas. Na década de 1880, Osborne Reynolds descobriu que o regime de escoamento depende principalmente da relação entre as forças inerciais e as forças viscosas do fluido. Essa relação é chamada de Número de Reynolds e é expressa para o escoamento interno em um tubo circular por:

$$Re = \frac{\text{Forças inerciais}}{\text{Forças viscosas}} = \frac{V_{méd} D}{\nu} = \frac{\rho V_{méd} D}{\mu} \quad (2.3)$$

Onde $V_{méd}$ é a velocidade média do escoamento (m/s), D é o comprimento característico da geometria (diâmetro neste caso, em m) e $\nu = \mu/\rho$ = viscosidade cinemática do fluido (m²/s). O número de Reynolds é uma quantidade adimensional.

Com números de Reynolds grandes, as forças inerciais, proporcionais à densidade do fluido e ao quadrado da velocidade do fluido, são grandes com relação às forças viscosas e, portanto, as forças viscosas não podem evitar as flutuações aleatórias e rápidas do fluido. Com números de Reynolds pequenos ou moderados, porém, as forças viscosas são suficientemente grandes para suprimir essas flutuações e manter o fluido “alinhado”. Assim, o escoamento é turbulento no primeiro caso e laminar no segundo.

O número de Reynolds no qual o escoamento torna-se turbulento é chamado de número de Reynolds crítico. A transição do escoamento laminar para o turbulento também depende do grau de perturbação do escoamento por rugosidade superficial, vibrações do tubo e flutuações do escoamento. Na maioria das condições práticas, o escoamento de um tubo circular se dá de acordo com o seguinte:

$Re \leq 2300$:	Escoamento laminar;
$2300 \leq Re \leq 4000$:	Escoamento de transição;
$Re \geq 4000$:	Escoamento turbulento.

2.3.1.3 A REGIÃO DE ENTRADA.

Considerando um fluido entrando em um tubo circular com velocidade uniforme, devido à condição de não-escorregamento, as partículas do fluido na camada em contato com a superfície do tubo param completamente. Essa camada também faz com que as partículas de fluido das camadas adjacentes gradualmente fiquem mais lentas como resultado do atrito. Para compensar essa redução da velocidade, a velocidade do fluido na seção média do tubo tem que aumentar para manter a vazão de massa através do tubo constante. Como resultado, um gradiente de velocidade se desenvolve ao longo do tubo. (ÇENGEL, et al., 2012)

A região do escoamento na qual o efeito das forças de cisalhamento viscosas causadas pela viscosidade do fluido é sentida é chamada de camada limite de velocidade, ou apenas camada limite. A superfície da fronteira hipotética divide o escoamento de um tubo em duas regiões: a região da camada limite, na qual os efeitos viscosos e as variações de velocidade são significativos, e a região de escoamento irrotacional, na qual os efeitos do atrito são desprezíveis e a velocidade permanece essencialmente constante na direção radial.

A espessura dessa camada limite aumenta na direção do escoamento até a camada limite atingir o centro do tubo e, portanto, preencher todo o tubo, como mostrado na Figura 2.12. A região da entrada do tubo até o ponto no qual a camada limite incorpora o eixo central é chamada de região de entrada hidrodinâmica, e o comprimento dessa região é chamado de comprimento de entrada hidrodinâmica. O escoamento na região da entrada é chamado de escoamento hidrodinamicamente em desenvolvimento, uma vez que essa é a região na qual o perfil de velocidade se desenvolve. A região além da região de

entrada na qual o perfil de velocidade está completamente desenvolvido e permanece inalterado é chamada de região hidrodinamicamente completamente desenvolvida. Diz-se que o escoamento é completamente desenvolvido quando o perfil de temperatura normalizado também permanece inalterado. O perfil de velocidade na região completamente desenvolvida é parabólico no escoamento laminar e um pouco mais plano (ou mais cheio) no escoamento turbulento devido ao movimento de redemoinho e à mistura mais vigorosa na direção radial. A média no tempo do perfil de velocidade permanece inalterada quando o escoamento é completamente desenvolvido.

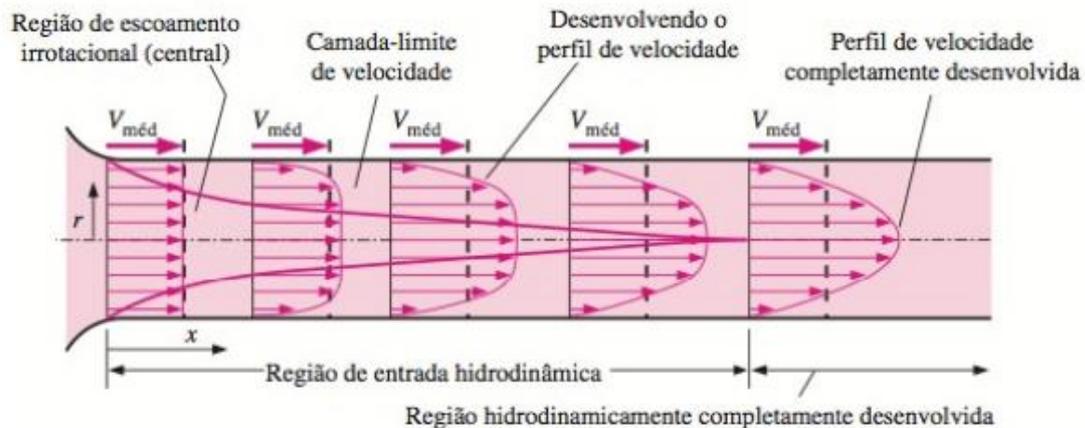


Figura 2.12. Desenvolvimento de camada limite da velocidade em um tubo. Fonte: (ÇENGEL, *et al.*, 2012).

2.3.1.4 ESCOAMENTO LAMINAR EM TUBOS.

Como já dito, o escoamento é laminar para $Re < 2300$ e que o escoamento é completamente desenvolvido se o tubo for suficientemente longo (com relação ao comprimento de entrada) de modo que os efeitos da entrada são desprezíveis.

No escoamento laminar completamente desenvolvido, cada partícula do fluido se move a uma velocidade axial constante ao longo de uma linha de corrente e o perfil de velocidade $u(r)$ permanece inalterado na direção do escoamento. Não há movimento na direção radial e, portanto, a componente da velocidade na direção normal ao escoamento é zero em toda parte. Não há aceleração, uma vez que o escoamento é estacionário e completamente desenvolvido.

Considerando um elemento de volume diferencial em forma de anel de raio r , espessura dr e comprimento dx orientado coaxialmente com o tubo, como mostrado na Figura 2.13.

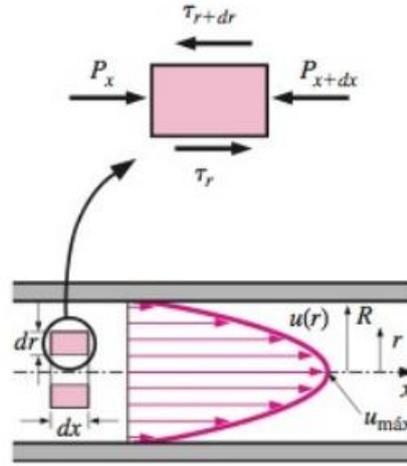


Figura 2.13. Diagrama de corpo livre de um elemento de fluido diferencial em forma de anel. Fonte: (ÇENGEL, et al., 2012).

O elemento de volume envolve apenas os efeitos da pressão e viscosos e, portanto, as forças de pressão e de cisalhamento devem se contrabalançar. A força de pressão agindo em uma superfície plana submersa é o produto da pressão no centroide da superfície pela área da superfície. Um balanço de força do elemento de volume na direção do escoamento resulta em:

$$(2\pi r dr P)_x + (2\pi r dr P)_{x+dx} + (2\pi r dx \tau)_r - (2\pi r dx \tau)_{r+dr} = 0 \quad (2.4)$$

Que indica que no escoamento completamente desenvolvido em um tubo horizontal, as forças viscosas e de pressão se contrabalançam. Dividindo por $2\pi r dr dx$ e reorganizando tem-se:

$$r \frac{P_{x+dx} - P_x}{dx} + \frac{(r\tau)_{r+dr} - (r\tau)_r}{dr} = 0 \quad (2.5)$$

Tomando o limite quando $dr, dx \rightarrow 0$ tem-se:

$$r \frac{dP}{dx} + \frac{d(r\tau)}{dr} = 0 \quad (2.6)$$

Substituindo $\tau = -\mu(du/dr)$ e tomando $\mu = \text{constante}$, tem-se a equação desejada:

$$\frac{\mu}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{du}{dr} \right) = \frac{dP}{dx} \quad (2.7)$$

A quantidade du/dr é negativa no escoamento do tubo, e o sinal negativo é incluído para obter valores positivos para τ .

A Equação 2.7 pode ser resolvida reorganizando e integrando duas vezes, resultando em:

$$u(r) = \frac{1}{4\mu} \left(\frac{dP}{dx} \right) + C_1 \ln r + C_2 \quad (2.8)$$

O perfil de velocidade $u(r)$ é obtido aplicando as condições de contorno $\partial u / \partial r = 0$ em $r = 0$ (por causa da simetria com relação ao eixo central) e $u = 0$ em $r = R$ (a condição de não-eskorregamento na superfície do tubo). Obtém-se então:

$$u(r) = -\frac{R^2}{4\mu} \left(\frac{dP}{dx} \right) \left(1 - \frac{r^2}{R^2} \right) \quad (2.9)$$

Portanto, o perfil de velocidade no escoamento laminar completamente desenvolvido de um tubo é parabólico com o máximo no eixo central e o mínimo (zero) na parede do tubo. Da mesma forma, a velocidade axial u é positiva para qualquer r e, portanto, o gradiente de pressão axial dP/dx deve ser negativo (ou seja, a pressão deve diminuir na direção do escoamento por conta dos efeitos viscosos).

A velocidade média é determinada da seguinte forma:

$$V_{méd} = \frac{2}{R^2} \int_0^R u(r)r \, dr = -\frac{2}{R^2} \int_0^R \frac{R^2}{4\mu} \left(\frac{dP}{dx}\right) \left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right) r \, dr = -\frac{R^2}{8\mu} \left(\frac{dP}{dx}\right) \quad (2.10)$$

Combinando as duas últimas equações, o perfil de velocidade é reescrito como:

$$u(r) = 2V_{méd} \left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right) \quad (2.11)$$

Essa é uma forma conveniente para o perfil da velocidade, uma vez que $V_{méd}$ pode ser determinada facilmente com as informações da vazão.

A velocidade máxima ocorre no eixo central e é determinada substituindo $r = 0$:

$$u_{máx} = 2V_{méd} \quad (2.12)$$

Assim a velocidade média do escoamento laminar completamente desenvolvido em um tubo é metade da velocidade máxima.

2.3.1.5 QUEDA DE PRESSÃO E PERDA DE CARGA.

Uma quantidade de interesse para a análise do escoamento do tubo é a queda de pressão ΔP uma vez que ela está diretamente relacionada aos requisitos de potência do ventilador ou da bomba para manter o escoamento. Observa-se que $dP/dx = \text{constante}$, e que a integração de $x = x_1$, onde a pressão é P_1 a $x = x_1 + L$, onde a pressão é P_2 resulta em:

$$\frac{dP}{dx} = \frac{P_2 - P_1}{L} \quad (2.13)$$

Substituindo a Equação 2.13 na expressão de $V_{méd}$, a queda de pressão pode ser expressa como:

$$\text{Escoamento laminar: } \Delta P = P_1 - P_2 = \frac{8\mu L V_{méd}}{D^2} \quad (2.14)$$

Na prática considera-se conveniente expressar a perda de pressão para todos os tipos de escoamentos internos completamente desenvolvidos (escoamentos laminar e turbulento, tubos circulares e não circulares, superfícies suaves ou rugosas, tubos horizontais ou inclinados) como mostrado na Figura 2.14.

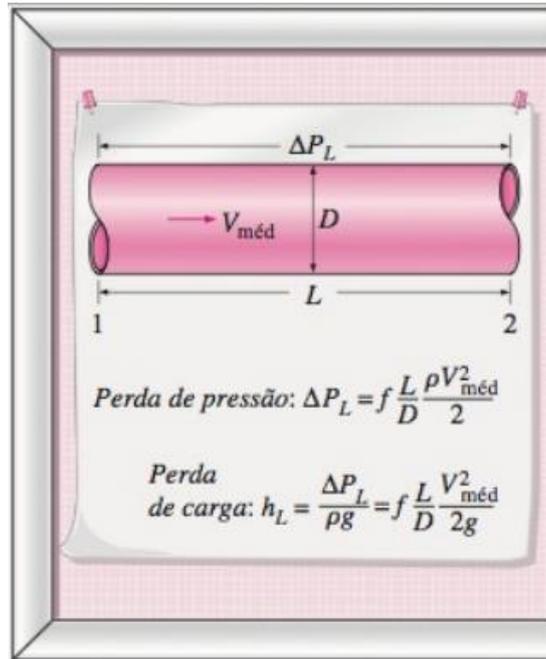


Figura 2.14. Relação da perda de pressão e perda de carga em tubos para escoamentos laminares ou turbulentos.
 Fonte: (ÇENGEL, et al., 2012)

Onde $\rho V_{méd}/2$ é a pressão dinâmica e f é o fator de atrito de Darcy-Weisbach:

$$f = \frac{8\tau_w}{\rho V_{méd}^2} \quad (2.15)$$

Igualando a equação da perda de pressão a do fator de atrito, tem-se o fator de atrito do escoamento laminar completamente desenvolvido em um tubo circular:

$$f = \frac{64\mu}{\rho D V_{méd}} = \frac{64}{Re} \quad (2.16)$$

Essa equação mostra que no escoamento laminar, o fator de atrito é uma função do número de Reynolds e é independente da rugosidade da superfície do tubo.

Na análise do sistema de tubos, as perdas de pressão normalmente são expressas em termos da altura equivalente da coluna de fluido, chamada de perda de carga J (ou h_L). Observando, da estática de fluidos que $\Delta P = \rho g h$ e que, portanto, uma diferença de pressão ΔP corresponde a uma altura de fluido de $h = \Delta P / \rho g$, a perda de carga do tubo é obtida pela divisão de ΔP_L por ρg resultando em:

$$\text{Perda de carga: } J = h_L = \frac{\Delta P_L}{\rho g} = f \frac{L}{D} \frac{V_{méd}^2}{2g} \quad (2.17)$$

A perda de carga representa a altura adicional à qual o fluido precisa ser elevado por uma bomba para superar as perdas por atrito do tubo. A perda de carga é causada pela viscosidade e está relacionada diretamente à tensão de cisalhamento na parede. A equação é válida para os escoamentos laminar e turbulento nos tubos circulares e não circulares.

2.3.1.6 ESCOAMENTO TURBULENTO EM TUBOS.

A maioria dos escoamentos encontrados na prática na engenharia é turbulento e, portanto, é importante entender como a turbulência afeta a tensão de cisalhamento da parede. Entretanto, o escoamento turbulento é um mecanismo complexo dominado por flutuações e, apesar da grande quantidade de trabalho realizada nessa área pelos pesquisadores, a teoria do escoamento turbulento permanece em grande parte não desenvolvida.

O escoamento turbulento é caracterizado por flutuações aleatórias e rápidas de regiões em redemoinho de fluido, chamadas de turbilhões, em todo o escoamento. Essas flutuações oferecem um mecanismo adicional para a quantidade de movimento e a transferência de energia. Como resultado, o escoamento turbulento é associado a valores muito mais altos de coeficientes de atrito, de transferência de calor e de transferência de massa.

Os valores instantâneos da velocidade flutuam com relação a um valor médio, o que sugere que a velocidade pode ser expressa como a soma de um valor médio \bar{u} e uma componente flutuante u' :

$$u = \bar{u} + u' \quad (2.18)$$

O valor médio de uma propriedade em algum local é determinado pela média ao longo de um intervalo de tempo que seja suficientemente grande para que a média de tempo se equipare a uma constante. Assim, a média no tempo das componentes flutuantes é zero, isto é, $u' = 0$. No escoamento turbulento com média temporal estacionária, os valores médios das propriedades são independentes do tempo. As flutuações caóticas das partículas do fluido têm um papel dominante na queda da pressão, e esses movimentos aleatórios devem ser levados em conta na análise juntamente com a velocidade média.

Deve-se então pensar em duas partes para a tensão de cisalhamento turbulento: a componente laminar, que contribui para o atrito entre as camadas na direção do escoamento (expresso por $\tau_{lam} = -\mu d\bar{u}/dr$) e a componente turbulenta, que representa o atrito entre as partículas do fluido flutuante e o corpo do fluido (denotado por τ_{turb} e relacionado às componentes de flutuação da velocidade). Assim a tensão de cisalhamento total no escoamento turbulento pode ser expressa por:

$$\tau_{total} = \tau_{lam} + \tau_{turb} \quad (2.19)$$

O perfil típico da velocidade média e os valores relativos das componentes laminar e turbulenta da tensão de cisalhamento para o escoamento turbulento em um tubo são dados na Figura 2.15.

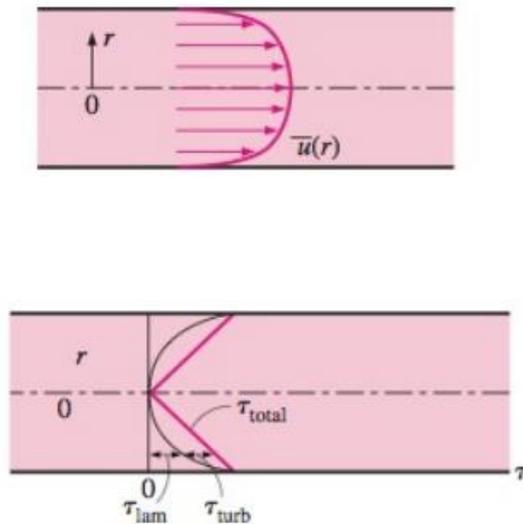


Figura 2.15. Perfil de velocidade e a variação da tensão de cisalhamento com a distância radial do escoamento turbulento em um tubo. Fonte: (ÇENGEL, *et al.*, 2012).

Embora o perfil de velocidade seja aproximadamente parabólico no escoamento laminar, ele se torna mais achatado ou “mais cheio” no escoamento turbulento, com uma queda brusca próxima à parede do tubo. Esta característica aumenta com o número de Reynolds e o perfil de velocidade torna-se mais próximo do uniforme, justificando a aproximação usual do perfil de velocidade uniforme no escoamento de tubo turbulento completamente desenvolvido.

2.3.1.7 DIAGRAMA DE MOODY.

O fator de atrito no escoamento turbulento e totalmente desenvolvido em um tubo depende do número de Reynolds e da rugosidade relativa ε/D , que é a razão entre a altura média da rugosidade do tubo e o diâmetro do tubo. A forma funcional dessa dependência não pode ser obtida de uma análise teórica, e todos os resultados disponíveis são obtidos de experimentos meticulosos usando superfícies artificialmente enrugadas. A maioria dos experimentos foi realizada por J. Nikuradse. O fator de atrito foi calculado com medições da vazão e da queda da pressão.

Os resultados experimentais obtidos são apresentados nas formas tabular, gráfica e funcional obtidas pelo ajuste de curva de dados experimentais. Em 1939, Cyril F. Colebrook combinou dados disponíveis para o escoamento de transição e o escoamento turbulento, tanto em tubos lisos quanto em tubos rugosos na seguinte relação implícita conhecida como equação de Colebrook:

$$\text{Escoamento turbulento: } \frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{2,51}{Re \sqrt{f}} + \frac{\varepsilon}{3,71D} \right) \quad (2.20)$$

Em 1942, o engenheiro norte-americano Hunter Rouse confirmou a equação de Colebrook e produziu um gráfico de f como função do Re e do produto $Re\sqrt{f}$. Dois anos mais tarde, Lewis F. Moody recriou o diagrama de Rouse na forma que é usado hoje. O Diagrama de Moody para determinação do fator de atrito é dado no Anexo I. Ele apresenta o fator de atrito de Darcy para o escoamento de tubo

como uma função do número de Reynolds e de ε/D em um amplo intervalo. Valores de rugosidade característica dependem do material do conduto e são dados de acordo com a Tabela 2-1.

Tabela 2-1. Valores da rugosidade característica. Fonte: (DOCA, 2014)

Material do Conduto	ε (mm)	Material do Conduto	ε (mm)
Concreto:		Aço soldado:	
Rugoso	0,40 a 0,60	Revest. Concreto	0,05 a 0,15
Granular	0,18 a 0,40	Revest. Esmalte	0,01 a 0,30
Centrifugado	0,15 a 0,50	Aço rebitado	
Liso	0,06 a 0,18	Revest. Asfalto	0,9 a 1,8
Muito liso	0,015 a 0,06	Aço Galvanizado	
Ferro:		Novo sem Costura	0,06 a 0,15
Forjado enferrujado	0,15 a 3,00	Novo com costura	0,15 a 0,20
Galvanizado ou fundido revestido	0,06 a 0,30	Fibrocimento	0,015 a 0,025
Fundido não revestido novo	0,25 a 1,00	Latão, cobre, chumbo	0,004 a 0,01
Fundido com corrosão	1,00 a 1,50	Alumínio	0,0015 a 0,005
Fundido obstruído	0,30 a 1,50	PVC, Polietileno	0,06
Fundido muito corroído	até 3,00	Cerâmica	0,06 a 0,6
Revestido com Asfalto	0,30 a 0,90	Teflon	0,01
Revestido com Cimento	0,05 a 0,15	Fiberglass	0,0052
		Madeira aparelhada	0,18 a 0,9

Além do Diagrama de Moody, pode-se utilizar uma relação explícita aproximada dada por S. E. Haaland e, 1983 para se determinar o fator de atrito para escoamentos turbulentos:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -1,8 \log \left[\frac{6,9}{Re} + \left(\frac{\varepsilon/D}{3,71} \right)^{1,11} \right] \quad (2.21)$$

2.3.2 ANÁLISE DE PERDA DE CARGA TOTAL DO SISTEMA.

Examinando o comportamento do escoamento dos fluidos nos tubos será possível distinguir dois tipos de perda de carga: (FRANÇA FILHO, 2013)

Perdas de carga distribuídas ou contínuas: acontece ao longo dos tubos retos, de seção constante, devido ao atrito das próprias partículas do fluido entre si. É uniforme em qualquer trecho da tubulação, independentemente da posição do mesmo. A perda só será considerável se houver trechos relativamente longos de condutos, pois o atrito só acontecerá de forma distribuída ao longo deles.

Perdas de carga localizadas ou singulares: causadas pelo movimento do fluido nas paredes internas e emendas das conexões e acessórios da instalação, sendo maiores quando localizadas nos pontos de mudança de direção de fluxo. Estas perdas não são uniformes, mesmo que as conexões e acessórios possuam o mesmo diâmetro.

Na figura a seguir tem-se uma instalação onde serão indicados os tipos de perdas que irão acontecer.

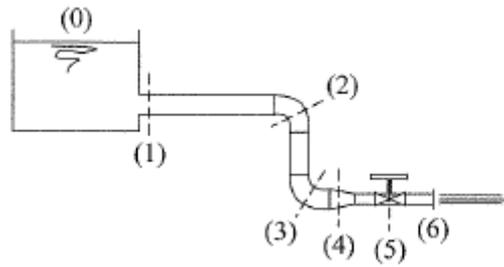


Figura 2.16. Instalação com trechos evidenciando as perdas de carga. Fonte: (BRUNETTI, 2008).

Entre (1) e (2), (2) e (3), (3) e (4), (4) e (5), (5) e (6), existem perdas distribuídas.

Em (1) estreitamento brusco, (2) e (3) cotovelos, (4) estreitamento, (5) válvula, existem perdas localizadas.

Um método para a determinação das perdas localizadas é o dos comprimentos equivalentes. Utilizando o conceito de comprimento equivalente do tubo, pode-se simplificar também o cálculo da perda de carga total do sistema. O comprimento equivalente (L_{eft}) é o comprimento de um conduto fictício que causa uma perda de carga linear igual à perda na singularidade. Soma-se esse comprimento equivalente das conexões ao comprimento total dos tubos. Segundo isso, a Fórmula de Darcy-Weissbach tomará a seguinte forma:

$$J = f \cdot \frac{L_{eft} \cdot V^2}{2 \cdot g \cdot D} \quad (2.22)$$

Para a maioria das válvulas e conexões usadas nas tubulações são definidos valores típicos dos comprimentos equivalentes, obtidos a partir de ensaios de laboratório. Várias tabelas e formulações empíricas são utilizadas para definir tais valores apresentados na norma ABNT NBR 5626:1982.

No Anexo II, tem-se vários tipos de conexões de materiais diferentes especificando o diâmetro nominal e a equivalência em metros de canalização.

2.3.3 DETERMINAÇÃO DO DIÂMETRO HIDRÁULICO.

Deve-se selecionar as tubulações que atendam a condição de conduzir o fluido numa condição econômica de transporte. Isso pode ser realizado usando a equação a seguir.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot V(Q, D)}} = 1,128 \cdot \sqrt{\frac{Q}{V_{economica}}} \quad (2.23)$$

Toma-se o maior valor possível para a vazão (Q). Onde D é o diâmetro nominal do tubo. A velocidade econômica é tabelada de acordo com o fluido conduzido, em qual aplicação é utilizada e qual o material da tubulação. No Anexo III, tem-se valores recomendados de velocidades econômicas.

Encontra-se então o valor do diâmetro nominal para tal velocidade econômica. Seleciona-se então classes de tubos que podem ser utilizados. Definida a classe, é necessário avaliar se a velocidade do escoamento nele é econômica. Dessa forma, calcula-se o valor da velocidade utilizando o diâmetro da classe encontrada. Se a velocidade calculada for superior à velocidade econômica, significa que o

tubo não é adequado. Como regra geral, o diâmetro final escolhido deverá ser aquele que garantir uma velocidade no limite inferior da faixa das velocidades econômicas, ou imediatamente abaixo.

Essa metodologia deve ser adotada no caso de tubulações de pequeno comprimento, principalmente quando as mesmas forem compostas por muitas singularidades (causadoras de perdas secundárias).

Para tubulações longas, deve ser utilizado o procedimento do cálculo do diâmetro hidráulico por perda de carga, que é o caso para o sistema de captação de águas pluviais.

2.3.4 ANÁLISE HIDRÁULICA DA PERDA DE CARGA E ENERGIA DISPONÍVEL.

Determinadas as equações básicas que correlacionam as condições do escoamento entre dois pontos (Equação de Bernoulli), e um modelo constitutivo que quantifica a perda de energia hidráulica ao longo do trecho que une esses dois pontos (Equação de Darcy-Weissbach), obtém-se a seguinte relação:

$$\left(\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2 \cdot g} + H_1 \right) - \left(\frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2 \cdot g} + H_2 \right) = f \cdot \frac{L_{eft} \cdot V^2}{2 \cdot g \cdot D} \quad (2.24)$$

Como pode-se observar da Equação 2.24, na maioria dos casos, o dimensionamento da tubulação é um problema hidráulico em função:

- Da vazão necessária do fluido;
- Das diferenças de cotas existentes;
- Das pressões disponíveis;
- Das velocidades e perdas de carga admissíveis;
- Da natureza do fluido;
- Do material e tipo da tubulação;

Porém, todos esses parâmetros podem ser assumidos como condições de contorno e a determinação do diâmetro é feita em função do cálculo da velocidade e das perdas de carga decorrentes do escoamento do fluido, com exceção de tubos curtos (diâmetro do bocal do equipamento) e para vazões pequenas (vão entre os suportes).

O aumento de perda de energia durante o escoamento (perda de carga) é proporcional ao aumento da velocidade de escoamento.

A base do dimensionamento hidráulico está relacionada a pior condição possível de uso da tubulação, o que implica em:

- Maior valor possível da vazão, Q;
- Menor diferença de pressões ($P_1 - P_2$);
- Condições termodinâmicas que resultem nos maiores valores de ν (viscosidade cinemática) e P_v (pressão de vapor na temperatura de operação).

Para tubulações que ligam reservatórios a diferença de pressão ($P_1 - P_2$) dependerá das pressões reinantes em cada ambiente e dos níveis estáticos do líquido.

O procedimento de cálculo é o seguinte:

- 1) Arbitra-se um certo valor para o diâmetro – uma boa estimativa pode ser feita utilizando-se do cálculo hidráulico com base na velocidade econômica;
- 2) Estima-se o comprimento equivalente da tubulação (L_{eqv}), que é o comprimento total do tubo mais os comprimentos equivalentes de todas as conexões;
- 3) Com base no estado do fluido nos pontos 1 e 2, determina-se a energia disponível no sistema considerando uma das seguintes relações:

a. Para tubulações ligadas a recalque de uma bomba, ou de uma tubulação cujo escoamento se dê por diferença de altura ou de pressões:

i. Se o diâmetro da tubulação for o mesmo:

$$\left(\frac{P_1}{\gamma} - \frac{P_2}{\gamma}\right) + (H_1 - H_2) = \Delta E_{1,2} \quad (2.25)$$

ii. Se o diâmetro variar:

$$\left(\frac{P_1}{\gamma} - \frac{P_2}{\gamma}\right) + (H_1 - H_2) + \frac{V_1^2}{2 \cdot g} \left(1 - \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^4\right) = \Delta E_{1,2} \quad (2.26)$$

b. Para tubulações ligadas a sucção de bombas:

$$\left(\frac{P_a}{\gamma}\right) - \left[(Y_1 - Y_2) + \frac{P_v}{\gamma} + NPSH\right] = \Delta E_{1,2} \quad (2.27)$$

- Onde P_a é a pressão no nível livre de montante, NPSH é a pressão absoluta mínima por unidade de peso, P_v é a pressão de vapor do líquido na temperatura máxima de operação e γ é o peso específico do líquido.

- 4) Com base em D, Q, tipo de duto (materiais, condições de uso, etc.) e L_{eqv} , determina-se perda de carga, $J_{1,2}$, ao longo do trajeto que liga os pontos 1 e 2;

a. Para escoamento laminar ($Re < 2300$), pela Fórmula de Poiseuille:

$$J_{1,2} = \frac{32 \cdot L \cdot \nu}{g \cdot D^2} \quad (2.28)$$

b. Para escoamento turbulento ($Re > 4000$), pela fórmula de Darcy:

$$J_{1,2} = \frac{f \cdot L_{eqv} \cdot V^2}{2 \cdot g \cdot D} \quad (2.29)$$

- 5) Compara-se os valores obtidos para $\Delta E_{1,2}$ e $J_{1,2}$.

a. Se $J_{1,2}$ for menor que $\Delta E_{1,2}$, o escoamento do líquido na tubulação com o diâmetro que foi arbitrado terá uma vazão maior que a suposta, ou o líquido atingirá o ponto 2 com uma pressão superior à admitida inicialmente.

i. Isso significa que o diâmetro foi superdimensionado para as condições de escoamento desejadas.

b. Se $J_{1,2}$ for maior que $\Delta E_{1,2}$, o escoamento do líquido na tubulação com o diâmetro arbitrado terá uma vazão menor que a suposta, ou o líquido atingirá o ponto 2 com uma pressão menor à admitida inicialmente.

- i. Isso significa que o diâmetro foi subdimensionado para as condições de escoamento desejadas.
- 6) Caso a tubulação tenha ficado muito sub ou superdimensionada deve-se repetir os cálculos arbitrando-se um diâmetro imediatamente maior ou menor, até que se encontre uma diferença mínima entre os valores de $\Delta E_{1,2}$ e $J_{1,2}$.

2.4 DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL – METODOLOGIA.

Para se fazer o projeto de tubulações, tem-se que considerar também a tubulação como um elemento estrutural que está sujeita a ação de cargas. (TELLES, 2001)

Os esforços atuantes nas tubulações podem ser classificados como:

- 1) Cargas de serviço: são as cargas originadas pelas forças mecânicas presentes na operação normal do sistema. Como por exemplo:
 - a. Pressão: interna ou externa;
 - b. Pesos: do tubo, do fluido, dos acessórios;
 - c. Dilatações térmicas: devido à variação de temperatura;
- 2) Cargas ocasionais: são as cargas que atuam em raros intervalos durante a operação do sistema. Compreendem os esforços devido:
 - a. A atividades sísmicas;
 - b. Ao vento;
 - c. A vibrações transientes;
 - d. A manobras de válvulas, entre outros;
- 3) Cargas de expansão: são as cargas originadas do deslocamento da tubulação na expansão térmica do sistema, tensões de montagem, entre outros.

Podem ser adotadas algumas medidas para evitar ou atenuar as cargas. Como por exemplo: (TELLES, 2001)

- Adotar vãos adequados entre os suportes;
- Colocar cargas concentradas próximas dos suportes;
- Limitar as sobrecargas;
- Colocar tubos enterrados na profundidade apropriada;
- Dar flexibilidade adequada ao sistema;
- Colocar guias e contraventos;
- Absorver as vibrações (amortecedores, ancoragens ou juntas);
- Diminuir o atrito nos suportes;
- Executar a montagem com cuidado;
- Construir as fundações com cuidados para minimizar recalques.

Na prática para o projeto, faz-se os cálculos das cargas predominantes, adotando-se tensões admissíveis menores para compensar os esforços não considerados.

Definidas as cargas atuantes sobre o tubo, deve ser feita a análise de tensões nas paredes desse tubo.

A Figura 2.17 mostra as tensões atuantes nas paredes de um tubo.

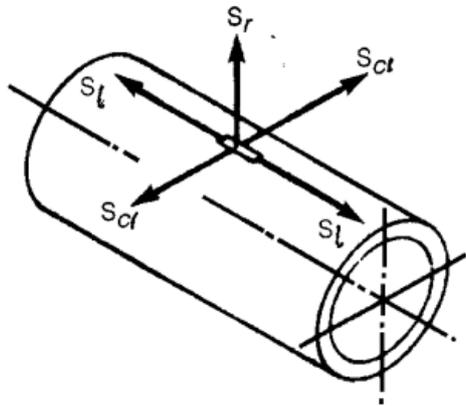


Figura 2.17. Tensões atuantes nas paredes do tubo. Fonte: (TELLES, 2001).

Onde:

- A componente S_l é a tensão longitudinal, que é de tração ou compressão. Ela tende a romper o tubo segundo uma circunferência. É causada por pressão, momentos fletores e cargas axiais.
- A componente S_{ci} é a tensão circunferencial e tende a romper o tubo longitudinalmente. É causada por pressão (geralmente é a tensão predominante) ou por achatamento do tubo.
- A componente S_r é a tensão radial e é causada por pressão (valor muito pequeno – costuma ser desprezada).

Analisando os efeitos das cargas de serviço para pressões internas, tem-se:

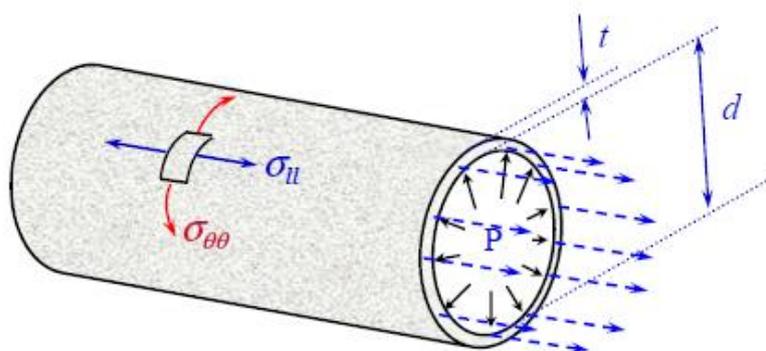


Figura 2.18. Efeito das cargas de serviço – Pressão interna. Fonte: (DOCA, 2014).

Onde: t é a espessura da parede, d é o diâmetro interno do tubo, $\sigma_{ll} = S_l$ é a tensão longitudinal e $\sigma_{\theta\theta} = S_{ci}$ é a tensão circunferencial.

Fazendo agora a análise dos efeitos das cargas de serviço para os pesos, tem-se o seguinte:

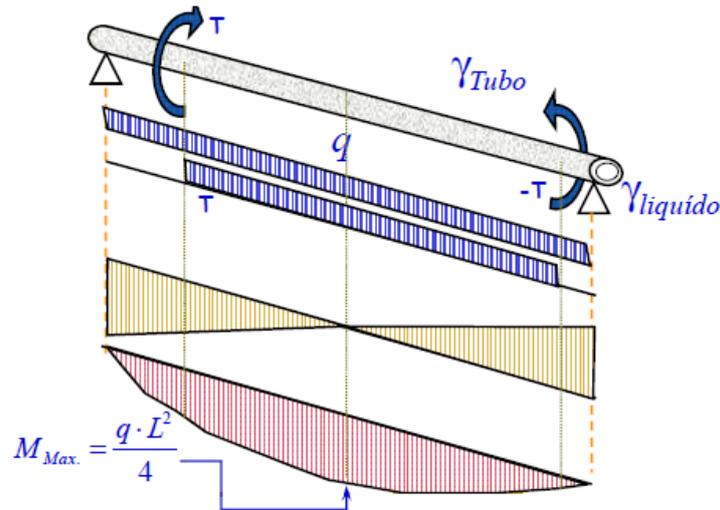


Figura 2.19. Efeito das cargas de serviço – Pesos. Fonte: (DOCA, 2014).

Portanto, tem-se uma tensão devido a esse momento fletor máximo ($\sigma_{f\ max}$) e uma tensão de cisalhamento devido ao momento torsor no tubo ($\tau_{i\theta}$).

Tem-se então as seguintes tensões:

- Tensão normal circunferencial:

$$\sigma_{\theta\theta} = \frac{P \cdot d}{2 \cdot t} \quad (2.30)$$

- Tensão normal longitudinal:

$$\sigma_{ll} = \frac{P \cdot d}{4 \cdot t} + \sigma_{f\ max} = \frac{P \cdot d}{4 \cdot t} + \frac{32 \cdot (d + 2 \cdot t)^4 \cdot M_{max}}{\pi \cdot ((d + 2 \cdot t)^4 - d^4)} \quad (2.31)$$

- Tensão de cisalhamento:

$$\tau_{i\theta} = \frac{16 \cdot T \cdot D}{\pi \cdot (D^4 - d^4)} \quad (2.32)$$

Pelo círculo de Mohr, calcula-se então as tensões principais mínima e máxima e a máxima tensão de cisalhamento.

- Tensões principais:

$$\sigma_{A,B} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad (2.33)$$

- Máxima tensão cisalhante:

$$\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad (2.34)$$

Utiliza-se então algum critério de falha para identificar as condições de falha do componente e encontrar a tensão admissível. Pode-se utilizar um dos critérios de falha a seguir:

- Máxima Tensão Cisalhante – Tresca;

- Máxima Energia de Distorção – von Mises;
- Máxima Tensão Normal.

Com a tensão admissível é possível analisar o Fator de Segurança necessário para não ocorrer falhas. Para isso é utilizado como parâmetro o limite de resistência considerando um modo específico de falha. A Equação (29) mostra a seguir:

$$\sigma_{adm} = \frac{\text{Limite de resistência considerando um modo específico de falha}}{\text{Fator de segurança}} \quad (2.35)$$

É necessário considerar alguns fatores importantes na hora de definir o Fator de Segurança:

- Tipo de material (dúctil ou frágil);
- Critério de cálculo (abstrações e simplificações);
- Tipo de carregamento (estático ou dinâmico);
- Variações nas condições de operação;
- Incerteza nas qualidades do material;
- Grau de risco à comunidade (ambiental, saúde).

Quando há uma alteração de forma, dimensões ou propriedades mecânicas, tornando um componente incapaz de desempenhar as funções para o qual foi projetado, é definido que há uma falha desse componente. (Shigley, 2005)

Dessa forma, modo de falha é uma possível forma de um componente falhar. Tem-se vários modos de falha, entre eles:

- Escoamento;
- Fadiga;
- Desgaste;
- Flambagem;
- Fluência;
- Fratura.

As tensões são classificadas de acordo com as normas internacionais. A ASME (American Society of Mechanical Engineering) é a responsável pela norma ASME B31 – Code for Pressure Piping, que é a mais completa e abrangente norma sobre tubulações industriais.

Conforme descrito, uma tubulação pode falhar por diversos motivos. Buscando uniformizar as falhas e suas causas, os órgãos responsáveis criaram normas para classificar as tensões com relação a sua origem e ao tipo de falha. De uma forma geral são classificadas como:

- 1) Primárias: responsáveis por deformações e rupturas de caráter plástico. São geradas pela imposição de cargas mecânicas. Os esforços geradores destas são as componentes da tensão circunferencial, longitudinal devido à pressão interna, e as de flexão e torção induzidas pelo peso próprio, sobrecargas diversas, entre outros. O nível de tensões primárias é um indicativo da capacidade real de um sistema de tubulações resistir, com segurança, às cargas impostas.

- 2) Secundárias: responsáveis pela ocorrência de falhas em situações de instabilidade plástica. São produzidas em uma estrutura quando esta tem restringida à sua movimentação (resultante da expansão térmica). Não causam falhas em materiais dúcteis no caso de imposição de cargas simples. Se o limite de escoamento do material for excedido, ocorre somente uma deformação plástica localizada.
- 3) De pico: são as cargas cíclicas causadoras de falhas por fadiga. Praticamente não geram deflexão, e por isso alcançam altos valores. São geradas por gradientes térmicos em paredes do tubo, ou por concentradores de tensões tais como conexões ou pontos de solda.

A norma ASME B31 também define como deve ser calculado a espessura de parede do tubo (t):

$$t = \frac{P \cdot D}{2 (S_h \cdot E + P \cdot Y)} + C \quad \text{ou} \quad t = \frac{P \cdot d}{2 (S_h \cdot E + P \cdot Y - P)} + C \quad (2.36)$$

Onde:

- P = pressão interna de projeto;
- D = diâmetro externo;
- d = diâmetro interno;
- S_h = tensão admissível do material na temperatura de projeto;
- E = coeficiente de eficiência de solda:
 - E = 1,00: para tubos sem costura e tubos com costura por solda de topo, totalmente radiografada;
 - E = 0,90: para tubos com costura por solda de topo, radiografia parcial;
 - E = 0,85: tubos com costura por solda de topo, sem radiografia, solda pelos dois lados;
 - E = 0,80: tubos com costura por solda de topo, sem radiografia, solda só por um lado.
- Y = coeficiente de redução de acordo com o material e a temperatura:
 - Y = 0,40: para tubos de aço carbono e outros ferríticos, em temperatura de até 485 °C;
 - Y = 0: para tubos de ferro fundido.
- C = soma da sobre espessura para corrosão, erosão e abertura de roscas (produto da taxa anual de corrosão pelo número de anos da vida útil, para tubulações em geral, toma-se de 10 a 15 anos de vida útil). Para o aço carbono e aços de baixa liga, considera-se:
 - Sobre espessura: 1,2 mm como valor mínimo para sobre espessura de corrosão;
 - Sobre espessura: 2,0 mm em serviços de média corrosão;
 - Sobre espessura: até 4,0 mm em serviços de alta corrosão.

2.5 DIMENSIONAMENTO MECÂNICO (FLEXIBILIDADE) – METODOLOGIA.

Supondo um tubo reto fixado nos dois extremos. Se ele sofrer um aumento de temperatura, como ele não pode dilatar, exercerá um empuxo sobre os pontos de fixação.

O valor deste empuxo será equivalente à força de compressão, capaz de comprimir um tubo de comprimento igual.

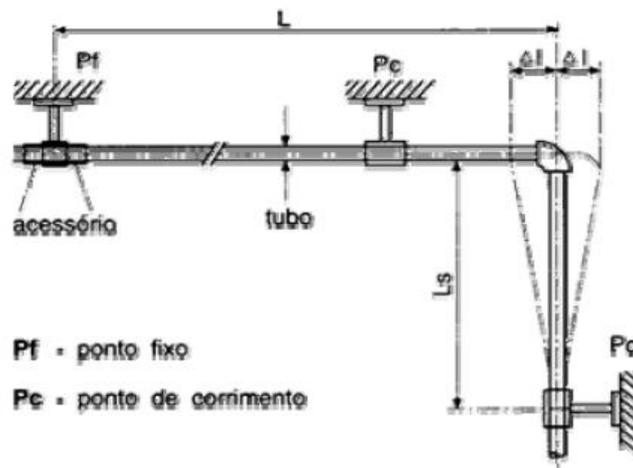


Figura 2.20. Tubo reto fixado nos dois extremos. Fonte: (TELLES, 2001).

Tomando como base a expressão da Lei de Hooke e a expressão para a Expansão Linear de Elementos Esbeltos, tem-se a tensão resultante para tubulações em que as extremidades estiverem totalmente restritas:

$$\frac{F}{A} = E \cdot \alpha \cdot \Delta T \therefore \sigma = E \cdot \alpha \cdot \Delta T \quad (2.37)$$

Onde:

- F = esforços sobre os pontos de fixação;
- A = área de material da seção transversal do tubo;
- E = módulo de elasticidade do material;
- α = coeficiente linear de dilatação térmica;
- $\Delta T = (T_f - T_i)$ = variação térmica do tubo.

Tem-se alguns meios para controlar a dilatação térmica:

- 1) Trajeto da tubulação afastando-se da linha reta;
- 2) Uso de elementos deformáveis intercalados na tubulação;
- 3) Pré-tensionamento.

A flexibilidade de uma tubulação é definida pela sua capacidade de absorver as dilatações térmicas por meio de simples deformações nos seus diversos trechos.

Diz-se que uma tubulação é tanto mais flexível quanto menores forem as tensões provenientes dessas deformações.

Uma tubulação tem flexibilidade quando as tensões resultantes das dilatações térmicas forem menores que os valores máximos admissíveis.

Para qualquer tubulação, a flexibilidade será tanto maior quanto menor for o momento de inércia da seção transversal do tubo (quanto menores forem o diâmetro e a espessura da parede do tubo).

Os movimentos dos pontos extremos podem agravar ou atenuar o efeito da dilatação térmica (é preciso analisar o efeito causado pelo movimento do bocal do equipamento juntamente com o cálculo das tensões resultantes).

Na Figura 2.21, onde L_1 é maior que L_3 , em relação ao deslocamento do ponto D, tem-se:

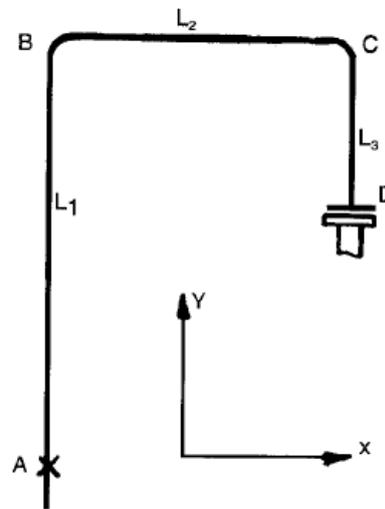


Figura 2.21. Percurso de tubulações. Fonte: (TELLES, 2001).

- Se o ponto D mover-se para cima, o seu deslocamento deverá ser subtraído da dilatação total na direção y, o que aumentaria as tensões atuantes no sistema.
- Se, pelo contrário, o ponto D mover-se para baixo, o valor desse deslocamento deverá ser somado à dilatação na direção de y.

Para se fazer a análise de flexibilidade é feito o cálculo das tensões internas e das reações nos pontos de restrição dos movimentos provenientes das dilatações térmicas.

O cálculo é feito separadamente para cada trecho de tubulação entre dois pontos de ancoragem.

O cálculo da flexibilidade é um método de verificação e não de dimensionamento direto, ou seja, desenha-se uma determinada configuração e, em seguida, verifica-se a flexibilidade.

Se as tensões ou reações ou as reações estiverem acima dos valores admissíveis, duas soluções podem ser analisadas, na seguinte ordem:

- 1) Suprimir os dispositivos de restrição de movimento que puderem ser dispensados, e/ou modificar o tipo ou a localização destes dispositivos:
 - a. Suprimir os dispositivos de restrição que não sejam realmente indispensáveis;
 - b. Substituir uma ancoragem por uma guia ou um batente;
 - c. Modificar a posição de uma ancoragem, uma guia ou um batente;
 - d. Substituir um suporte móvel por um suporte fixo.
- 2) Alterar a configuração por outra mais flexível:
 - a. Diminuir as desproporções entre os diversos lados;
 - b. Melhorar a simetria do traçado;

- c. Aumentar o comprimento total da tubulação;

Tem-se vários métodos para análise de flexibilidade, entre eles:

- 1) Métodos Aproximados:
 - a. Viga em Balanço Guiada;
 - b. Análise Pelo Centróide;
 - c. Método Analítico Geral Simplificado.
- 2) Métodos Gráficos ou Diretos:
 - a. Método Gráfico Kellogg;
 - b. Método Grinnell;
- 3) Método Numérico – Elementos Finitos.

O método mais utilizado é o método da viga em balanço guiada. Ele pode ser aplicado para quaisquer configurações, planas ou espaciais desde que satisfaçam as seguintes condições:

- Todos os lados sejam retos e paralelos a uma das três direções ortogonais;
- Todos os lados façam ângulos retos entre si;
- Todos os lados sejam constituídos por tubos de mesmo material e mesmo momento de inércia (mesmo diâmetro e mesma espessura de parede);
- O sistema tenha somente dois pontos de fixação, situados em seus extremos, e nenhuma restrição intermediária.

As hipóteses simplificadoras do método são as seguintes:

- 1) Todos os lados se deslocam sem que haja deformações ou rotações nos ângulos, que permanecem retos com os lados paralelos. Isto é, os lados se deformam como se fossem vigas em balanço com os extremos guiados.
- 2) A dilatação total que se dá em cada uma das direções ortogonais, isto é a soma das dilatações dos lados paralelos a essa direção, é integralmente absorvida pela flexão dos lados paralelos às outras duas direções ortogonais.
- 3) Não são levadas em consideração as torções que se dão nos diversos lados de uma configuração tridimensional.

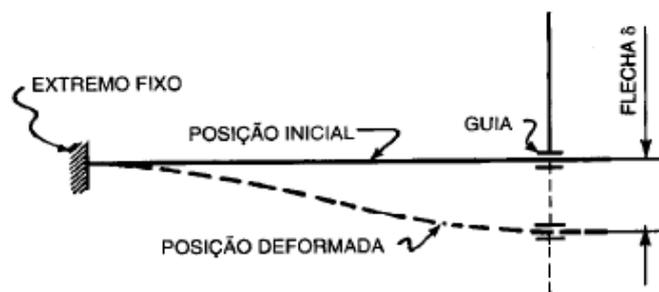


Figura 2.22. Esquema demonstrando as hipóteses. Fonte: (TELLES, 2001).

Os resultados em geral são conservativos (valores obtidos superiores aos valores efetivos).

Tem-se várias formas para a análise da flexibilidade pelo método da viga em balanço guiada, dependendo da configuração da tubulação:

- 1) Configuração em L simples, ancorada nos dois extremos:

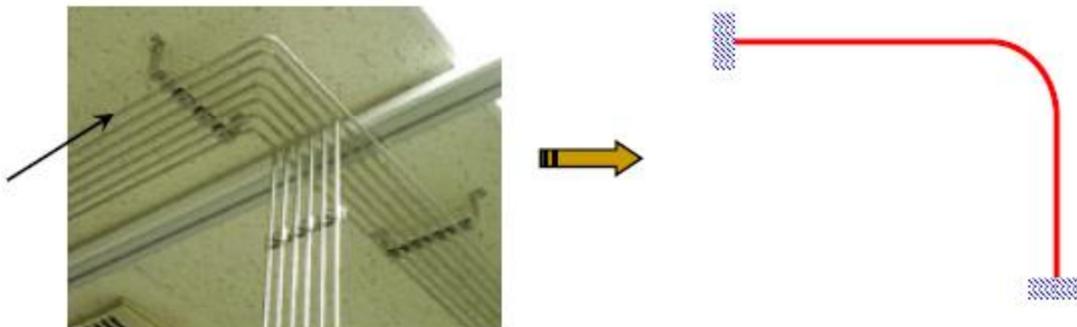


Figura 2.23. Estrutura real à esquerda e modelo idealizado à direita. Fonte: (DOCA, 2014).

- 2) Configuração em U, ancorada nos dois extremos:

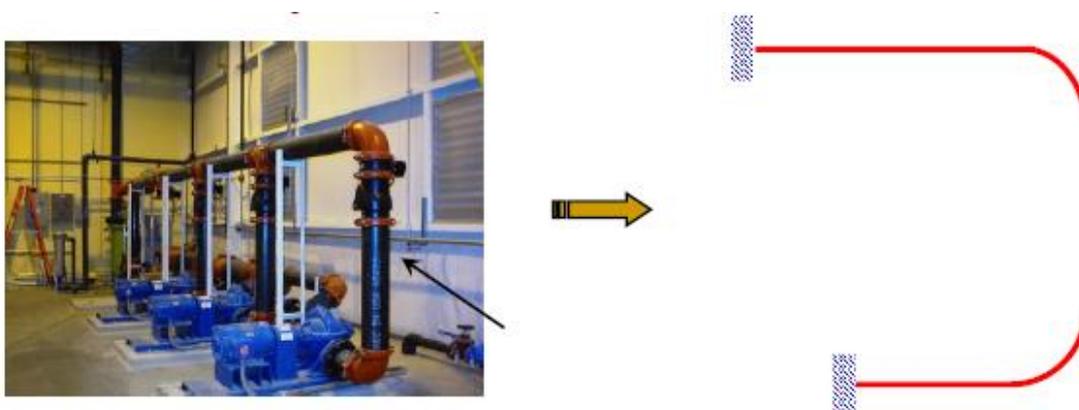


Figura 2.24. Estrutura real à esquerda e modelo idealizado à direita. Fonte: (DOCA, 2014).

- 3) Caso geral:

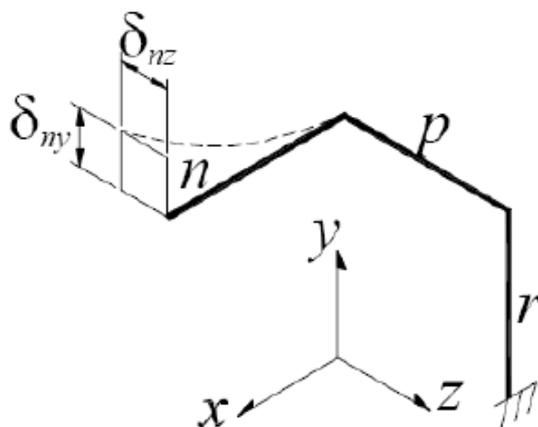


Figura 2.25. Configuração usada para o caso geral tubulações. Fonte: (DOCA, 2014).

Será utilizado o caso geral para a análise de flexibilidade nas tubulações do sistema de captação de águas pluviais.

Nesse caso, cada lado do sistema estará submetido simultaneamente a duas flexões cujas flechas são paralelas às duas direções ortogonais perpendiculares à direção do lado considerado. Assim, um lado qualquer N, paralelo a direção x, estará submetido a duas flechas, uma δ_{ny} na direção y, e outra δ_{nz} na direção z.

O procedimento para o cálculo da flexibilidade é o seguinte:

1) Determinação das deflexões nas extremidades dos tubos:

- Lado n:

$$\delta_{ny} = \frac{L_n^3 \cdot \Delta_y}{\sum L_x^3 + \sum L_z^3} \text{ e } \delta_{nz} = \frac{L_n^3 \cdot \Delta_z}{\sum L_x^3 + \sum L_y^3} \quad (2.38)$$

- Lado p:

$$\delta_{px} = \frac{L_p^3 \cdot \Delta_x}{\sum L_y^3 + \sum L_z^3} \text{ e } \delta_{py} = \frac{L_p^3 \cdot \Delta_y}{\sum L_x^3 + \sum L_z^3} \quad (2.39)$$

- Lado r:

$$\delta_{rx} = \frac{L_r^3 \cdot \Delta_x}{\sum L_y^3 + \sum L_z^3} \text{ e } \delta_{rz} = \frac{L_r^3 \cdot \Delta_z}{\sum L_x^3 + \sum L_y^3} \quad (2.40)$$

Onde:

- $\sum L_x^3, \sum L_y^3 \text{ e } \sum L_z^3$ correspondem a valores absolutos dos somatórios dos cubos dos comprimentos de todos os lados paralelos a cada uma das direções, x, y e z.
- $\Delta_x, \Delta_y \text{ e } \Delta_z$ correspondem aos valores absolutos das somas algébricas das dilatações lineares dos lados paralelos a cada uma das direções, x, y e z, combinados com a soma algébrica dos movimentos dos pontos extremos nessa mesma direção, caso existam.

Para o cálculo dessas deflexões, é necessário:

- Determinar a expansão dos tubos em cada lado;
- Determinar o somatório dos cubos dos comprimentos de todos os lados paralelos a cada uma das direções, x, y e z;
- Determinar os valores absolutos das somas algébricas das dilatações lineares dos lados paralelos a cada uma das direções x, y e z;
- Calcular a constante K (MPa/m):

$$K_x = \frac{E_c \cdot D \cdot \Delta_x}{10^6 (\sum L_y^3 + \sum L_z^3)} \quad (2.41)$$

$$K_y = \frac{E_c \cdot D \cdot \Delta_y}{10^6 (\sum L_x^3 + \sum L_z^3)} \quad (2.42)$$

$$K_z = \frac{E_c \cdot D \cdot \Delta_z}{10^6 (\sum L_x^3 + \sum L_y^3)} \quad (2.43)$$

2) Calcular as tensões máximas em cada lado:

- Lado n:

$$\sigma_{ny} = K_y \cdot L_n \quad (2.44)$$

$$\sigma_{nz} = K_z \cdot L_n \quad (2.45)$$

- Lado p:

$$\sigma_{px} = K_x \cdot L_p \quad (2.46)$$

$$\sigma_{py} = K_y \cdot L_p \quad (2.47)$$

- Lado r:

$$\sigma_{rx} = K_x \cdot L_r \quad (2.48)$$

$$\sigma_{rz} = K_z \cdot L_r \quad (2.49)$$

3) Encontrar a tensão máxima admissível considerando os as tensões limites especificadas.

- a. Se o valor da tensão admissível for menor que algum de tensão calculado em algum lado, implica que tal lado está sendo submetido a um esforço acima do admissível e que a configuração não tem flexibilidade.
- b. Deve-se modificar a configuração da rede e repetir todos os cálculos;
- c. Com as modificações realizadas, se os níveis das tensões resultantes das dilatações térmicas alcançarem valores inferiores a tensão admissível para as condições de serviço da tubulação, conclui-se que a configuração tem flexibilidade.

2.6 ESCOAMENTO EM CALHAS.

Analisar formas de escoamento da água da chuva em calhas, conectores e reservatórios para os casos mais drásticos é essencial para o projeto do sistema de captação de águas pluviais, assim como buscar alternativas para tais casos.

Segundo Gnipper (2012), na prática de sistemas de captação de águas pluviais e até mesmo em sistemas de drenagens prediais é normal ocorrer transbordamento de calhas em forros e lajes de teto quando ocorrem chuvas intensas.

Conforme a intensidade e a duração da chuva, a água extravasada para dentro do ambiente pode representar sérios prejuízos para o projeto do sistema.

Mas nem sempre o problema está na capacidade das calhas em si, mas nos condutores que estão com pouca capacidade. Portanto, com o correto dimensionamento dos condutores verticais e horizontais, esse problema pode ser corrigido.

De acordo com Gnipper (2012), além do correto dimensionamento das tubulações, considerando todos os fatores de projeto já explanados, tem-se outras soluções para corrigir o problema de transbordamento nas calhas, entre elas:

1) Aumento da declividade das calhas:

- Esse procedimento tem suas limitações, pois quando uma chuva intensa passa a incidir sobre uma dada superfície na cobertura de uma edificação, a máxima vazão de contribuição na respectiva calha só ocorre depois de um intervalo de tempo, chamado de tempo de concentração, decorrido o qual toda superfície do plano do telhado passa a contribuir para a respectiva calha.

- A contribuição máxima na calha só se dá depois de ocorrido o tempo de concentração das águas. Depois que essa condição se estabelece, pode-se considerar que a vazão é proporcional à raiz quadrada da declividade da calha. Dessa forma, ao se duplicar o valor da declividade da calha, a vazão máxima por ela conduzida teoricamente aumentará apenas 41%.

- Porém, na prática, esse valor é bem menor, pois fica condicionado a outros fatores limitantes tais como a condição hidráulica da inserção da água no condutor vertical (interação calha-condutor) e distância da tomada de água do condutor ao início ou mudança de direção da calha.

- A Figura 2.26 mostra como a lâmina d'água demora a levar a capacidade da calha ao seu limite, só ocorrendo após certo período de tempo:

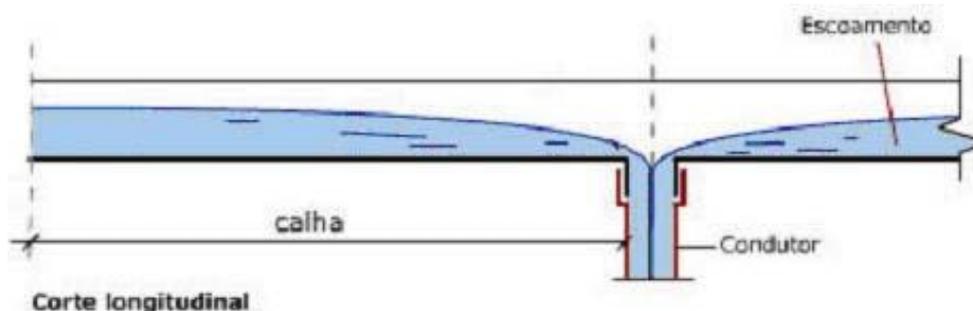


Figura 2.26. Lâmina d'água escoando da calha pelo condutor. Fonte: (GNIPPER, 2012).

- Outro fator que diminui a eficiência da calha é a mudança de direção na calha. A redução na capacidade de escoamento chega a ser 17%, dependendo da suavidade da curva e de sua distância em planta à entrada para o condutor vertical.

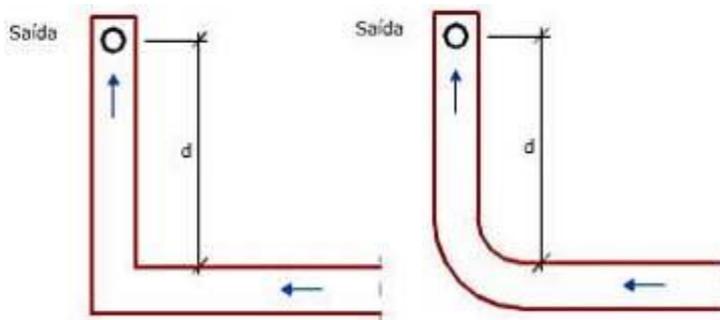


Figura 2.27. Tipo de curva da calha: canto vivo à direita e curva à esquerda. Fonte: (GNIPPER, 2012).

2) Aumento da capacidade de escoamento do condutor vertical

- Devido às limitações encontradas no primeiro caso e ao fato de nem sempre o aumento da inclinação da calha ser fisicamente viável sem grandes intervenções nos elementos construtivos em que

se apoia, resta o aumento da capacidade de escoamento do condutor vertical, que poderá promover uma redução na máxima altura da lâmina d'água dentro da calha.

- Esta possibilidade está ligada ao fato da altura máxima da lâmina d'água dentro da calha depender da maior ou menor facilidade de inserção no condutor vertical, determinante de sua capacidade de escoamento, que pode ser aumentada mediante as seguintes ações:

i. Adoção de funil de saída na tomada d'água do condutor vertical.

- Uma forma de evitar que o ar ocupe espaço significativo dentro do condutor vertical, permitindo que este escoe uma maior vazão de água pluvial, está na adoção de uma redução gradual da seção da embocadura do condutor vertical. Isto é proporcionado pela interposição de um funil de saída, reduzindo muito o efeito desfavorável da aresta viva no fundo da calha, conforme a Figura 2.28:

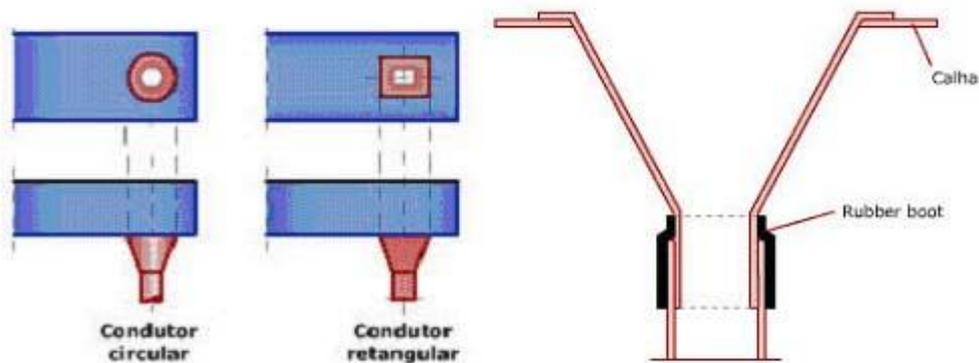


Figura 2.28. Funil que promove uma redução gradual da seção da embocadura do condutor vertical, permitindo que este escoe uma maior vazão de água pluvial. Fonte: (GNIPPER, 2012).

ii. Adoção de grelha e/ou ralo hemisférico.

- Como já dito na seção 2.2.2, ralos hemisféricos são elementos de captação tubulares cilíndricos dotados de grelha hemisférica na parte superior, geralmente metálica ou plástica, posicionada ao fundo da calha, na embocadura do condutor vertical, dotado ou não de funil de saída.

- A maior vantagem e principal razão para aplicação em situações específicas de projeto, está no fato da grelha hemisférica, situada na embocadura de um condutor vertical ao fundo da calha, admitir água em seu interior de modo predominantemente radial, decorrente da forma peculiar das aberturas ou ranhuras de sua grelha.

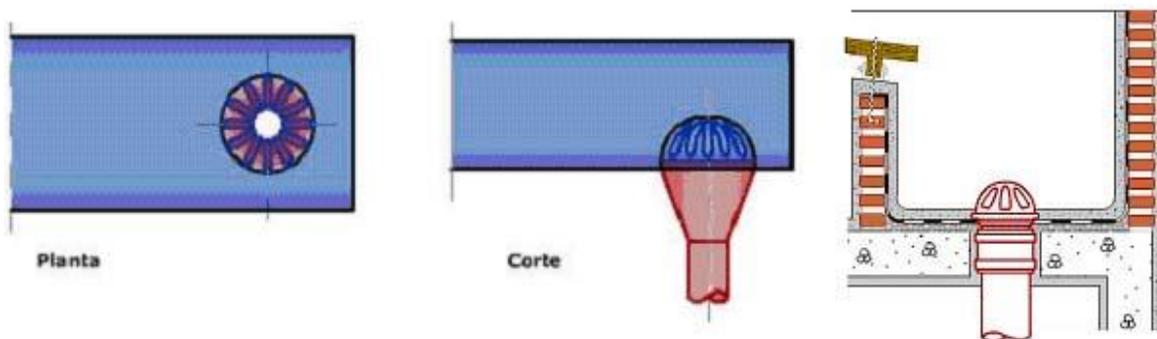


Figura 2.29. Esquema de instalação de grelha hemisférica na tomada d'água de condutor vertical ao fundo da calha. Fonte: (GNIPPER, 2012).

iii. Adoção de bandeja pluvial na embocadura do condutor vertical.

- Bandejas pluviais são elementos de acumulação temporária de água, destinados a receberem águas pluviais de calhas por deságue livre (queda livre), e mediante elevação da carga líquida em seu interior, conduzi-las adequadamente a um condutor vertical.

- A introdução de uma bandeja pluvial no topo de um condutor vertical propicia a elevação da capacidade de vazão da calha associada.

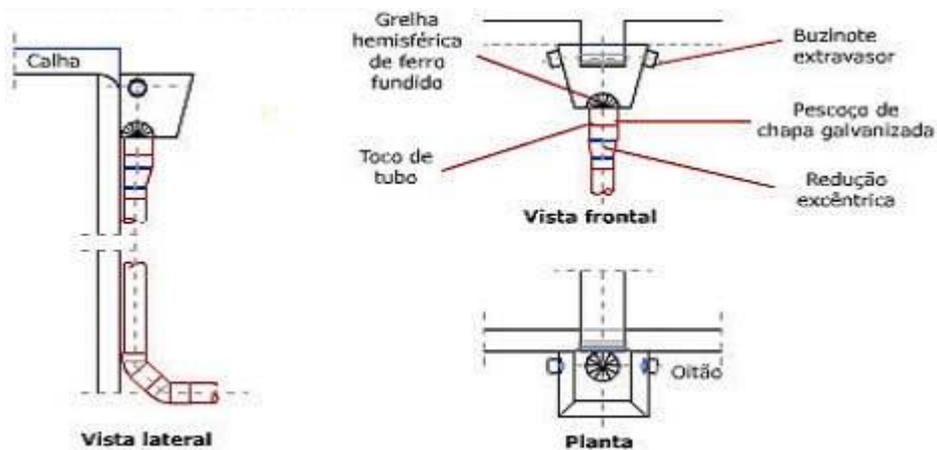


Figura 2.30. Esquema de instalação da bandeja pluvial dotada de grelha hemisférica e condutor vertical com tubo prolongador. Fonte: (GNIPPER, 2012).

3 ESTUDO DE CASO

Este capítulo apresenta um estudo de caso da indústria Bunge Alimentos em Brasília. Nele são feitas análises do sistema de captação existente na unidade, do consumo de água, reservatórios, percursos de tubulações e calhas, planta do sistema de captação e considerações gerais acerca de limitações e melhorias do sistema.

3.1 SISTEMA DE CAPTAÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS NA BUNGE BRASÍLIA.

Em 2010, quando foi feito o projeto de construção do novo depósito de produtos acabados (DPA), verificou-se a possibilidade de se construir um sistema para a captação de águas pluviais, de forma a diminuir o consumo de água da unidade. O sistema foi então construído, porém está atualmente inutilizado.

A Figura 3.1 mostra a foto desse prédio (em branco) com uma cobertura de telhado de zinco anexada na sua lateral e, ao fundo, o antigo DPA. Todas essas áreas fazem parte do sistema de captação de águas pluviais. Nas seções seguintes serão especificados todo o sistema com suas dimensões e vistas.



Figura 3.1. Foto do novo depósito de produtos acabados.

O reservatório utilizado para o armazenamento dessa água tem a capacidade de armazenamento de 20 mil litros, que é considerada pequena para comportar toda a capacidade pluvial da região e para atender ao que vai ser proposto para a fábrica e, quando cheio, a água é despejada na rua, pois, além disso, não há sistema de bombeamento, muito menos tubulações para que essa água armazenada possa ser distribuída e aproveitada. Algumas tubulações do sistema foram desviadas para a água escorrer

diretamente para o gramado da fábrica. O reservatório e as calhas não possuem qualquer tipo de filtro ou tratamento para que essa água possa ser utilizada posteriormente.

3.2 RESERVATÓRIOS E CAIXAS D'ÁGUA.

A fábrica em um todo dispõe de reservatórios e caixas d'água destinados para armazenamento e posterior utilização da água. No total são 2 reservatórios e 3 caixas d'água. Na Tabela 3-1 é mostrada qual a utilização, capacidade, de onde vem e onde estão localizados tais componentes. Todos, exceto o reservatório de água da chuva, são lavados e tratados de 6 em 6 meses e o laboratório da indústria faz a análise da água mensalmente.

Tabela 3-1. Reservatórios e caixas d'água na fábrica.

	<i>Capacidade</i>	<i>Utilização</i>	<i>Localização</i>	<i>Origem</i>
Reservatório 1	80.000 litros	Armazena água utilizada no moinho.	Térreo, próximo à entrada da fábrica.	Caesb.
Reservatório 2	20.000 litros	Armazena água vinda do sistema de captação de águas pluviais.	Térreo, próximo ao depósito de produtos acabados.	Sistema de captação de águas pluviais.
Reservatório 3	120.000 litros	Armazena água para uso do hidrante em casos de emergências.	Térreo, próximo à entrada da fábrica.	Caesb.
Caixa d'água 1	10.000 litros	Abastece o moinho.	7º andar do moinho.	Reservatório 1.
Caixa d'água 2	5.000 litros	Abastece o setor administrativo e o refeitório da fábrica.	Teto do setor administrativo.	Caesb.

3.3 SITUAÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA NA UNIDADE.

3.3.1 CONSUMO TOTAL DE ÁGUA DA FÁBRICA.

Foram levantados os dados de consumo de água na fábrica desde 2012. Dessa maneira foi feita uma análise ano a ano para poder identificar o consumo total na fábrica, o consumo no processo e fora do processo de obtenção da farinha, que como foi visto na seção 1.1 são os fatores necessários para o cálculo da meta de consumo de água. Na Tabela 3-2 e na Figura 3.2 tem-se o histórico anual do consumo de água total da unidade e o que foi consumido dentro e fora do processo.

Tabela 3-2. Histórico de consumo de água da fábrica desde 2012.

ANO	Consumo total de água em toda a fábrica (l)	Consumo de água utilizado no processo (l)	Porcentagem de água utilizada no processo	Consumo de água fora do processo (l)	Porcentagem de água utilizada fora do processo
2012	9.212.000	2.558.720	28%	6.653.280	72%
2013	10.744.000	2.932.960	27%	7.811.040	73%
2014	12.573.000	2.305.000	18%	10.268.000	82%
2015	10.743.000	2.059.770	19%	8.683.230	81%
2016 (até abril)	2.720.000	838.000	31%	1.882.000	69%

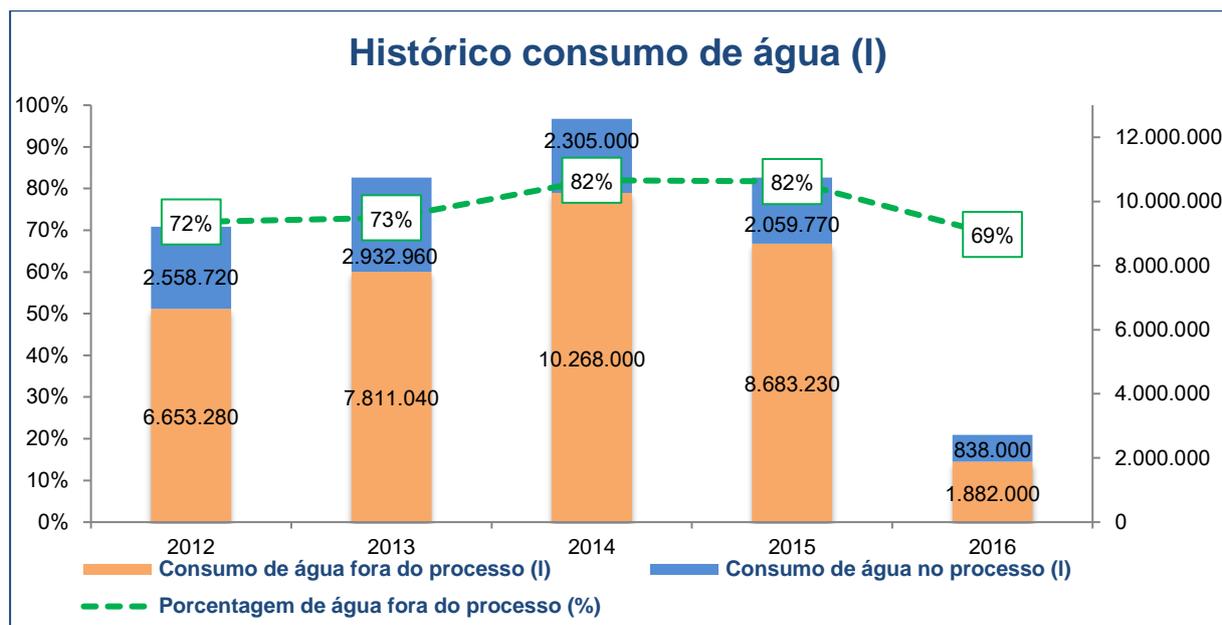


Figura 3.2. Histórico do consumo de água.

Como pode ser visto na Tabela 3-2 e na Figura 3.2, desde 2012 o consumo de água é muito alto, principalmente fora do processo. Até o ano de 2015, a média de consumo anual fora do processo era de aproximadamente 8,35 milhões de litros de água, correspondente a 77% do total consumido.

Para se ter uma análise mais atual dos dados de consumo de água, foram estratificados os valores referentes ao ano de 2015. O consumo médio mensal de água na fábrica em 2015 foi de, aproximadamente, 895 mil litros. Em todo o ano de 2015 foram consumidos 10,7 milhões de litros de água. Como medida de comparação, em uma residência comum com 2 banheiros e 3 moradores, o consumo mensal aproximado de água por mês é em torno de 8 mil litros, o que em 1 ano dá o equivalente à 96 mil litros. Para essa residência, seria necessário 9 anos e 4 meses para se alcançar o que é consumido mensalmente na fábrica.

A Tabela 3-3 mostra o consumo total de água na fábrica em 2015. É feito uma análise mês a mês evidenciando tudo que foi consumido dentro e fora do processo de produção.

Tabela 3-3. Consumo mensal de água da fábrica em 2015.

2015	Consumo total de água em toda a fábrica (l)	Consumo de água utilizado no processo (l)	Porcentagem de água utilizada no processo	Consumo de água fora do processo (l)	Porcentagem de água utilizada fora do processo
JANEIRO	1.342.000	185.793	14%	1.156.207	86%
FEVEREIRO	996.000	160.762	16%	835.238	84%
MARÇO	978.000	169.408	17%	808.592	83%
ABRIL	967.000	147.879	15%	819.121	85%
MAIO	1.049.000	124.011	12%	924.989	88%
JUNHO	1.155.000	163.706	14%	991.294	86%
JULHO	929.000	146.726	16%	782.274	84%
AGOSTO	614.000	145.843	24%	468.157	76%
SETEMBRO	680.000	180.839	27%	499.161	73%
OUTUBRO	756.000	212.138	28%	543.862	72%
NOVEMBRO	618.000	206.528	33%	411.472	67%
DEZEMBRO	659.000	216.138	33%	442.862	67%
TOTAL 2015	10.743.000	2.059.770	19%	8.683.230	81%

Como se pode notar, o consumo até o mês de julho foi muito elevado, isso se deve à diversos vazamentos em tubulações por onde passava água na fábrica. No final de julho, foi contratada uma empresa que juntamente com a manutenção da fábrica encontrou todos os vazamentos e os corrigiu. Então, regularmente, a fábrica consome em torno de **665 mil litros** de água por mês. Isso compreende toda a água consumida no complexo industrial.

O consumo de água utilizada no processo, como mostrado na tabela, é calculado de acordo com o que é produzido de farinha, pois quanto mais farinha for produzida, maior a quantidade de água utilizada. Isso se deve à água ser utilizada tanto para lavar o trigo quanto para umidificá-lo. A porcentagem de m³ de água no processo de produção da farinha é de 4% do total de toneladas que foi produzido.

Exemplificando: no mês de agosto de 2015 foram consumidos um total de 614 mil litros de água e foram produzidas 3646 toneladas de farinha. Desse total de toneladas de farinha produzida, 4% correspondem a água que foi utilizada nesse processo, o que dá 146 m³ ou 146 mil litros. É como se fosse retirado das 3646 toneladas de farinha esses 146 mil litros de água. Portanto, nesse mês de agosto de 2015, o total de água utilizado no processo correspondeu à apenas 24% do total.

Fazendo a análise dos dados de todo o ano de 2015, apenas 19% do total de água consumida na fábrica foi utilizado no processo para obtenção da farinha. Dessa forma, pode-se notar que a maior parcela de água consumida na fábrica vem de setores fora do processo de produção. Observando a tabela, cerca de 81% dá água total consumida na fábrica é utilizada fora do processo. Isso, se comparado aos outros anos, mostra um padrão de consumo que, apenas a partir do mês de agosto de 2015 e em 2016 apresentam uma mudança mais significativa.

Ou seja, 1/5 do que é consumido é utilizado no objetivo principal da fábrica, que é na produção da farinha e cerca de 4/5 é utilizado nas outras tarefas do dia-a-dia já especificadas.

3.3.2 ANÁLISE DO CONSUMO DE ÁGUA PARA FINS POTÁVEIS E NÃO POTÁVEIS.

Tomando como base o ano de 2016, onde todos os vazamentos foram corrigidos e não há mais problemas de desperdício de água, o consumo mensal médio até o mês de abril se dá em torno de **680 mil litros**. Foi feito então um levantamento setor por setor e atividade por atividade para se ter uma análise apropriada do consumo na unidade.

A Bunge Brasília possui mais de 100 funcionários. A fábrica funciona de segunda à sábado nos três turnos.

Com uma área tão ampla e tantos empregados, é necessário que a Bunge proporcione aos funcionários o atendimento à todas as suas necessidades. Em toda a fábrica, há 6 banheiros. Dados sobre os banheiros estão apresentados na Tabela 3-4.

Tabela 3-4. Banheiros na fábrica.

<i>Setor</i>	<i>Banheiros</i>	<i>Vasos sanitários</i>	<i>Chuveiros</i>	<i>Pias</i>
<i>Administrativo</i>	<i>Operadores</i>	3	2	1
	<i>Coordenadores</i>	2	2	1
	<i>Masculinos</i>	2	0	2
	<i>Femininos</i>	2	1	3
<i>Moinho</i>	<i>Terceiros</i>	3	3	1

Para a análise do consumo de água em cada setor, será utilizado o estudo da Unifesp (2016), onde foram descritas formas de economizar água e feito um levantamento do consumo diário de água para cada cidadão.

A maior utilização dos banheiros, e onde está o maior consumo, é no setor administrativo. Lá se encontram instalados os banheiros femininos, masculinos e dos operadores, onde em torno de 70 funcionários utilizam-no diariamente.

São no total 12 vasos sanitários sendo usados diariamente por todos. Supondo que um funcionário utilize o vaso sanitário três vezes durante seu dia de trabalho, e sabendo que uma descarga média de 6 segundos consome 10 litros de água (Unifesp, 2016), então diariamente o consumo em descargas sanitárias é de 3 mil litros de água, chegando a uma média de 78 mil litros de água por mês, correspondendo a 12% do total consumido no mês. Para essa aplicação, não é exigido água potável, porém está sendo usada água proveniente diretamente da Caesb.

Os chuveiros não são utilizados por todos os funcionários, porém em torno de 50 pessoas utilizam-no diariamente pelo menos uma vez, e, considerando um banho de 5 minutos com registro meio aberto, o consumo será de aproximadamente 45 litros de água (Unifesp, 2016). Tem-se então

diariamente um consumo 2,25 mil litros de água e mensalmente de 55 mil litros, correspondendo a 9% do total. Essa água tem que ser potável.

Na fábrica há uma política muito rígida de qualidade e boas práticas de fabricação. Portanto, é exigido que todos os funcionários façam higienização das mãos regularmente. Sabendo que uma pessoa leva em torno 20 segundos para lavar e enxaguar as mãos e que, com a torneira meio aberta, consome 0,8 litros de água (Unifesp, 2016) e supondo que esse funcionário lave as mãos 5 vezes durante o expediente, diariamente são consumidos 400 litros de água e mensalmente 10,4 mil litros, que corresponde a 2% do total, água essa que deverá ser potável.

Como já foi exposto, o valor médio de consumo mensal dentro do processo de lavagem e umidificação do trigo foi em torno de 30% nos meses onde não houveram problemas de vazamentos. Essa água tem que ser potável, devido sua utilização diretamente na lavagem e umidificação do trigo.

Outros setores que utilizam água potável são o refeitório (que a utiliza para fazer as refeições) e a padaria da fábrica (que produz pães de teste para análise do laboratório utilizando também água potável). Não é possível saber ao certo qual a porcentagem de água é utilizada nesses setores pois não há hidrômetros individualizados que possam fazer essa medição. Porém, feito uma análise da manutenção, constatou-se que o consumo de água em todas essas atividades descritas é em torno de 20% do total que é consumido mensalmente na fábrica.

É exigido que todo o complexo industrial, pátios, área externa e, principalmente, os 7 andares e todas as salas do moinho, do setor administrativo e os banheiros, permaneçam sempre limpos e organizados. Diariamente é feita a limpeza desses setores da fábrica pelos empregados terceirizados. É utilizada muita água nesse processo, água essa destinada a fins não potáveis, porém que é proveniente da caixa d'água vinda diretamente da Caesb. Foi analisado esse consumo na fábrica pela quantidade de baldes utilizados diariamente para limpeza desses setores e foi constatado que diariamente consome-se em torno de 7,2 mil litros de água que, mensalmente equivalem a 187 mil litros, o correspondente a 27% do total.

Na Figura 3.3, é possível ver o consumo atividade por atividade.



Figura 3.3. Porcentagem do consumo de água por atividade.

Baseado nesses dados, foi feita uma análise da demanda de água potável e não potável na fábrica. Atualmente, todas as atividades que consomem água na fábrica estão utilizando água potável. Porém, como já foi especificado, para utilização de água nas descargas sanitárias dos banheiros e para limpeza no geral da fábrica, pode ser utilizada água não potável. A demanda está especificada na Figura 3.4.

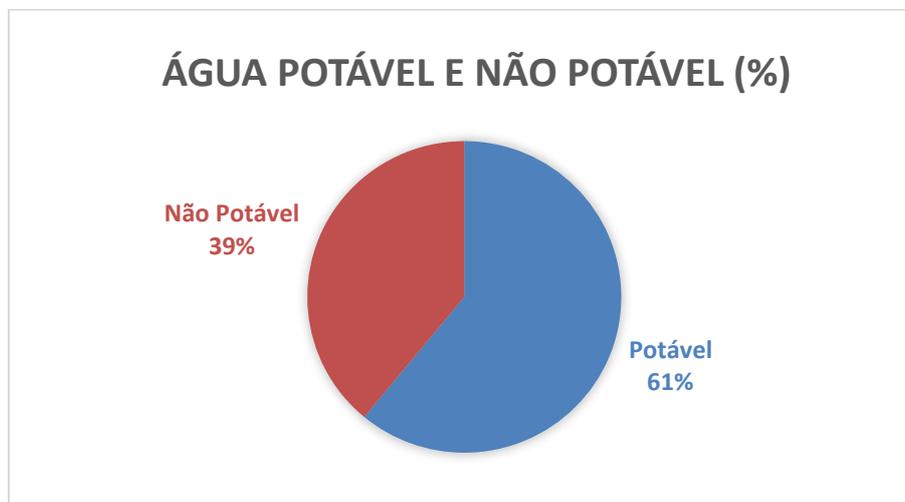


Figura 3.4. Porcentagem da demanda de água potável e não potável.

Portanto, a demanda total de água potável na fábrica se dá em torno de 61%. Isso abre um grande leque de oportunidades para que o sistema de captação de águas pluviais forneça os outros 39% de água restante, algo em torno de 265 mil litros por mês que são consumidos em outras tarefas na fábrica para fins não potáveis e que atualmente estão utilizando água potável.

Mais adiante será analisada a possibilidade de o sistema de captação fornecer água para as descargas sanitárias dos banheiros e para limpeza do prédio administrativo, além de serem feitos percursos de tubulações provenientes desse sistema que abasteceriam torneiras próximas ao moinho, podendo assim ser feita a utilização dessa água para limpeza do pátio da fábrica, da oficina mecânica e de todo moinho.

3.3.3 ANÁLISE FINANCEIRA.

Juntamente com a controladoria da Bunge, foi feita uma análise da conta de água paga mensalmente à Caesb. Tem-se um histórico de valores desde 2012. Na Figura 3.5 tem-se os dados.

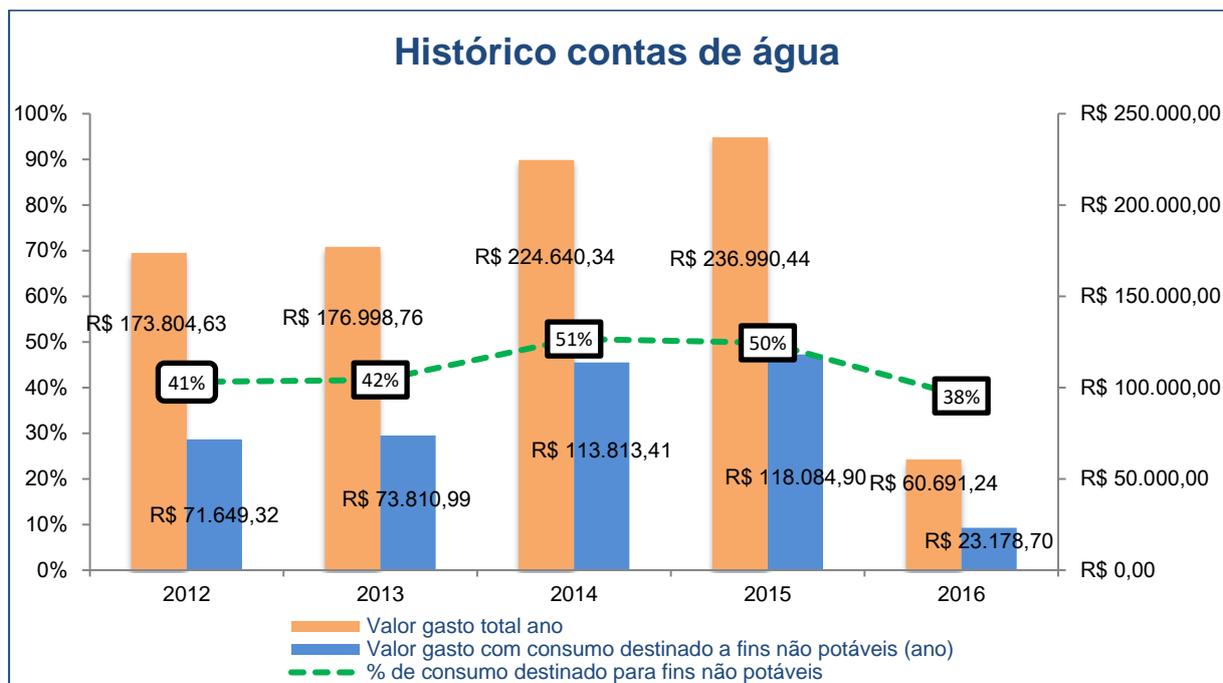


Figura 3.5. Histórico de contas de água ano a ano.

Como pode-se notar, o gráfico traz o total gasto com o pagamento de contas de água anualmente e o valor total gasto com consumo de água para fins não potáveis também anualmente. Tem-se que no decorrer dos anos analisados o consumo que é destinado para fins não potáveis, mas que é utilizado água potável chegou a exorbitantes 51% do total gasto com a conta de água no ano de 2014, correspondendo a um valor exato de R\$ 113.813,41 gastos em todo o ano e a uma média mensal de R\$ 9.484,45. Mesmo em 2016, onde esse consumo foi normalizado, o gasto em atividades que não exigem água potável chega à 38% do total que correspondem mensalmente à R\$ 5.794,67.

Dessa forma, observa-se a grande viabilidade financeira que seria a instalação de um sistema que possa fornecer essa água não potável para utilização nessas atividades.

3.4 PLANTA DO SISTEMA DE CAPTAÇÃO NA UNIDADE BUNGE BRASÍLIA.

A planta total do moinho Bunge Brasília compreende uma área de 41.041,97 m², onde desse total tem-se 9.648 m² de área construída, que corresponde a uma taxa de construção de 23,51% com uma taxa de ocupação de 19,92%. A unidade tem uma vasta área verde de 9.661 m², o que corresponde à 23,54 % da área total. (Bunge Brasília, 2010)

Para visualização do sistema de captação de águas pluviais da unidade, foram tiradas várias fotos dos depósitos e feito um desenho com a vista isométrica de todo o sistema atual com a posição dos componentes, calhas e tubulações, o percurso das mesmas, além dos seus tamanhos. Mais adiante, no Capítulo 4, tem-se o projeto 3D do sistema, onde será especificado todo o sistema em 3D e dessa forma terá uma melhor visualização.

Na Figura 3.6 encontra-se disposta a vista isométrica mostrando todos os depósitos onde está instalado o sistema de captação de águas pluviais.

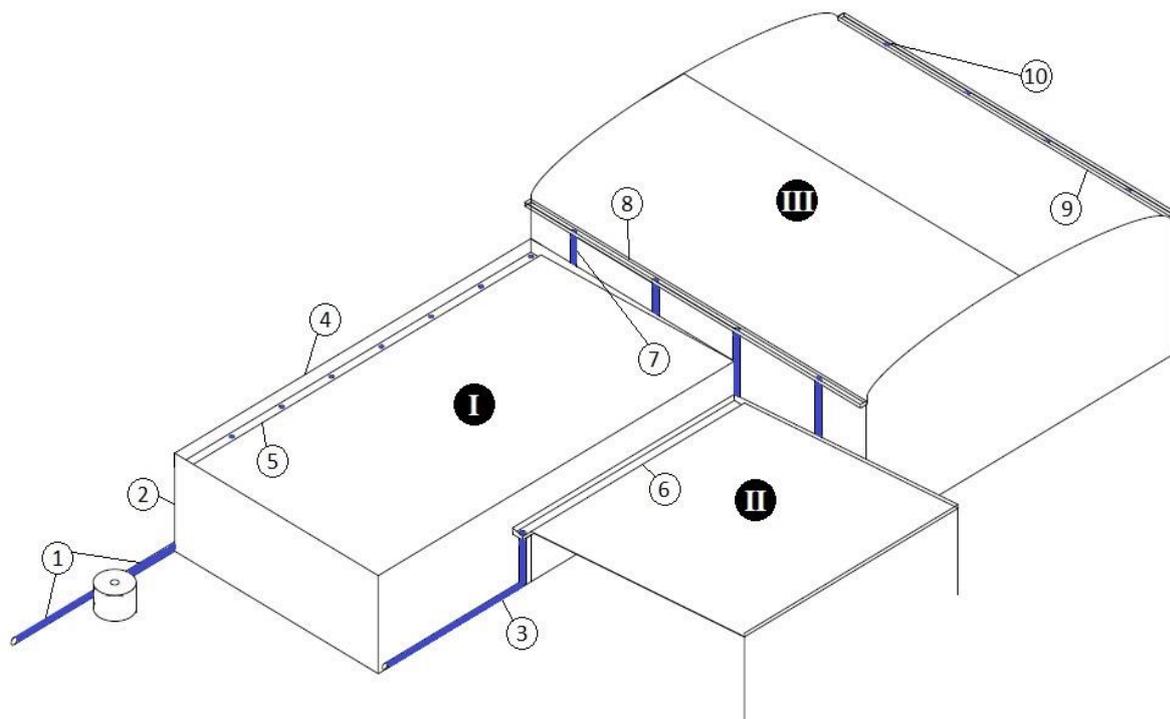


Figura 3.6. Vista isométrica do depósito de produtos acabados.

A parte I corresponde ao prédio do novo DPA, a parte II é o telhado anexo a esse prédio e a parte III é o antigo DPA. Todo esse sistema compõe a área de captação pluvial da unidade. Em azul estão as tubulações do sistema.

Pode-se notar que o sistema é dividido em três áreas de captação. A primeira (I) está disposta sobre o teto do prédio do novo DPA, onde a captação é feita por uma calha que se estende por todo comprimento lateral do prédio. A outra (II) é sobre o telhado anexo ao DPA, onde uma calha também está disposta por todo seu comprimento lateral. E a terceira (III) está disposta em duas calhas instaladas por todo comprimento frontal e traseiro da cobertura do antigo DPA.

Porém, como visto na FIGURA, na superfície II foram retirados os canos que levavam a água captada até o reservatório e na superfície III a captação de água da chuva só é feita na parte frontal do prédio, pois na parte traseira as tubulações dispostas pelo percurso da calha escoam a água até o térreo da fábrica. Todas as dimensões e áreas de captação serão especificadas na seção 3.5.

Os números de 1 a 10 são referentes as tubulações e calhas que fazem parte do sistema. As tubulações 2 e 4 não aparecem no desenho, porém serão representadas no esquema 3D no capítulo 4.

Na Tabela 3-5 estão especificados os materiais, diâmetros das tubulações e largura das calhas, além dos seus respectivos comprimentos.

Tabela 3-5. Calhas e tubulações do sistema.

<i>Número</i>	<i>Tipo</i>	<i>Material</i>	<i>Diâmetro / Largura</i>	<i>Comprimento</i>
<i>1</i>	<i>Tubulação</i>	<i>PVC</i>	<i>φ 150 mm</i>	<i>5 m / 4 m</i>
<i>2</i>	<i>Tubulação</i>	<i>PVC</i>	<i>φ 200 mm</i>	<i>5,76 m</i>
<i>3</i>	<i>Tubulação</i>	<i>PVC</i>	<i>φ 150 mm</i>	<i>18,2 m</i>
<i>4</i>	<i>Tubulação</i>	<i>PVC</i>	<i>φ 150 mm</i>	<i>34 m</i>
<i>5</i>	<i>Calha</i>	<i>Alumínio</i>	<i>500 mm</i>	<i>35 m</i>
<i>6</i>	<i>Calha</i>	<i>Alumínio</i>	<i>200 mm</i>	<i>21 m</i>
<i>7</i>	<i>Tubulação</i>	<i>PVC</i>	<i>φ 150 mm</i>	<i>3 m</i>
<i>8</i>	<i>Calha</i>	<i>Alumínio</i>	<i>200 mm</i>	<i>33 m</i>
<i>9</i>	<i>Calha</i>	<i>Alumínio</i>	<i>200 mm</i>	<i>33 m</i>
<i>10</i>	<i>Tubulação</i>	<i>PVC</i>	<i>φ 150 mm</i>	<i>11 m</i>

A Figura 3.7 mostra o reservatório do sistema de captação de água da chuva que fica do lado esquerdo do novo DPA.



Figura 3.7. Foto do reservatório e das tubulações na entrada e saída do mesmo.

Nas figuras a seguir, tem-se mais fotos das vistas dos prédios.

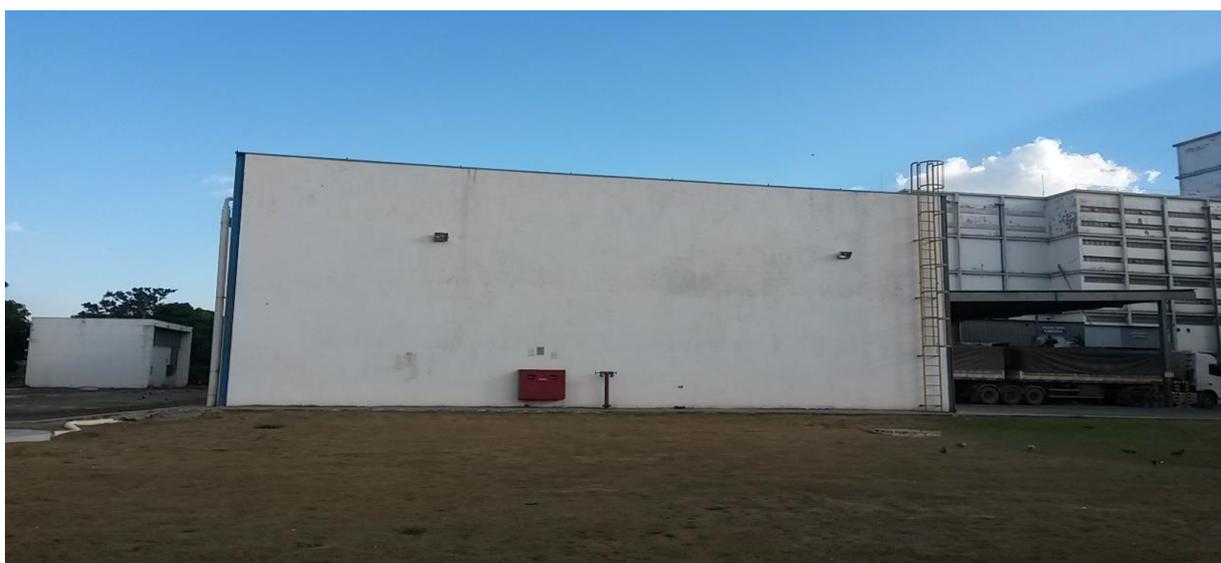


Figura 3.8. Foto da vista frontal.



Figura 3.9. Vista lateral esquerda do novo DPA com o antigo DPA ao fundo.



Figura 3.10. Foto da vista lateral esquerda com as tubulações de passagem até chegar ao reservatório.



Figura 3.11. Foto da vista traseira do sistema mostrando o antigo DPA.

Nas figuras seguintes tem-se fotos da vista superior dos prédios que fazem parte do sistema de captação evidenciando calhas e tubulações.



Figura 3.12. Foto da vista superior com o novo DPA ao fundo a esquerda, o antigo DPA a direita e o telhado anexo.

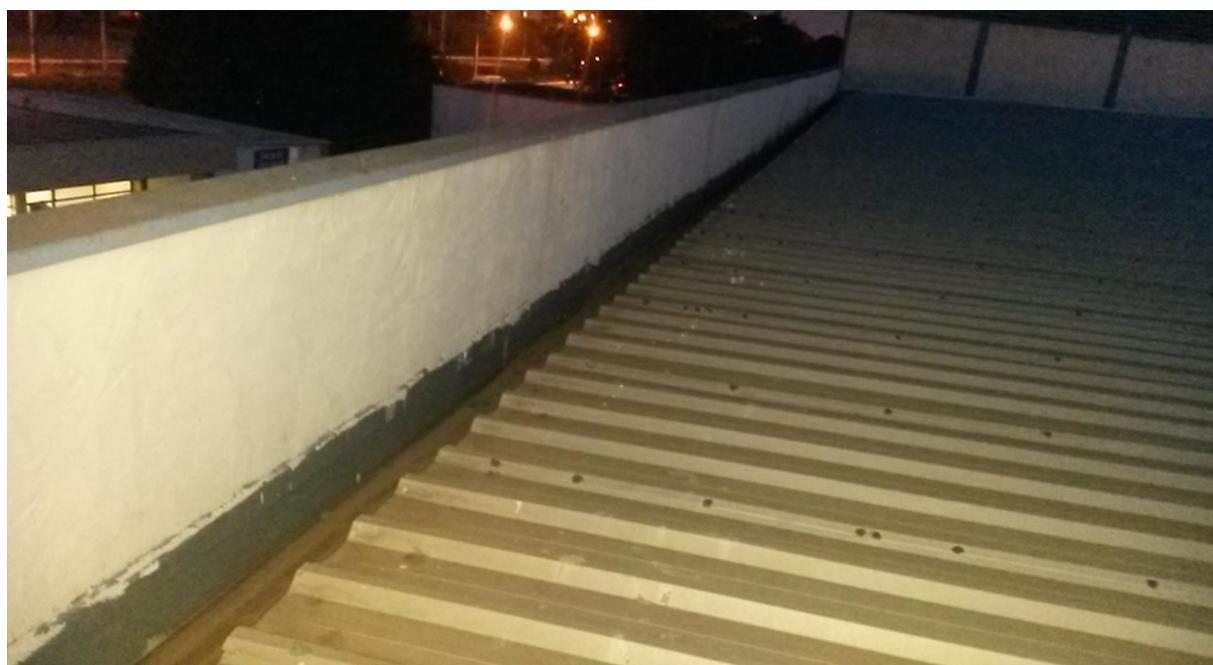


Figura 3.13. Foto de cima do prédio do novo DPA com a descaída do telhado e a calha.

3.5 ÁREA DE CAPTAÇÃO.

Como já foi dito, o sistema é constituído de 4 trechos de calhas que fazem a captação da água da chuva. Pela Figura 3.6, tem-se a vista isométrica do sistema dando ênfase as calhas e tubulações utilizadas no processo de captação.

As áreas de captação serão:

- Área 1:

Corresponde ao que é captado na calha (5) do depósito (I) da Figura 3.6. Tem um comprimento igual a 35 m e foi instalada na cobertura do novo DPA de área de **700 m²** e dispõe de 8 conectores de 150 mm de diâmetro ligados a uma tubulação horizontal de diâmetro de 150 mm que transporta essa água para uma tubulação vertical de 200 mm de diâmetro que a transfere ao reservatório.

- Área 2:

Corresponde ao que é captado na calha (6) do telhado anexo (II) da Figura 3.6, com comprimento de 21 m e com 1 tubulação vertical de 150 mm de diâmetro que transporta a água captada para uma tubulação horizontal de 200 mm que despeja toda água no gramado da fábrica, pois a tubulação que levava ao reservatório foi retirada devido a pequena capacidade do mesmo. Todo esse sistema foi instalado em um telhado anexo ao novo DPA (I) e possui área de 462 m². Como foi dito, essa água não é captada para o reservatório.

- Área 3:

Corresponde ao que é captado nas calhas (8) e (9) no depósito (III) da Figura 3.6. Tem comprimento de 33 m e possui 4 tubulações em cada percurso de diâmetro igual a 150 mm e estão instaladas na parte frontal e traseira do antigo DPA com área de 990 m². Porém, a captação é feita somente na calha 8, instalada na parte frontal do depósito e essa água vai diretamente por 2 tubulações para a cobertura da superfície I (para ser captada no reservatório) e por 2 tubulações para a superfície II (para ser despejada no gramado). Na calha 9, instalada na parte traseira, a água escoar por 4 tubulações de diâmetro de 150 mm para o chão. A cobertura do prédio é em formato de arco e, dessa forma, a água escoar 50% para os dois lados, dependendo ainda do sentido da chuva. Sendo assim, a área de captação atual está em **248 m²**.

Todos os telhados possuem inclinação para a água escorrer para as calhas.

Portanto, tem-se então uma área de captação atual igual a **948 m²**.

3.6 LIMITAÇÕES E POTENCIAL DE MELHORIA NO SISTEMA.

Há diversas possibilidades de melhoria em todo o sistema de captação.

- Para o aproveitamento do sistema de captação:

- 1) Antes de tudo, deve ser feito o projeto completo para instalação do sistema de captação de água da chuva que necessitaria do dimensionamento de todos os condutores verticais e horizontais, além das conexões.

- 2) Deve ser feito também o aumento da capacidade do reservatório de água da chuva, que é de apenas de 20 mil litros, o que é muito pouco para captação na região e para atender a demanda que será exigida.
 - 3) Deve ser feita a instalação de filtros, caixas de areia e outros componentes que possam auxiliar a diminuição das impurezas decorrentes da água da chuva, além de pedras, folhas e afins. Além disso, pode-se analisar a possibilidade de fazer um tratamento dessa água coletada dentro do reservatório.
- Para o aumento da área de captação de água da chuva:

Deve-se instalar um sistema de tubulações na parte inferior traseira do antigo DPA que capte a água que é escoada pelas tubulações já existentes da calha traseira e fazer um percurso que leve essas tubulações até o reservatório que está à uma distância de 69 m, aumentando assim a área de captação da água da chuva.

Fazer a ligação da tubulação que sai da calha do telhado anexo ao novo DPA no reservatório também é de importância essencial no projeto para que possa aumentar a área de captação. Essa tubulação encontra-se a 24 m de distância do reservatório.

- Limitações do sistema:
 - 1) Alguns trechos de tubulações encontram-se com vazamentos entre as conexões, como mostrado na Figura 3.14.



Figura 3.14. Foto da vista lateral esquerda do novo DPA mostrando o vazamento nas tubulações.

Há no sistema diversas tubulações com diâmetros diferentes, inclusive sobrepostas umas às outras.

Nas calhas, há muita sujeira e possíveis contaminantes para a água como mostrado na Figura 3.15. Não é realizada manutenção nem limpeza nessas calhas.



Figura 3.15. Foto da calha do teto do novo DPA.

Além disso, várias fixações dos tubos encontram-se desgastadas, correndo o risco das tubulações se soltarem.

Outra limitação se dá que devido a fábrica ser muito grande, os trechos para onde seriam direcionadas as tubulações para utilização em outros setores da fábrica seriam muito distantes e extensos, podendo inviabilizar o percurso.

4 PROJETO CONCEITUAL

Este capítulo apresenta considerações gerais acerca do projeto conceitual com o desenho 3D da planta do moinho, além de alterações propostas no sistema e a seleção de percursos para destinação da água que será captada.

4.1 ESQUEMA 3D DO SISTEMA DE CAPTAÇÃO.

O projeto conceitual é o primeiro passo para o projeto e desenvolvimento de um sistema, nele define-se todos os princípios envolvidos. É feita uma revisão teórica e um estudo de caso visando determinar a viabilidade do projeto. Durante essa etapa, deve-se evitar o excesso de restrições, ou seja, deve ser feita a análise de todas as possibilidades. (GRAÇA, et al., 1998)

Visando buscar soluções que sejam viáveis para o projeto, foi feita uma planta completa 3D no software SolidWorks com todas as áreas que fazem parte do sistema atual de captação de águas pluviais e também com áreas que farão parte do sistema de distribuição dessa água na fábrica da Bunge.

A seguir nessa seção, tem-se figuras da planta 3D da área da Bunge que envolve o sistema de captação de águas pluviais com diversas vistas de todo o sistema atual. Mais adiante, terão mais figuras com as alterações propostas, sistema de distribuição, reservatório e todos os outros componentes.

Na Figura 4.1 tem-se uma vista em perspectiva de uma parte da planta do moinho especificando cada área correspondente.

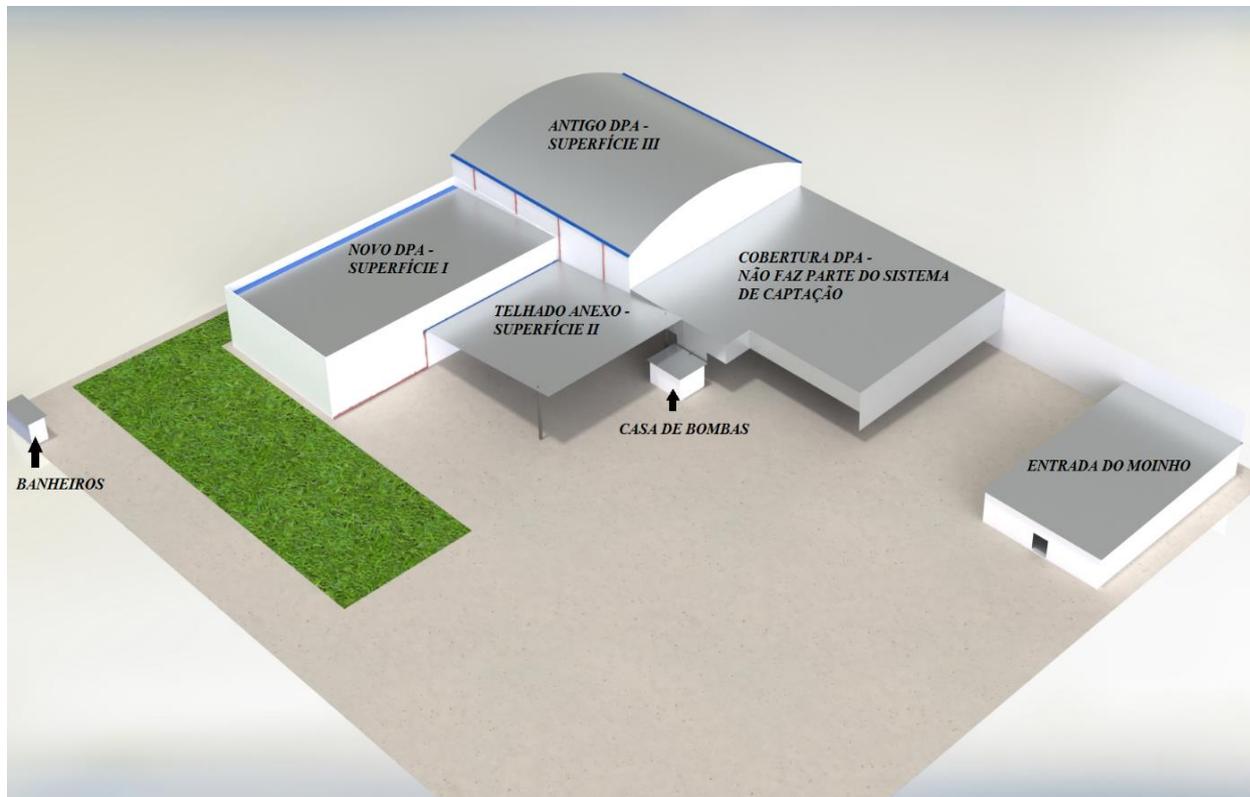


Figura 4.1. Vista em perspectiva da planta do moinho no qual faz parte o sistema de captação e, posteriormente, distribuição das águas pluviais.

Nas Figura 4.2 até Figura 4.5, tem-se vistas ampliadas das 3 superfícies de captação do sistema.

Os componentes estão representados por cores distintas, que são:

- Em vermelho as tubulações e conectores;
- Em cinza claro os telhados (áreas de cobertura do sistema);
- Em azul as calhas.

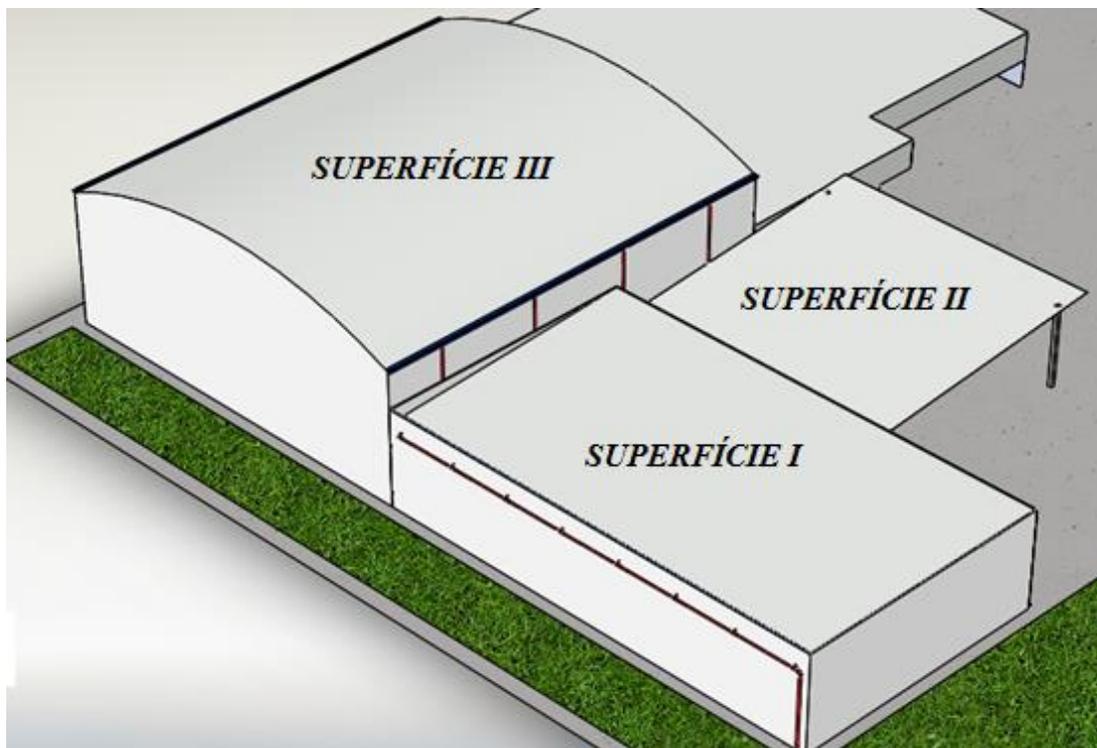


Figura 4.2. Vista 3D do sistema dando ênfase a parte frontal e lateral esquerda.

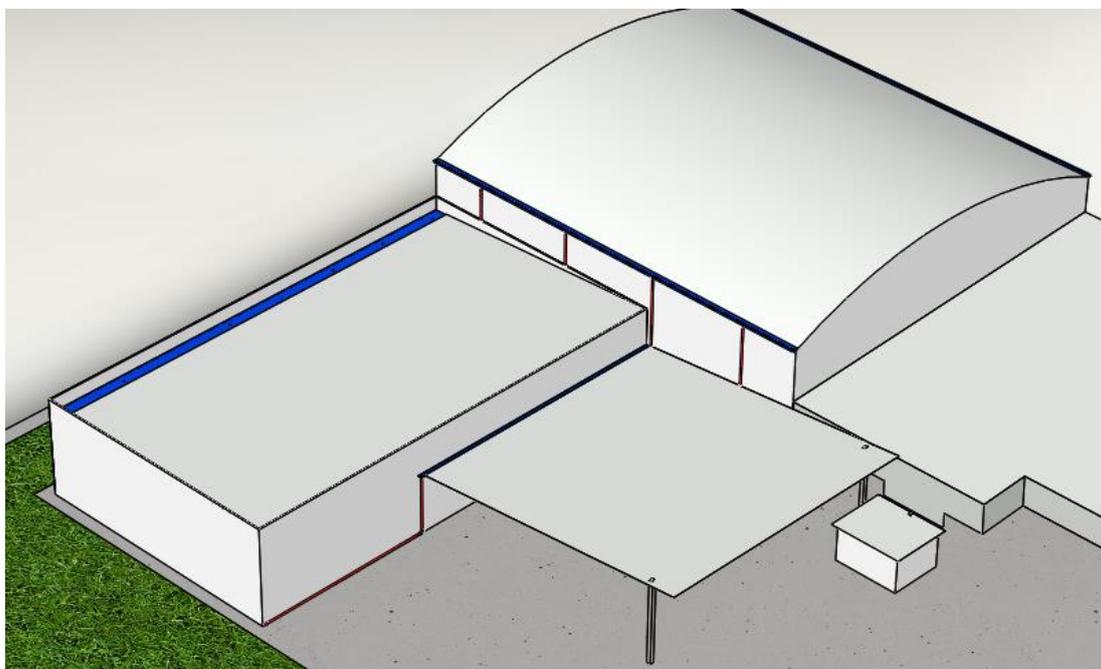


Figura 4.3. Vista 3D do sistema dando ênfase a parte frontal e lateral direita.

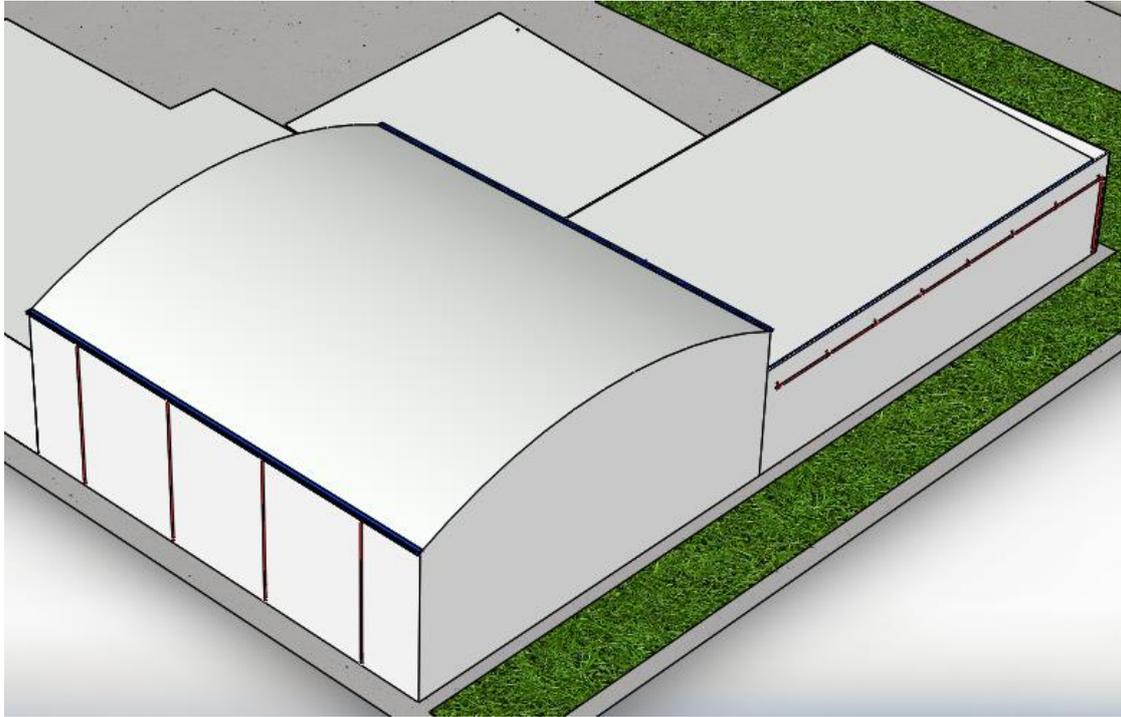


Figura 4.4. Vista 3D do sistema dando ênfase a parte traseira e lateral esquerda.

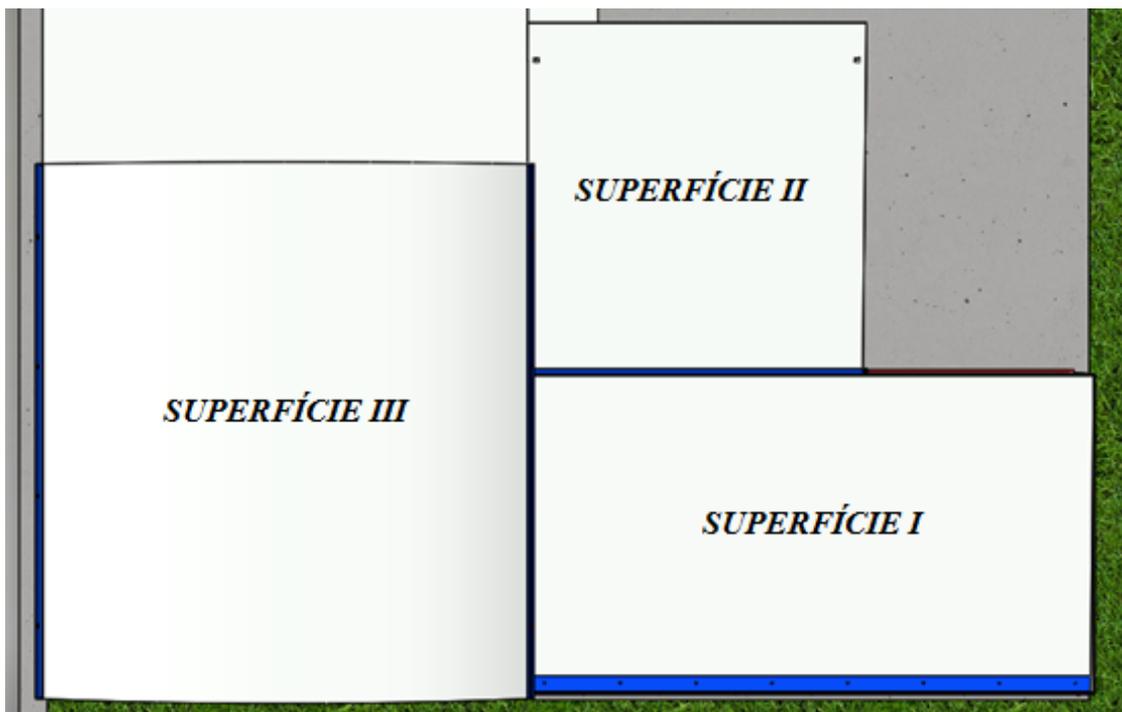


Figura 4.5. Vista superior do sistema com as 3 áreas de captação e as calhas.

Como já descrito no Capítulo 3, tem-se uma vasta área de captação de água da chuva e grandes oportunidades de melhoria do sistema. No decorrer do capítulo serão analisadas essas possibilidades.

4.2 PROPOSTA DE PERCURSO PARA AUMENTO DA ÁREA DE CAPTAÇÃO.

Analisando as considerações feitas na seção 3.6 de forma a aumentar a área de captação do sistema, foi feito um esquema 3D, considerando as alterações propostas.

Deve-se instalar um sistema de tubulações na parte inferior traseira do antigo DPA que conduza a água que é escoada pelas tubulações já existentes da calha traseira e fazer um percurso que leve essas tubulações até o reservatório, como mostrado na Figura 4.6.

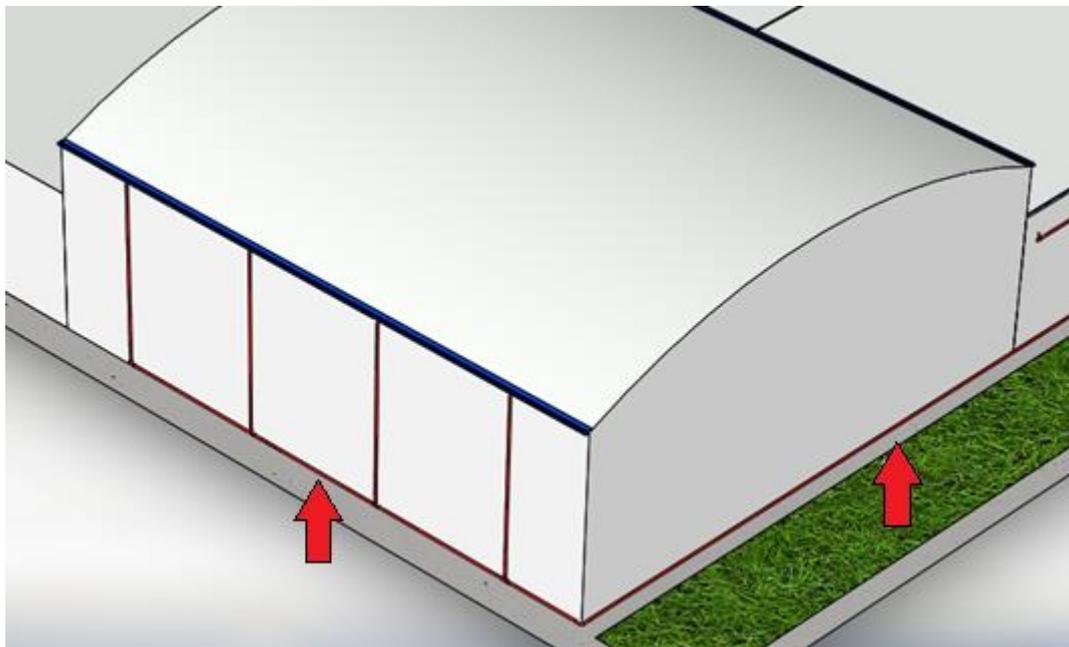


Figura 4.6. Vista traseira e parcial lateral esquerda do sistema de captação com as tubulações instaladas para o novo percurso de captação.

Outra alteração que deve ser feita é a ligação do tubo condutor que sai da calha do telhado anexo ao novo DPA no reservatório, como mostrado na Figura 4.7.

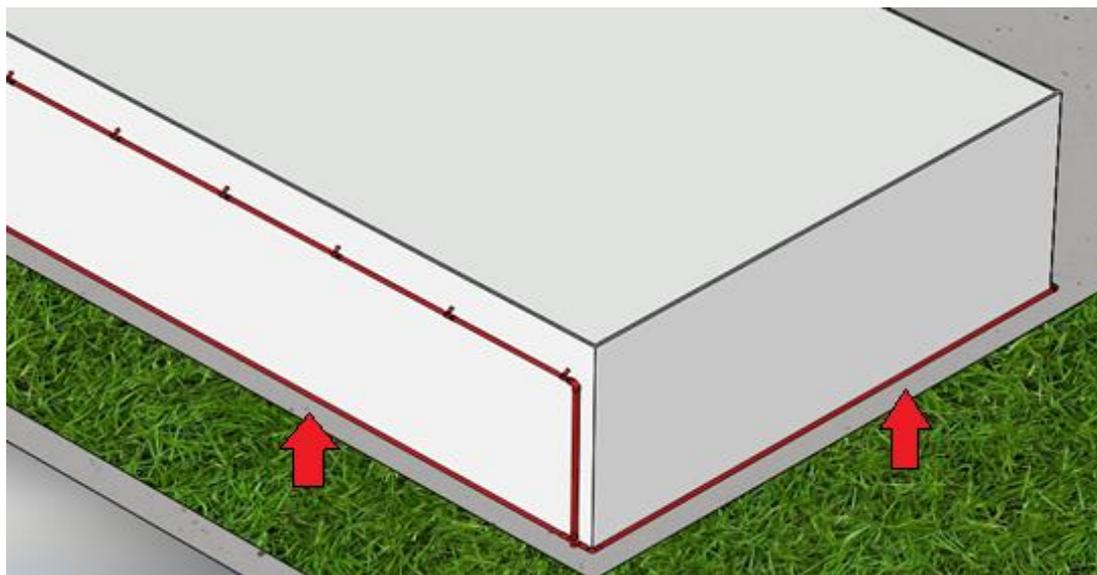


Figura 4.7. Esquema do sistema com os novos percursos de tubulações instalados para conduzir a água captada até o reservatório.

Com o advento desses percursos é possível aumentar de 948 m² para um **total de 2152 m² de área de captação**, o que levaria a um **aumento de 127%** na área de captação atual.

4.3 PROPOSTA E SELEÇÃO DE PERCURSO PARA O SISTEMA DE APROVEITAMENTO DA ÁGUA CAPTADA.

Tem-se diversas propostas para destinação da água que será captada pelo sistema.

Para facilitar a visualização da fábrica como um todo, no Anexo V tem-se a planta baixa completa do complexo industrial. No decorrer do texto, serão mostradas partes dessa planta.

Na Figura 4.8, tem-se uma parte da planta que mostra onde está localizado todo o sistema de captação de águas pluviais.

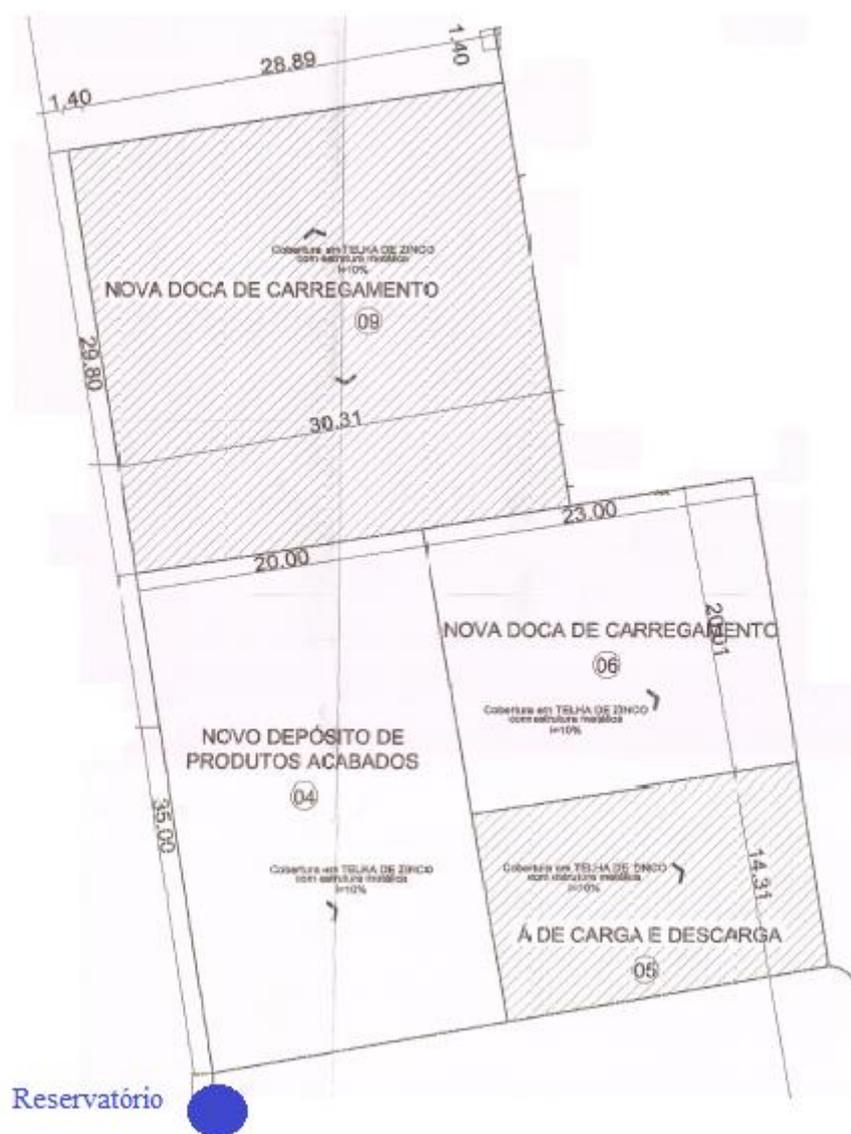


Figura 4.8. Planta baixa da Bunge com ênfase nas superfícies de captação e onde será posicionado o reservatório.

A seguir, tem-se alternativas de destino para essa água que será captada, serão analisadas todas as possibilidades e a viabilidade de cada percurso.

1) Primeira possibilidade de aproveitamento:

- Para o primeiro percurso será analisada a possibilidade de instalação de tubulações que vão do reservatório até o setor administrativo, que possui 5 banheiros que são muito utilizados durante todo dia. Esses banheiros, assim como algumas torneiras utilizadas para limpeza nesse setor, são abastecidos por uma caixa d'água potável que fica no teto do setor administrativo que, além disso, alimenta o refeitório e a padaria da fábrica e está localizada acerca de 30 metros de onde está o reservatório do sistema de captação. Pela Figura da seção 3.3.2 é possível ver que nesse setor é consumido 43% do total mensal de água da fábrica, porém entre essas tarefas descritas, as únicas que utilizam água não potável são para descargas dos sanitários, que correspondem a 12% do total.

- Sendo assim, há a possibilidade de se instalar uma nova caixa d'água no teto do setor administrativo que será abastecida pela Caesb, desviar as tubulações que abastecem o refeitório e a padaria (que utilizam água potável) da antiga caixa d'água para essa nova e projetar um percurso de tubulações que saia do reservatório e bombeie água para essa caixa d'água antiga que irá abastecer apenas os sanitários dos banheiros do setor administrativo, dessa forma proporcionando uma diminuição no consumo de água nesse setor, como calculado na seção 3.3.2 em torno de 78 mil litros de água por mês.

- Porém, como já exposto, para efetivação desse percurso, seria necessária uma grande mudança em todas as tubulações que abastecem o setor administrativo, correndo o risco de haver conexões cruzadas. Portanto, foi decidido que este percurso não será realizado.

2) Segunda possibilidade de aproveitamento:

- Ainda no setor administrativo, tem-se a possibilidade de fazer um percurso de tubulações saindo do reservatório de armazenamento de águas pluviais e sendo conduzido até a área externa do setor administrativo onde torneiras serão instaladas de forma a atender as necessidades de limpeza do próprio administrativo e das áreas externas próximas a esse prédio, além de lavagem de todos os banheiros. Esse será o 1º destino do percurso e as torneiras estarão distantes aproximadamente 20 m do reservatório, conforme mostrado na Figura 4.9. Todo esse percurso seria feito de forma enterrada. As dimensões e comprimentos das tubulações condutoras, além das conexões serão selecionadas.



Figura 4.10. Planta baixa da Bunge especificando o 2º e 3º percurso do sistema de distribuição.

Dessa forma, com o advento desses 3 percursos para o sistema de aproveitamento da água captada, que seriam utilizados para limpeza geral do complexo fabril, tem-se, de acordo com a análise feita na seção 3.3.2, uma economia em torno de 187 mil litros de água mensalmente.

5 DIMENSIONAMENTO DOS COMPONENTES DO SISTEMA

Este capítulo apresenta o dimensionamento dos componentes que fazem parte de todos os sistemas do projeto. É realizada também uma análise de perda de carga, tensões e flexibilidade. Além disso, tem-se desenhos 3D de cada sistema e do sistema completo.

5.1 INTRODUÇÃO.

No capítulo 2 foi levantada uma revisão teórica acerca dos assuntos relacionados ao projeto do sistema de captação de águas pluviais. Foram dispostos os acessórios e componentes do sistema, assim como seus materiais, tipos e aplicações. Além disso, foi realizada uma análise sobre a metodologia do dimensionamento hidráulico, estrutural e mecânico que devem ser considerados no cálculo e na seleção dos componentes do sistema. No decorrer desse capítulo, serão dimensionados todos esses componentes e realizada toda análise necessária para o projeto.

Para melhor compreensão do sistema como um todo, o dimensionamento foi separado da seguinte maneira:

- Seção 5.2: Critérios de parâmetro do projeto – serão levantados todos os critérios exigidos por norma para o dimensionamento dos componentes.

- Seção 5.3: Dimensionamento do reservatório – envolve todo o processo de armazenagem das águas pluviais por meio de um reservatório dimensionado com base nas normas da ABNT NBR 15527 e 10844, além de todos os componentes.

- Seção 5.4: Dimensionamento do sistema de captação de águas pluviais – envolve todos os condutores horizontais e verticais, calhas e conexões do sistema que irá captar a água da chuva das superfícies e irá conduzi-la para o sistema de armazenagem (reservatório). Envolve também o dimensionamento do sistema de sucção e recalque.

- Seção 5.5: Dimensionamento do sistema de distribuição das águas pluviais – envolve toda parte de endereçamento da água captada pelo reservatório para os destinos selecionados e todo percurso realizado. Serão dimensionados os tubos, as conexões e outros componentes do sistema (válvulas).

- Seção 5.6: Dimensionamento hidráulico (análise de perda de carga e energia disponível) – envolve toda a análise de perda de carga e energia disponível do sistema para verificar a necessidade do sistema de bombeamento e, se necessário, dimensioná-lo.

- Seção 5.7: Análise de tensões – verificação do sistema quanto às tensões e os modos de falha.

- Seção 5.8: Análise de flexibilidade – verificação do sistema quanto a flexibilidade.

- Seção 5.9: Desenhos do sistema completo – figuras finais do projeto com todo o sistema.

Todos os dados, tabelas, equações e dimensionamentos são baseados nas normas ABNT NBR 10844:1989, NBR 15527:2007 e NBR 5626:1998.

5.2 CRITÉRIOS DE PROJETO DO SISTEMA.

O projeto de um sistema de captação de águas pluviais tem diversas variáveis definidoras. É de extrema importância que todas sejam levantadas com a maior confiabilidade possível, pois influenciam diretamente no custo e na segurança do projeto. Essas variáveis irão servir primordialmente para o dimensionamento do reservatório, que é o item mais oneroso do sistema de captação e utilização de água da chuva, devendo, portanto, ser dimensionado de forma bastante criteriosa. Seu custo pode representar entre 50% e 85% do valor total do sistema. Essas variáveis serão as seguintes:

- Regime de chuvas local: A média pluviométrica anual da região, distribuição destas durante o ano, o período de estiagem e a variação ano a ano serão decisivos no dimensionamento do reservatório. Altos índices pluviométricos e distribuições mais constantes das precipitações ao longo do ano permitem a utilização de menores volumes de armazenamento.
- Área de captação: A quantidade de água que poderá ser captada é função da área disponível, sendo este um dos parâmetros necessários para cálculo do reservatório.
- Demanda: A quantidade e o tipo de demanda são fundamentais para determinar o tamanho do reservatório. Vários fatores devem ser observados: população residente, hábitos de usos e tipos de consumo aos quais será destinada a água pluvial.
- Nível de risco aceitável: O tipo de consumo a que será destinada a água de chuva e a existência de outras fontes para suprimento deste, implicará no grau de risco aceitável ao esvaziamento do reservatório influenciando no seu dimensionamento.

5.2.1 MÉDIA PLUVIOMÉTRICA DE BRASÍLIA.

Para definir o regime de chuvas local, foi analisada a média pluviométrica anual em Brasília. Para tal, foram levantados os dados do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) nos últimos 15 anos (2000 até 2015), de forma a se buscar uma uniformidade nos dados e uma média mais próxima da realidade do regime de chuvas anual local. Os dados encontram-se na Figura 5.1.



Figura 5.1. Precipitação média anual entre os anos 2000 e 2015. Fonte: (INMET, 2016).

Como pode-se notar, a média pluviométrica anual entre todos esses anos foi de 1514 mm, o que corresponde a uma precipitação média anual de 1,514 m³/m².

Com base nessa média entre os 15 anos observados, foi realizado um levantamento da precipitação média por mês dos anos. A Figura 5.2 evidencia a média de todos os meses nesses anos e por meio dele é possível observar o período de estiagem característico de Brasília.

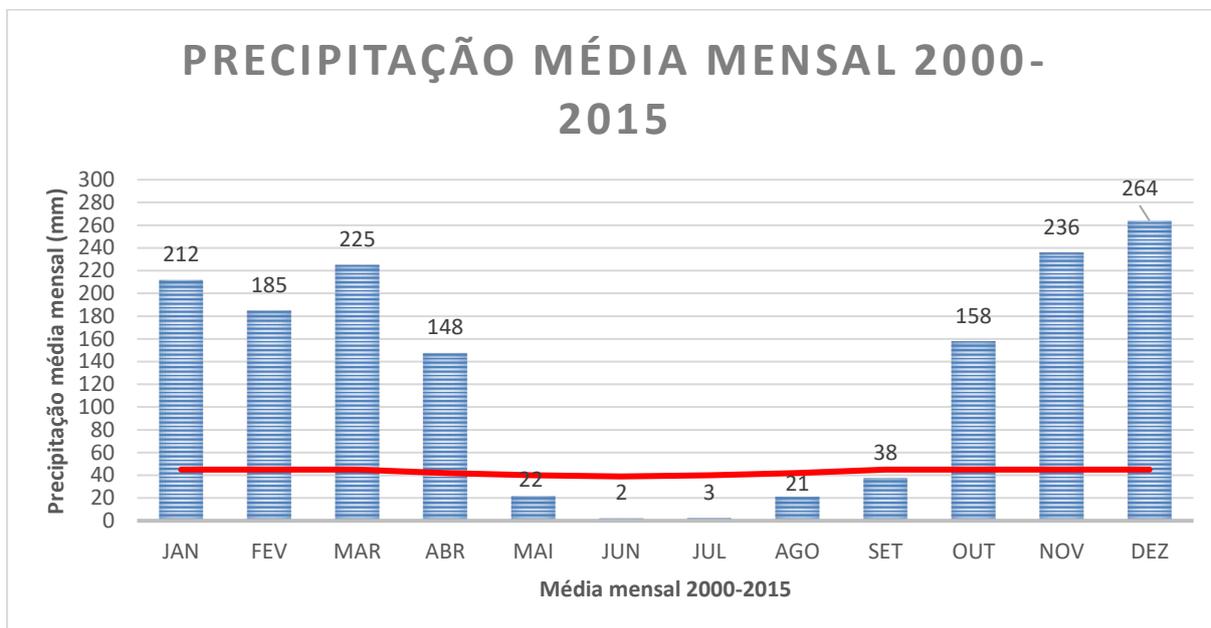


Figura 5.2. Precipitação pluviométrica média mensal entre 2000-2015. Fonte: (INMET, 2016).

À medida de comparação, na Figura 5.3 tem-se a média pluviométrica anual do ano de 2015.

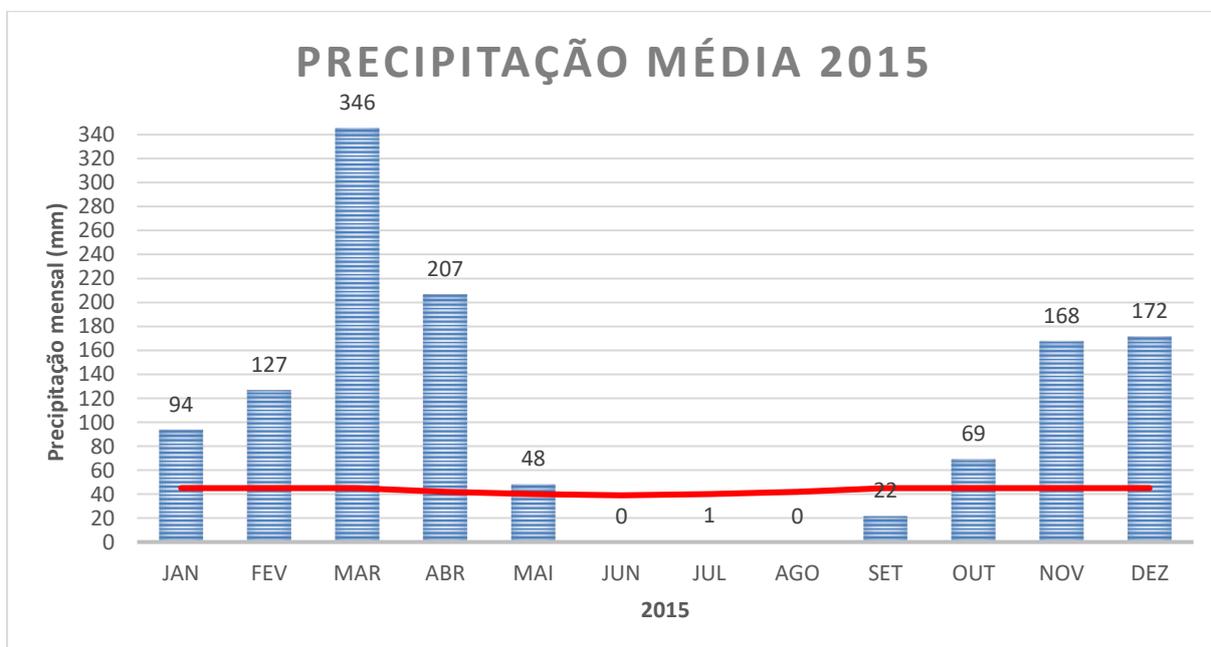


Figura 5.3. Precipitação mensal do ano de 2015. Fonte: (INMET, 2016).

No ano de 2015 a média pluviométrica anual foi de 1253 mm, o que corresponde a uma precipitação média de 1,254 m³/m².

Como pode-se notar, comparando com a média dos anos de 2000-2015, 2015 foi um ano de chuvas inconstantes e abaixo da média (a 2ª menor precipitação anual nesses 15 anos), porém o período de estiagem permanece o mesmo.

Dessa forma, serão utilizados os dados do gráfico da FIGURA 2 que contém uma média dos últimos 15 anos e, como já dito anteriormente, tem uma **média pluviométrica anual de 1514 mm**, o que corresponde a uma precipitação média anual de 1,514 m³/m².

Em vermelho tem-se a média pluviométrica crítica mensal e, como pode-se observar do gráfico, em Brasília tem-se 5 meses críticos de estiagem, com precipitação média abaixo dos 40 mm, sendo eles de maio a setembro. Este fato é de extrema importância para o dimensionamento, pois permite ao projetista dimensionar o reservatório com base no número de meses de estiagem que se deseja atender com a água armazenada no reservatório.

5.2.2 FATORES METEOROLÓGICOS.

- Intensidade pluviométrica “I”:

A determinação da intensidade pluviométrica “I”, para fins de projeto, deve ser feita a partir da fixação de valores adequados para a duração de precipitação e o período de retorno. Tomam-se como base dados pluviométricos locais.

A intensidade pluviométrica é o quociente entre a altura pluviométrica precipitada num intervalo de tempo e este intervalo. De acordo com a norma, pode-se adotar uma **intensidade pluviométrica (I) de 150 mm/h** para construção de até 100 m² de área de projeção horizontal.

- Período de retorno “T”:

O período de retorno deve ser fixado segundo as características da área a ser drenada, obedecendo ao estabelecido a seguir:

- T = 1 ano, para áreas pavimentadas, onde empoçamentos possam ser tolerados;
- T = 5 anos, para coberturas ou terraços;
- T = 25 anos, para coberturas ou áreas onde empoçamento não possa ser tolerado.

Para o caso da Bunge, deve ser considerado um **período de retorno (T) de 5 anos** para coberturas ou terraços.

- Duração de precipitação “t”:

Por norma, a duração de precipitação deve ser fixada em t = 5 min.

A ação dos ventos deve ser levada em conta através da adoção de um ângulo de inclinação da chuva em relação à horizontal igual a $\text{arc tg}^2 \theta$, para o cálculo da quantidade de chuva a ser interceptada por superfícies inclinadas ou verticais. O vento deve ser considerado na direção que ocasionar maior quantidade de chuva interceptada pelas superfícies consideradas, como mostrado na Figura 5.4.

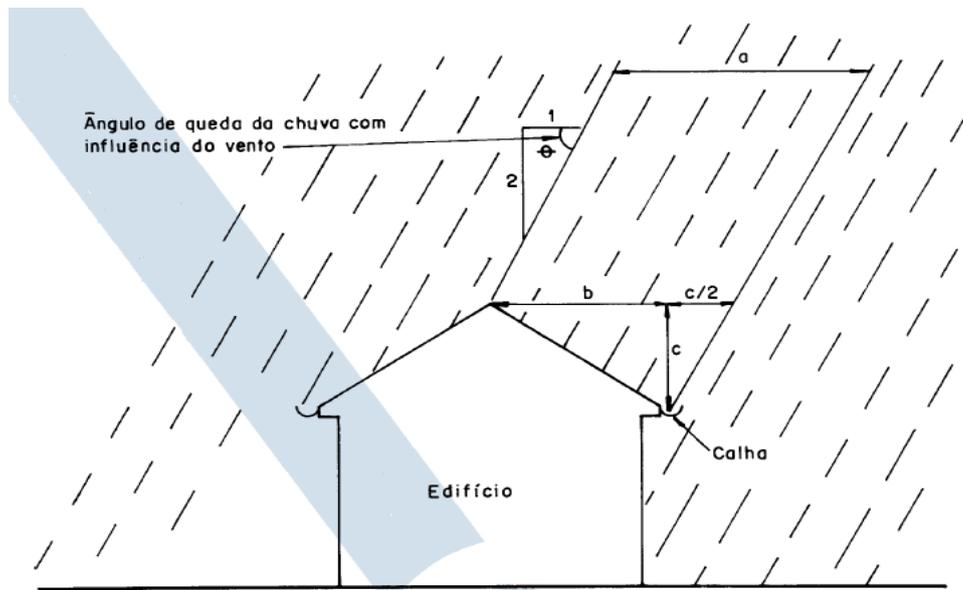


Figura 5.4. Influência do vento na inclinação da chuva. Fonte: Reprodução (ABNT NBR 10844, 1989).

5.2.3 ÁREA DE CONTRIBUIÇÃO.

Muitas vezes confunde-se o conceito de área de contribuição com o de área de captação. A área de contribuição é a soma das áreas das superfícies que, interceptando chuva, conduzem águas para determinado ponto da instalação, já a área de captação envolve toda a superfície que poderá captar a água da chuva. Para o cálculo da área de contribuição, deve-se considerar os incrementos devidos à inclinação da cobertura e às paredes que interceptam água de chuva que também deva ser drenada pela cobertura.

Para cálculo da área de contribuição, foram analisadas as superfícies de acordo com a Figura 5.5. Para as 3 superfícies, pode ser considerada a configuração b (superfície inclinada) da NBR 10844:1989.

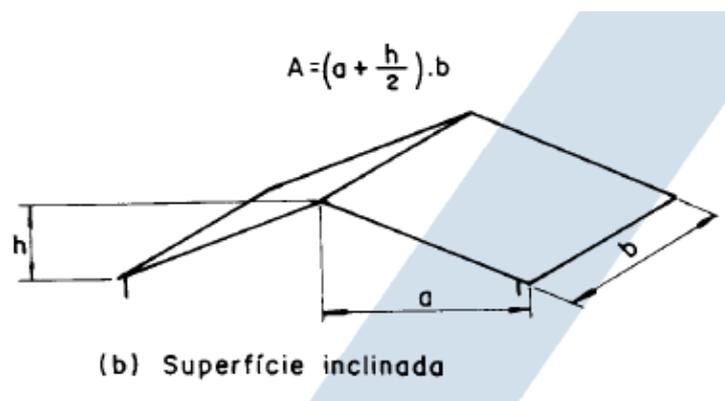


Figura 5.5. Indicações para cálculos da área de contribuição. Fonte: Reprodução (ABNT NBR 10844, 1989).

Portanto, para o cálculo da área de contribuição será utilizada a seguinte fórmula:

$$A = \left(a + \frac{h}{2}\right) \cdot b \quad (5.1)$$

Onde A é a área de contribuição em m^2 , a e b são medidas horizontais dos lados conforme mostrado na Figura 5.5 em m e h é a altura da inclinação em m .

A superfície I (novo depósito de produtos acabados), terá a seguinte configuração.

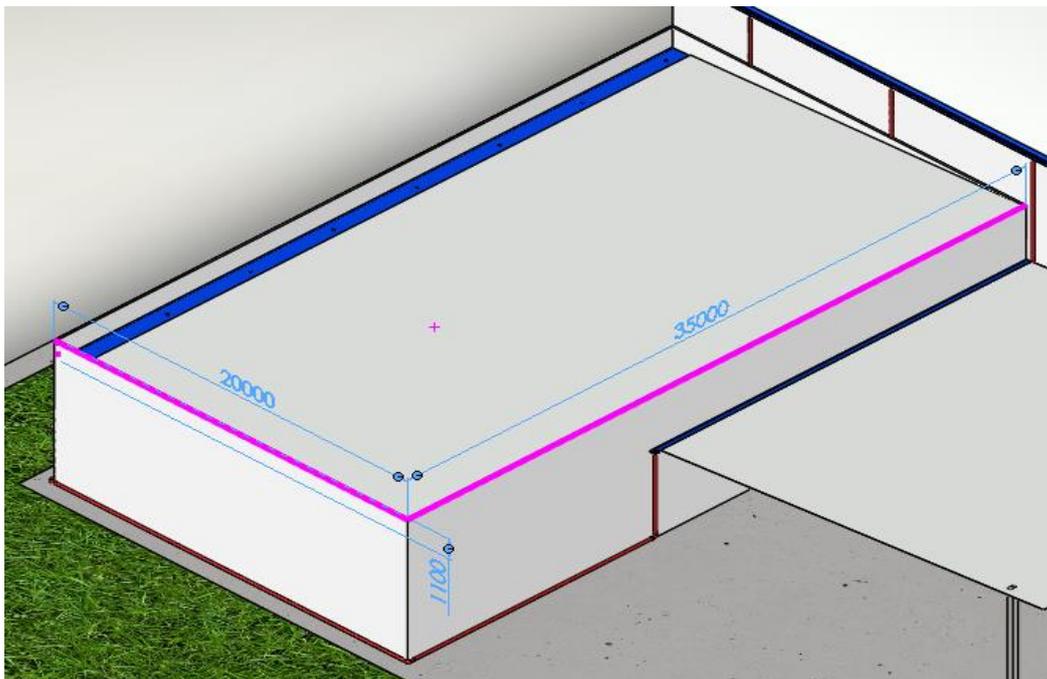


Figura 5.6. Medidas em mm para cálculo da área de contribuição da superfície I.

Para a superfície I: $a = 20000$ mm, $b = 35000$ e $h = 1100$ mm, portanto:

$$A_I = 718,38 \text{ m}^2$$

A superfície II terá os valores de acordo com a Figura 5.7:

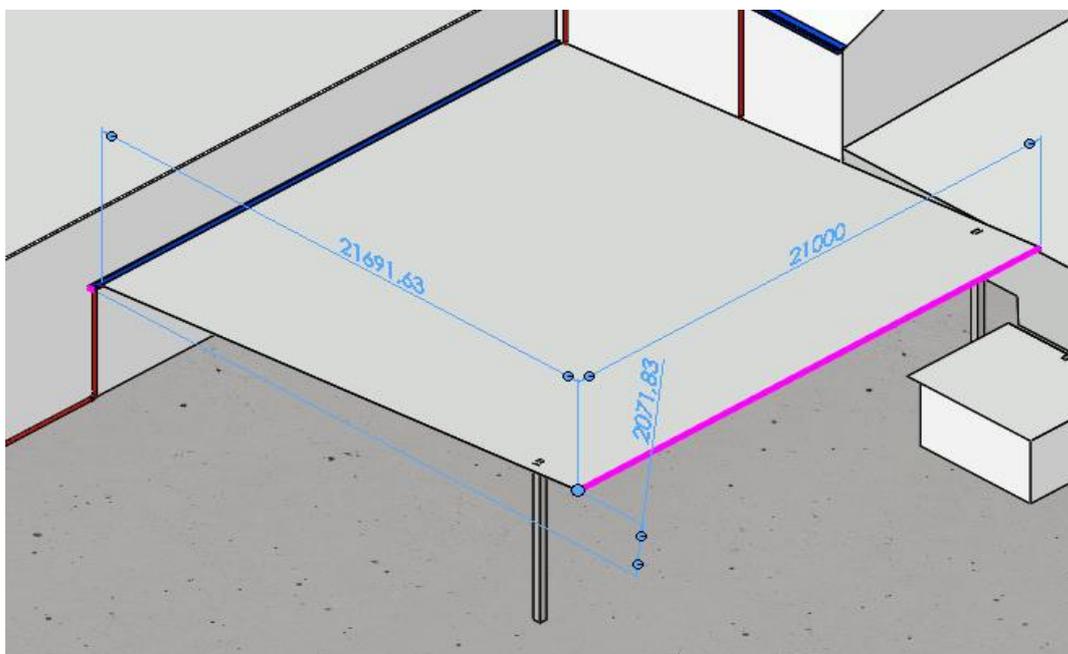


Figura 5.7. Medidas em mm para cálculo da área de contribuição da superfície II.

Onde, $a = 21700$ mm, $b = 21000$ e $h = 2072$ mm, portanto tem-se uma área de contribuição de:

$$A_{II} = 476,41 \text{ m}^2$$

Já a superfície III (antigo depósito de produtos acabados), tem-se a seguinte configuração e dimensões de acordo com a Figura 5.8.

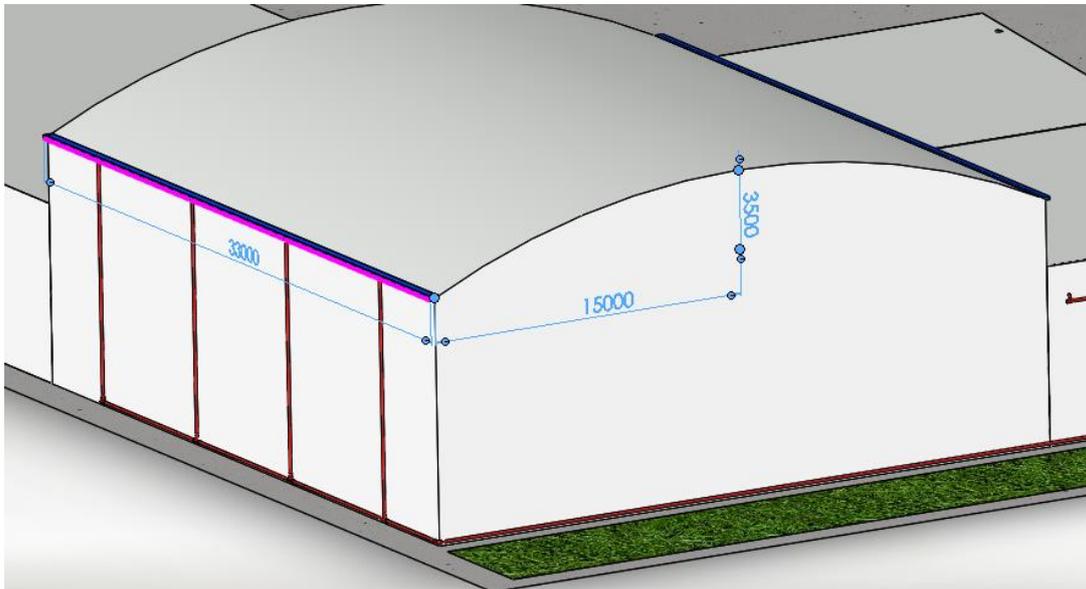


Figura 5.8. Medidas em mm para o cálculo da área de contribuição da superfície III.

Onde: $a = 15000$ mm, $b = 33000$ mm e $h = 3500$ mm, sendo assim:

$$A_{III} = 552,75 \text{ m}^2$$

Porém, pode-se considerar que as superfícies I e II recebem cada 50% da outra metade da área de contribuição da superfície III. Portanto, as áreas de contribuição finais serão:

$$A_I = 994,75 \text{ m}^2$$

$$A_{II} = 752,78 \text{ m}^2$$

$$A_{III} = 552,75 \text{ m}^2$$

Dessa forma, somando as 3 superfícies, tem-se uma área de contribuição total de:

$$A_{c,total} = A_I + A_{II} + A_{III} \quad (5.2)$$

$$A_{c,total} = 994,75 + 752,78 + 552,75 = 2300 \text{ m}^2$$

5.2.4 VAZÃO DE PROJETO.

A vazão de projeto é a vazão de referência para o dimensionamento de condutores e calhas. Ela deve ser calculada pela Equação 5.3.

$$Q = \frac{I \cdot A}{60} \quad (5.3)$$

Onde a vazão de projeto (Q) é dada em L/min , a intensidade pluviométrica (I) em mm/h e a área de contribuição (A) em m^2 .

Serão calculadas vazões de projeto para cada superfície e a vazão de projeto total.

$$Q_I = \frac{150.994,75}{60} = 2487 \text{ L/min}$$

$$Q_{II} = \frac{150.752,78}{60} = 1882 \text{ L/min}$$

$$Q_{III} = \frac{150.552,75}{60} = 1382 \text{ L/min}$$

$$Q_{total} = 5751 \text{ L/min}$$

5.2.5 ÁREA DE CAPTAÇÃO.

Coberturas como telhados, lajes, pátios e outras áreas impermeáveis podem ser utilizados como área de captação. O tamanho desta está diretamente relacionado ao potencial de água da chuva possível de ser aproveitada, enquanto isso, o material da qual é formada influenciará na qualidade da água captada e nas perdas por evaporação e absorção.

O sistema de captação de águas pluviais da Bunge, terá uma área de captação de **2152 m²** após todos os ajustes e percursos feitos conforme descrito no capítulo 4.

5.2.6 DEMANDA, USO FIM E CONSUMO DA ÁGUA.

A água coletada pode ser requerida, em seu uso fim, como água não-potável, ou mesmo potável. Esta característica influencia sobremaneira a complexidade do sistema haja vista que ao necessitar-se de água potável deve-se empregar sistemas de purificação de água, como cloração, injeção de ozônio, entre outros para que se garanta esta característica.

Porém, para o sistema de captação e aproveitamento de água da chuva na Bunge será utilizada a água proveniente desse sistema para fins não potáveis.

Portanto, como descrito no capítulo 3, a demanda total de água potável na fábrica se dá em torno de 61%. Isso abre um grande leque de oportunidades para que o sistema de captação de águas pluviais forneça os outros 39% de água restante, algo em torno de 265 mil litros por mês que são consumidos em outras tarefas na fábrica para fins não potáveis e que atualmente estão utilizando água potável.

Foi feita então a análise da viabilidade estrutural para a criação de percursos e posterior utilização dessa água captada para os banheiros (nas descargas de sanitários), porém, devido à grande complexidade exigida por esse projeto (de acordo com a norma NBR 15527, não pode haver conexão cruzada entre as tubulações de água potável e de água coletada não-tratada), como já exposto no capítulo 4, foi tomada a decisão dessa água captada ser utilizada apenas nos processos de limpeza geral do complexo fabril, o que economizaria em torno de **187 mil litros de água mensalmente**. Essa será a demanda exigida da água captada para fins não potáveis.

5.3 DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO.

Geralmente, durante os processos de dimensionamento de reservatório para água de chuva, procura-se construir grandes reservatórios buscando com isso regularizar a vazão, ou seja, acumular água durante o período chuvoso, para ser utilizada durante a estiagem. Essa lógica aplica-se muito bem

a regiões que não dispõem de outras fontes. Porém, no dimensionamento de sistemas para área urbana que, frequentemente, possui sistemas públicos de abastecimento de água e inexistência de áreas livres para instalação de grandes volumes de reserva, deve-se adotar uma outra lógica. Nestas regiões a utilização de água pluvial deve funcionar como uma fonte complementar, que será utilizada durante o período de chuvas, permitindo, porém, que este sistema seja abastecido pela rede pública durante as estiagens.

Na Figura 5.9 são mostrados os tipos de reservatórios.

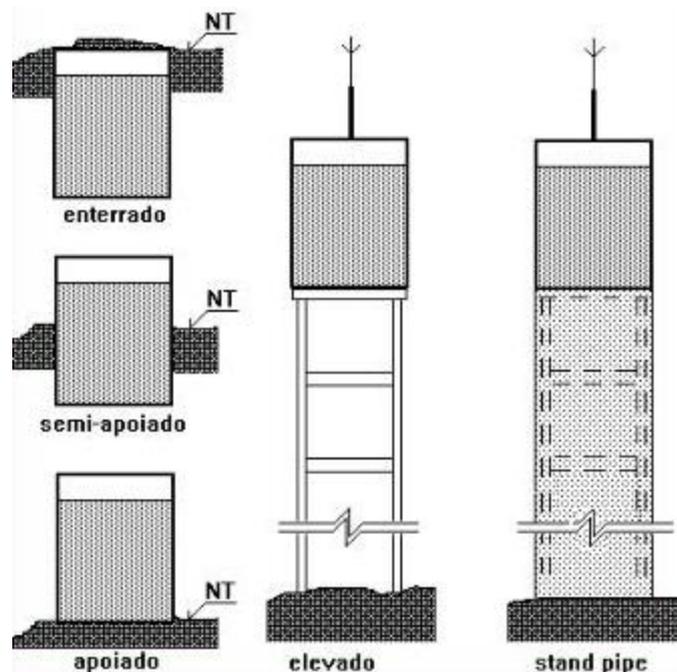


Figura 5.9. Tipos de reservatórios. Fonte: (TOMAZ, 2009).

Os reservatórios devem ser construídos como se fosse para armazenamento de água potável devendo serem tomados os devidos cuidados para não contaminar a água de chuva coletada dos telhados.

Segundo a ABNT NBR 15527, devem ser considerados no projeto do reservatório: extravasor (vertedouro), descarga de fundo ou bombeamento para limpeza, cobertura, inspeção, ventilação e segurança.

Os reservatórios devem ser limpos e desinfetados com solução de derivado clorado, no mínimo uma vez por ano de acordo com a ABNT NBR 5626.

O volume não aproveitável da água de chuva, pode ser lançado na rede de galerias de águas pluviais, na via pública ou ser infiltrado total ou parcialmente, desde que não haja perigo de contaminação do lençol freático.

A descarga de fundo pode ser feita por gravidade ou por bombeamento.

A água reservada deve ser protegida contra a incidência direta da luz solar e calor, bem como de animais que possam adentrar o reservatório através da tubulação de extravasão.

Foram identificados na literatura diversos modelos e métodos para dimensionamento de reservatórios. Basicamente os modelos calculam o balanço entre a quantidade de chuva captada e a

demanda para esta água, utilizando como parâmetros a precipitação local, a área de captação e consumo. (THOMAS, 2001)

A norma ABNT NBR 15527:2007, que apresenta os requisitos para aproveitamento de água de chuva em áreas urbanas para fins não potáveis, contém alguns métodos para dimensionamento de reservatório para água pluvial, são eles:

- 1) Método Rippl;
- 2) Método da simulação;
- 3) Método prático alemão;
- 4) Método prático inglês;
- 5) Método prático australiano;
- 6) Método Azevedo neto.

A norma afirma que qualquer um dos métodos pode ser empregado e, em virtude de sua maior aplicabilidade ao contexto considerado, opta-se pela utilização do método prático alemão, sendo este um método empírico, no qual se toma o menor valor do volume do reservatório; 6% do volume anual de consumo (D) ou 6% do volume de precipitação aproveitável (V). Ou seja, permite o cálculo estimado do volume do reservatório, considerando uma margem de segurança que engloba vazamentos, descarte inicial de primeiras chuvas e meses de estiagem (pouca ou nenhuma chuva). Este método apresenta a seguinte relação:

$$V = \text{MIN} (V; D) \times 0,06 \quad (5.4)$$

Onde D é o valor anual da demanda de água não potável em litros e V é o valor numérico do volume de água aproveitável em litros, e é calculado da seguinte forma:

$$V = P \times A \quad (5.5)$$

Onde P é o valor da precipitação média anual, expresso em milímetros e A é o valor numérico da área de coleta em projeção, expresso em m².

Portanto, o dimensionamento do reservatório subterrâneo se dará com os seguintes dados:

- Área de captação: $A = 2152 \text{ m}^2$;
- Média pluviométrica anual esperada: $P = 1514 \text{ mm} = 1,514 \text{ m}$;
- Volume pluviométrico de água aproveitável (Método Prático Alemão) pela Equação 5.5:

$$V = P \times A$$

$$V = 1,514 \times 2.152 = 3258,128 \text{ m}^3 = 3.258.128 \text{ L}$$

- Consumo de água não potável: $D = 187.000 \text{ L/mês} = 2.244.000 \text{ L/ano}$;
- De acordo com o Método Prático Alemão, tem-se da Equação 5.4:

$$V = \text{MIN} (V; D) \times 0,06$$

$$V = 2244000 \times 0,06 = \mathbf{134.640 \text{ L}}$$

Tem-se então que o volume de água do reservatório, em litros, exigido pela demanda de água não potável na fábrica é de 134.640 litros. Para fins de seleção comercial, foi adotado um volume nominal para o dimensionamento do reservatório de:

$$V_{nominal} = 150.000 \text{ litros}$$

Analisando os reservatórios com fornecedores, foi visto que o reservatório ideal para essa capacidade seria o apoiado. Tal reservatório teria uma altura média de 15,6 m e um diâmetro de 3,5 m.

Na Figura 5.10 tem-se o reservatório que será selecionado para o armazenamento da água captada pelo sistema.



Figura 5.10. Reservatório apoiado de 15 m de altura e 3,5 de diâmetro para capacidade de 150 mil litros.

5.4 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE CAPTAÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS.

Nas seções a seguir, serão dimensionados todos os componentes do sistema de captação de águas pluviais. As calhas, os condutores horizontais e verticais e as conexões que fazem parte do sistema de captação das 3 superfícies analisadas serão dimensionados de acordo com as normas da ABNT já descritas. Será analisada a necessidade de um sistema de sucção e recalque para o sistema também.

Além disso, terão desenhos em 3D mostrando todo o segmento dos componentes com sua respectiva numeração para facilitar a visualização de cada um.

5.4.1 DESENHOS PARA VISUALIZAÇÃO DOS COMPONENTES.

Para facilitar a demonstração das calhas, condutores verticais e horizontais e conexões do sistema de captação que serão dimensionados nas seções a seguir, foram feitos fluxogramas no projeto 3D, especificando por superfície a numeração de cada componente.

As seções a seguir terão tabelas com os respectivos números de cada componente e seu dimensionamento.

Para diferenciar os componentes do sistema, tomou-se a seguinte simbologia:

- (Quadrado): conexões;
- (Círculo): condutores horizontais e verticais;
- △ (Triângulo): calhas.

Na Figura 5.11 tem-se a numeração dos componentes da superfície de captação I.

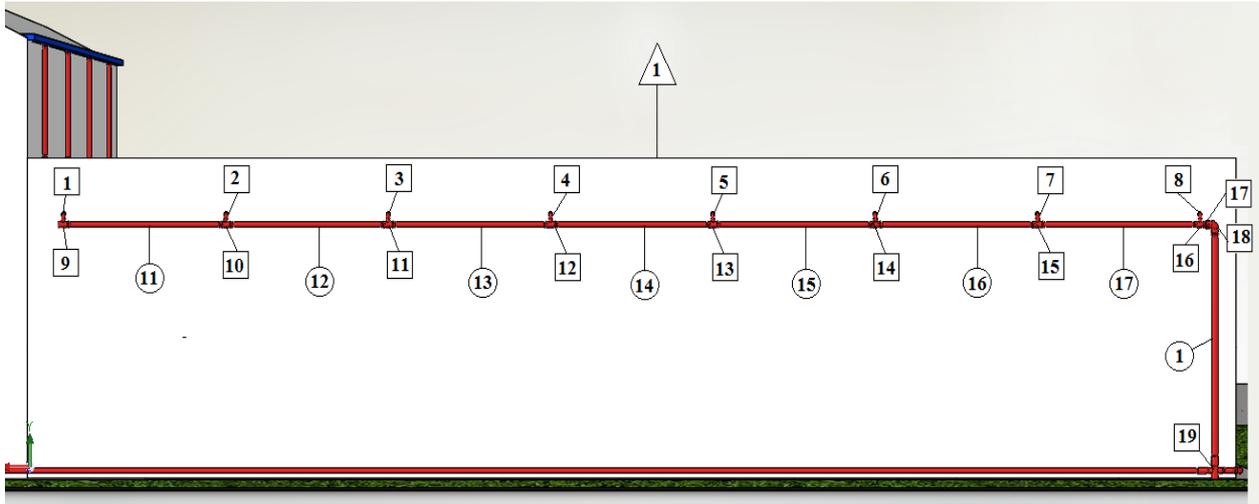


Figura 5.11. Esquema com numeração dos componentes da superfície I.

Na Figura 5.12, tem-se os componentes numerados da superfície II.

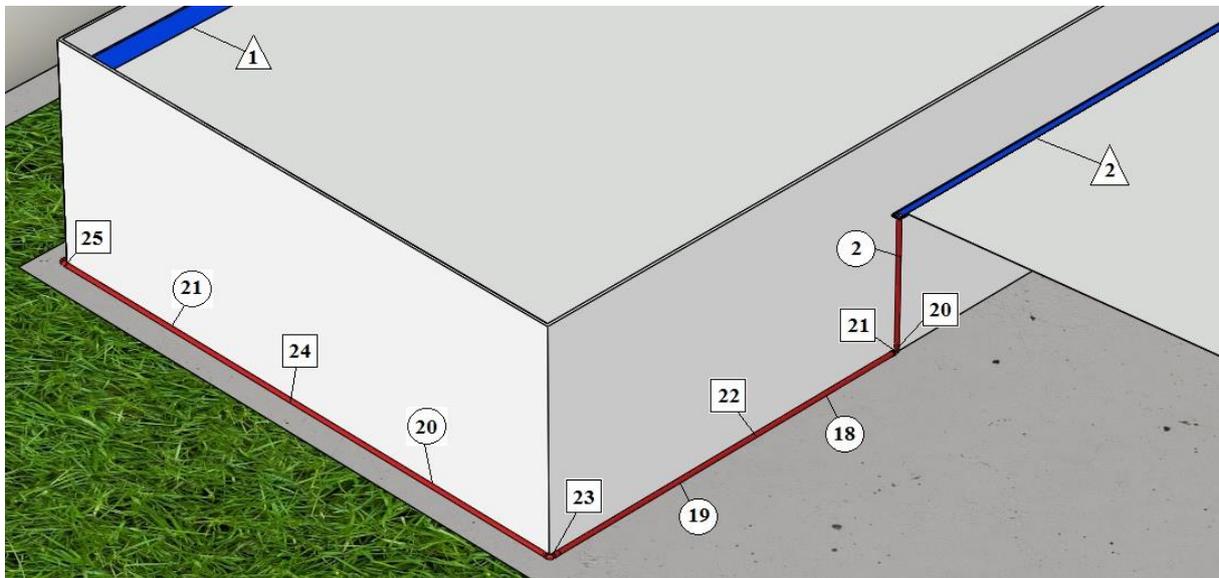


Figura 5.12. Esquema com numeração dos componentes da superfície II.

Nas Figuras 5.13 e 5.14, tem-se os componentes da superfície de captação III.

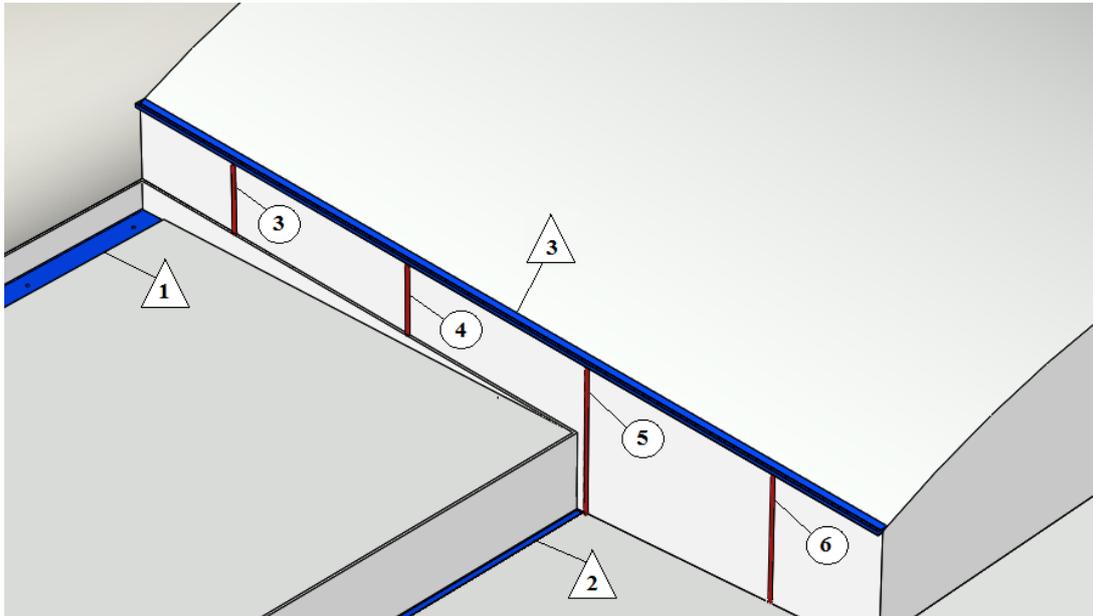


Figura 5.13. Esquema com numeração dos componentes da superfície III.

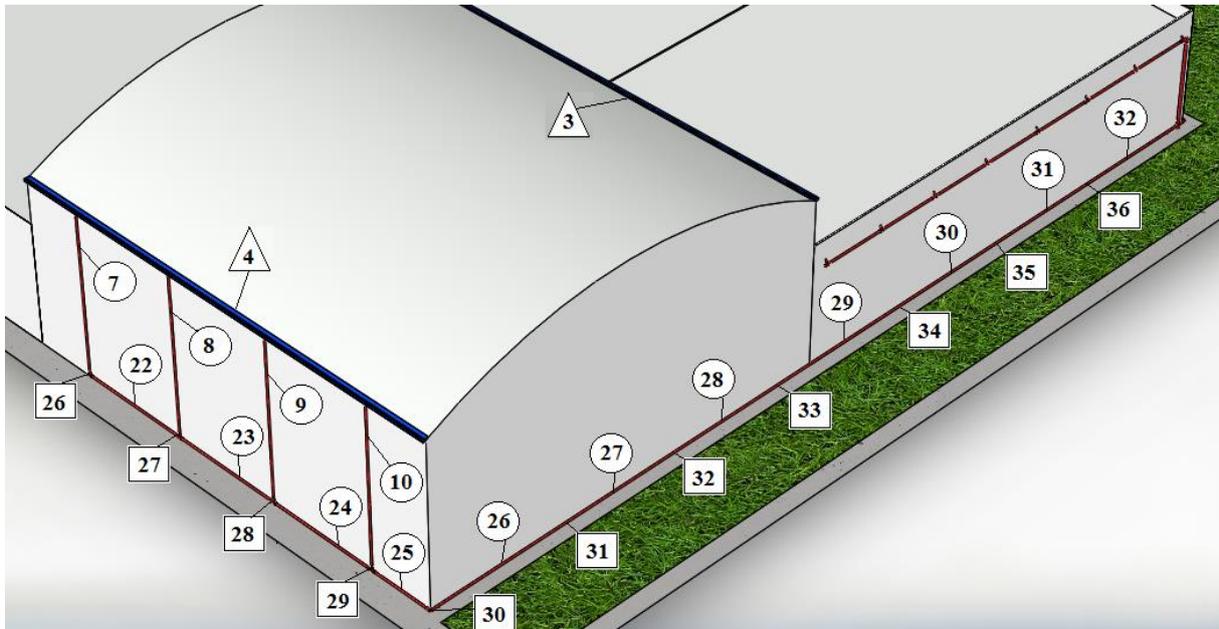


Figura 5.14. Esquema com numeração dos componentes da superfície III.

Na Figura 5.15 tem-se o posicionamento de todos os componentes do sistema de captação em uma vista em perspectiva sem a estrutura e com o reservatório posicionado no local onde será instalado.

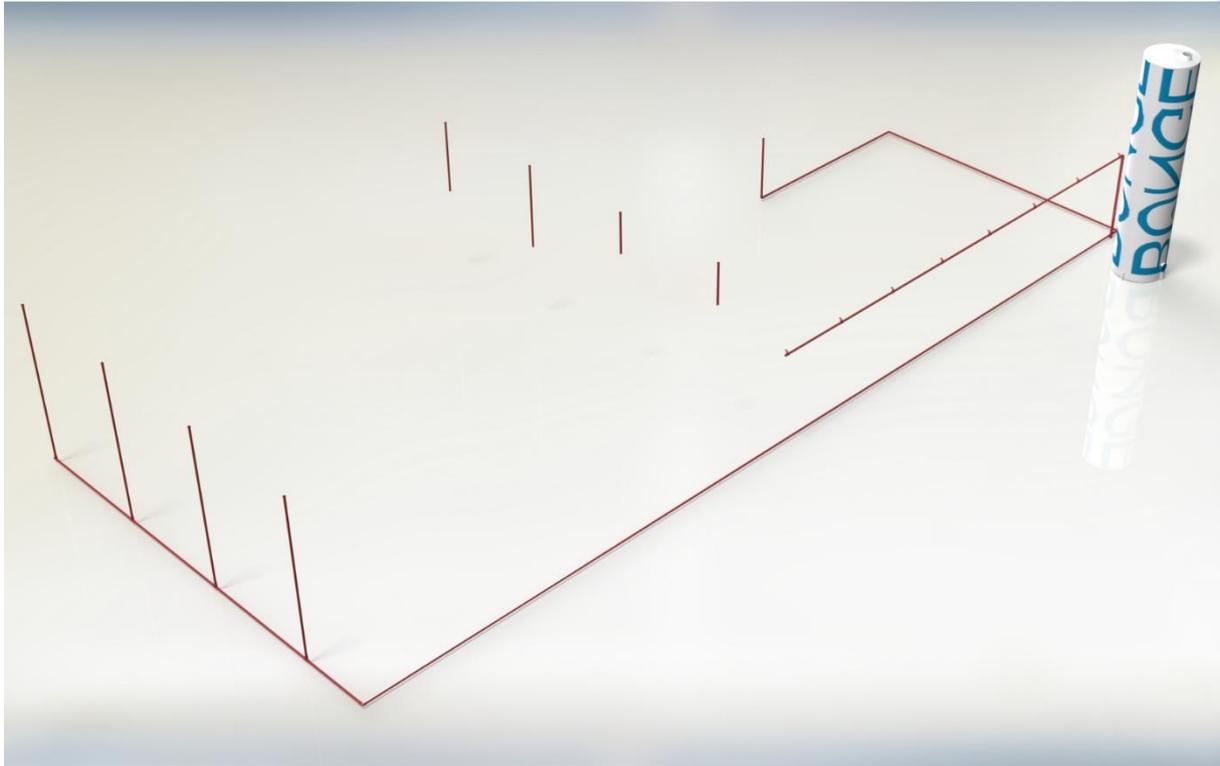


Figura 5.15. Vista em perspectiva das tubulações do sistema de captação sem a estrutura dos depósitos.

5.4.2 DIMENSIONAMENTO DE CALHAS.

As calhas de beiral e platibanda devem, sempre que possível, ser fixadas centralmente sob a extremidade da cobertura e o mais próximo desta.

A inclinação das calhas de beiral e platibanda deve ser uniforme, com valor mínimo de 0,5%.

O dimensionamento das calhas deve ser feito através da fórmula de Manning-Strickler, indicada na Equação 5.6, ou de qualquer outra fórmula equivalente:

$$Q = K \cdot \frac{S}{n} \cdot R_H^{2/3} \cdot i^{1/2} \quad (5.6)$$

Onde:

- Q é a vazão de projeto (L/min);
- S é a área da seção molhada (m²): $S = \frac{\pi \cdot D^2}{8}$;
- D é o diâmetro interno da calha (mm);
- n é o coeficiente de rugosidade (de acordo com a Tabela 5-1): n = 0,011;
- R_H é o raio hidráulico (m): $R_H = \frac{S}{\pi \cdot (D/2)}$;
- i é a declividade da calha (m/m);
- K = 60.000.

A Tabela 5-1 indica os coeficientes de rugosidade dos materiais normalmente utilizados na confecção de calhas. No caso das calhas para o sistema de captação da Bunge, será utilizado alumínio com coeficiente de rugosidade $n = 0,011$.

Tabela 5-1. Coeficientes de rugosidade. Fonte: Reprodução (ABNT NBR 10844, 1989).

Material	<i>n</i>
<i>Plástico, fibrocimento, aço, metais, não-ferrosos</i>	<i>0,011</i>
<i>Ferro fundido, concreto alisado, alvenaria revestida</i>	<i>0,012</i>
<i>Cerâmica, concreto não alisado</i>	<i>0,013</i>
<i>Alvenaria de tijolos não revestida</i>	<i>0,015</i>

A Tabela 5-2 fornece as capacidades de calhas semicirculares, usando coeficiente de rugosidade $n = 0,011$ para alguns valores de declividade. Os valores foram calculados utilizando a fórmula de Manning-Strickler, com lâmina de água igual à metade do diâmetro interno.

Tabela 5-2. Capacidade de calhas semicirculares com coeficientes de rugosidade $n = 0,011$ (Vazão em L/min). Fonte: Reprodução (ABNT NBR 10844, 1989).

Diâmetro interno (mm)	Declividades		
	<i>0,5%</i>	<i>1,0%</i>	<i>2,0%</i>
<i>100</i>	<i>130</i>	<i>183</i>	<i>256</i>
<i>125</i>	<i>236</i>	<i>333</i>	<i>466</i>
<i>150</i>	<i>384</i>	<i>541</i>	<i>757</i>
<i>200</i>	<i>829</i>	<i>1167</i>	<i>1634</i>

Como mostrado nas Figuras 5.11 até 5.14 da seção 5.4.1, tem-se que o sistema possui 4 calhas. O dimensionamento por meio da Tabela 5-2 e da vazão de projeto calculada em cada superfície na seção 5.2.4 encontra-se no Apêndice I.

Todas as calhas possuem funil de saída.

5.4.3 DIMENSIONAMENTO DE CONDUTORES VERTICAIS.

Os condutores verticais devem ser projetados, sempre que possível, em uma só prumada. Quando houver necessidade de desvio, devem ser usadas curvas de 90° de raio longo ou curvas de 45° e devem ser previstas peças de inspeção.

Os condutores verticais podem ser colocados externa e internamente ao edifício, dependendo de considerações de projeto, do uso e da ocupação do edifício e do material dos condutores.

O diâmetro interno mínimo dos condutores verticais de seção circular é 70 mm.

O dimensionamento dos condutores verticais deve ser feito a partir dos seguintes dados:

- Q = vazão de projeto em L/min;
- H = altura da lâmina de água na calha, em mm;
- L = comprimento do condutor vertical, em m;

O diâmetro interno (D) do condutor vertical é obtido através dos ábacos definidos na NBR 10844:1989 que constam no Anexo IV.

Para calhas com saída em aresta viva ou com funil de saída, deve-se utilizar, respectivamente, o ábaco (a) ou (b).

Considerando as Figuras 5.11 a 5.14 das superfícies mostradas na seção 5.4.1, foi realizado o dimensionamento dos condutores verticais, de acordo com o exigido pela norma no Apêndice I.

A identificação completa da tubulação se dá segundo (TELLES, 2001), primeiramente tem-se o diâmetro nominal (em mm ou pol.), depois tem-se a classe do fluido (por exemplo: A para água), o número de ordem da linha de cada superfície e, por último, a sigla indicativa da “especificação de material” da tubulação.

5.4.4 DIMENSIONAMENTO DE CONDUTORES HORIZONTAIS.

Os condutores horizontais devem ser projetados, sempre que possível, com declividade uniforme, com valor mínimo de 0,5%.

O dimensionamento dos condutores horizontais de seção circular deve ser feito para escoamento com lâmina de altura igual a 2/3 do diâmetro interno (D) do tubo.

As vazões para tubos de vários materiais e inclinações usuais estão indicadas na Tabela 5-3 da NBR 10844.

Tabela 5-3. Capacidade dos condutores horizontais de seção circular (vazões em L/min). Fonte: Reprodução (ABNT NBR 10844, 1989).

	Diâmetro interno (D) (mm)	$n = 0,011$				$n = 0,012$				$n = 0,013$			
		0,5 %	1 %	2 %	4 %	0,5 %	1 %	2 %	4 %	0,5 %	1 %	2 %	4 %
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	50	32	45	64	90	29	41	59	83	27	38	54	76
2	75	95	133	188	267	87	122	172	245	80	113	159	226
3	100	204	287	405	575	187	264	372	527	173	243	343	486
4	125	370	521	735	1.040	339	478	674	956	313	441	622	882
5	150	602	847	1.190	1.690	552	777	1.100	1.550	509	717	1.010	1.430
6	200	1.300	1.820	2.570	3.650	1.190	1.670	2.360	3.350	1.100	1.540	2.180	3.040
7	250	2.350	3.310	4.680	6.620	2.150	3.030	4.280	6.070	1.990	2.800	3.950	5.600
8	300	3.820	5.380	7.590	10.800	3.500	4.930	6.960	9.870	3.230	4.550	6.420	9.110

Os condutores horizontais devem ser dimensionados para um coeficiente de rugosidade (n) de 0,011 para tubos de PVC.

No Apêndice I, tem-se os dados dos condutores horizontais dimensionados de acordo com a norma e demonstrados nas figuras da seção 5.4.1.

Todos esses procedimentos para o dimensionamento dos tubos condutores verticais e horizontais estão previstos na norma ABNT NBR 10844.

5.4.5 DIMENSIONAMENTO DAS CONEXÕES.

A ligação entre os condutores verticais e horizontais é sempre feita por curva de raio longo, com inspeção, estando o condutor horizontal aparente ou enterrado.

Outros componentes são utilizados para fazer a ligação de calhas e tubos condutores: meios de ligação (ligações rosqueadas, soldadas, flangeadas ou por encaixe), conexões (joelhos, tês, cruzetas, selas, luvas, uniões, tampão, entre outras) e juntas de expansão.

No Apêndice I tem-se as conexões que serão utilizadas no sistema de captação que foram demonstradas nas Figuras da seção 5.4.1.

5.4.6 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE RECALQUE E SUCCÃO.

Com todos os componentes do sistema de captação dimensionados, deve-se analisar como essa água captada será armazenada no reservatório.

De acordo com as Figuras da seção 5.1 tem-se 3 superfícies de captação. O reservatório, como dimensionado na seção 5.3, será do tipo apoiado e terá em torno de 15,6 metros de altura. No reservatório, a entrada da água captada será feita a uma distância de aproximadamente 15 m do chão. A água captada nessas 3 superfícies irá se encontrar no térreo e deverá subir até o local de entrada da água no reservatório. Portanto, como a altura do reservatório é muito alta, há uma grande possibilidade de a água captada não ser capaz de chegar a esse reservatório por gravidade, podendo ocasionar diversos problemas no sistema, como já exposto na seção 2.6.1.

Sendo assim, faz-se necessário o dimensionamento de um sistema de sucção e recalque com um reservatório enterrado para fazer a captação dessa água no reservatório dimensionado. Como exposto na seção 3.2, a fábrica já possui um reservatório de 20 mil litros enterrado próximo as superfícies de captação que, no momento, se encontra inutilizado. Esse reservatório será então utilizado no sistema.

Na Figura 5.16, tem-se um sistema próximo ao que será utilizado na fábrica. A diferença é no reservatório de captação que na figura encontra-se elevado e na verdade será apoiado no chão.

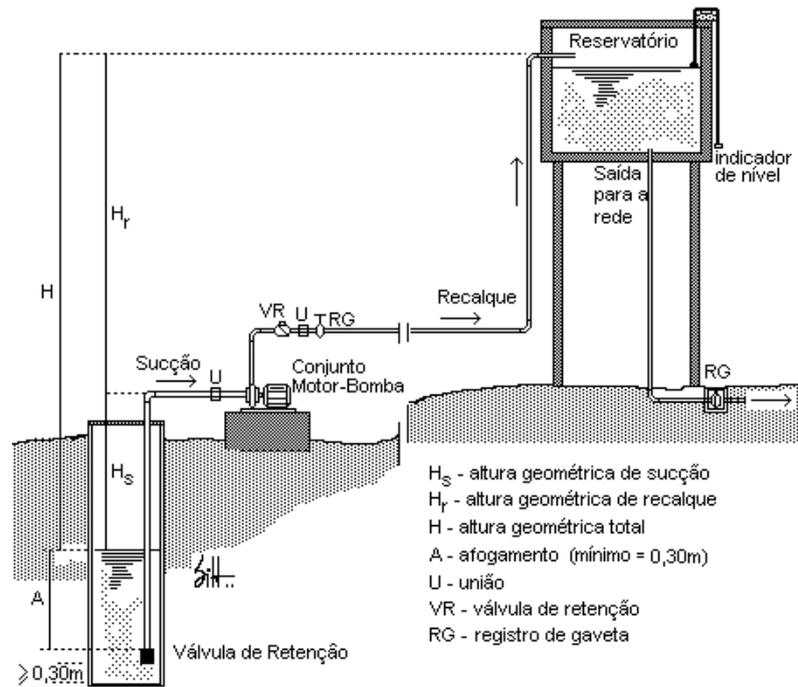


Figura 5.16. Esquema do sistema de recalque e de sucção com um conjunto motobomba. Fonte: (UFCG, 2010)

A seguir, nas Figuras 5.17 a 5.20, tem-se o sistema de recalque e sucção que será utilizado na fábrica, evidenciando cada componente.

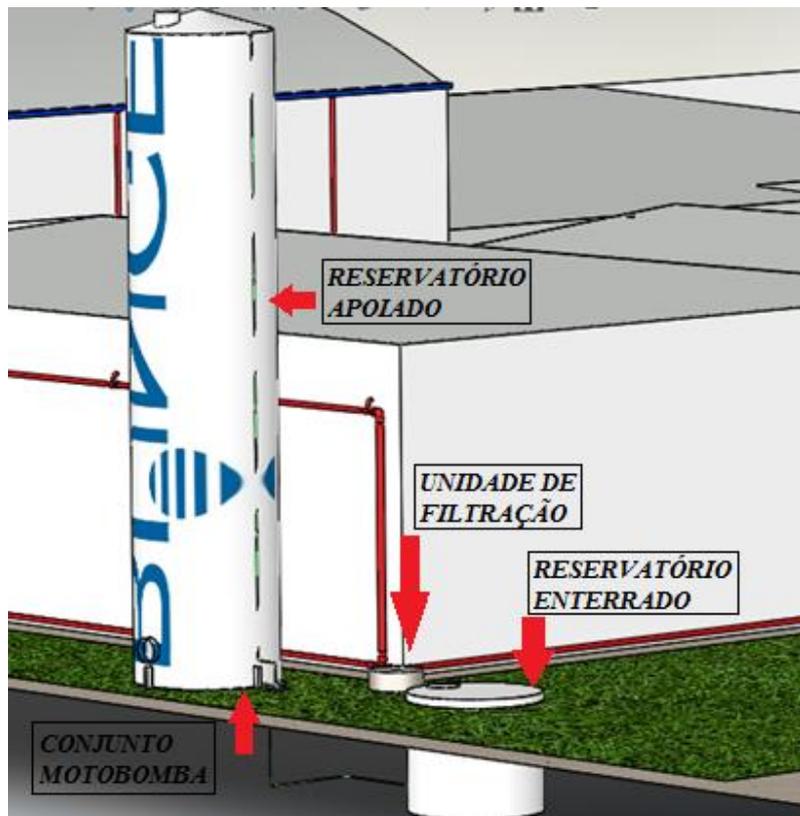


Figura 5.17. Sistema de recalque e sucção com conjunto motor bomba, reservatório apoiado e enterrado.

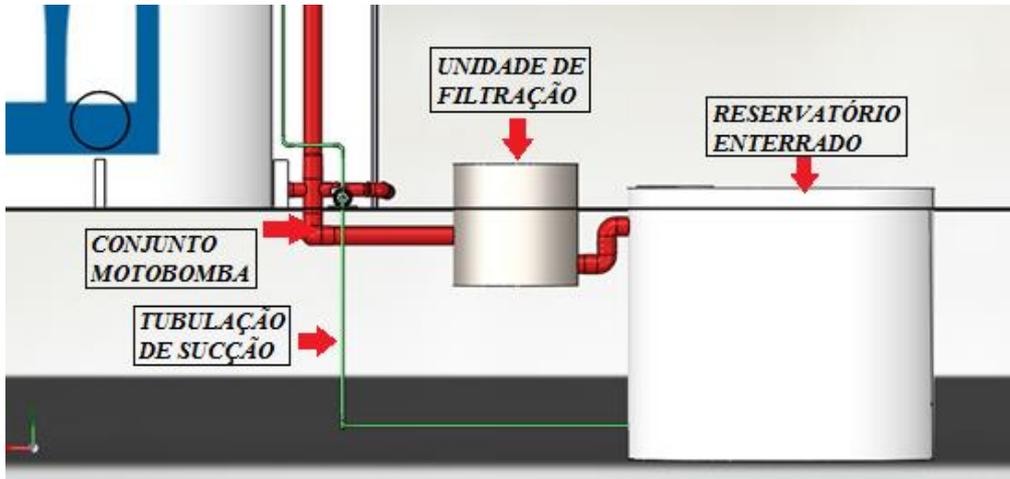


Figura 5.18. Sistema de recalque evidenciando os componentes principais, mostrando a água captada no reservatório enterrado após passagem por unidade de filtração e a saída da tubulação de sucção até a moto bomba e sua saída com a tubulação de recalque.

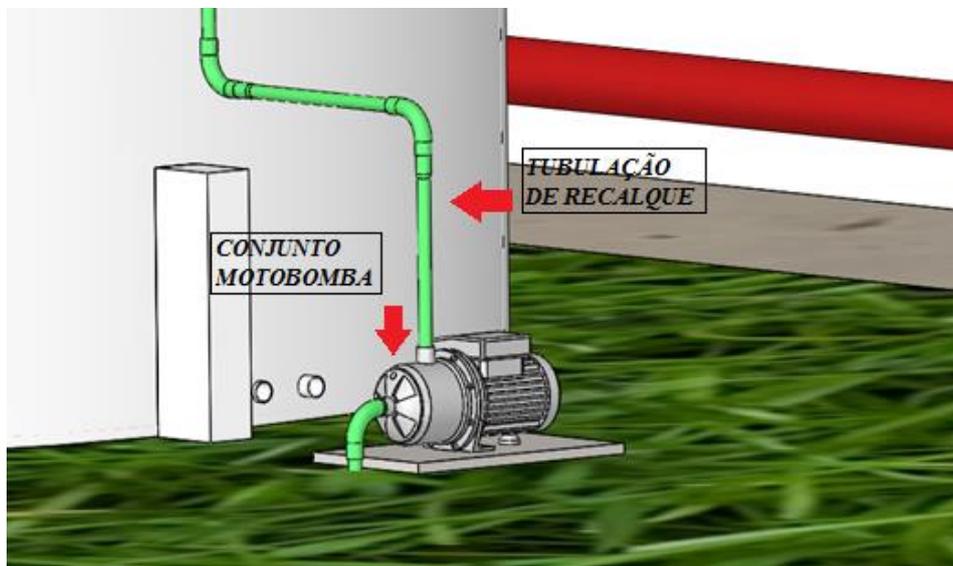


Figura 5.19. Sistema recalque e sucção evidenciando o conjunto moto bomba com a tubulação correspondente.



Figura 5.20. Tubulação de recalque chegando na entrada de recalque do reservatório apoiado.

Sendo assim, a água captada nas 3 superfícies será encaminhada para esse reservatório enterrado. Antes de chegar no reservatório enterrado, a água captada passará por uma unidade de filtração que será selecionada no capítulo 6. Dessa unidade de filtração a água, já filtrada, será conduzida até o reservatório enterrado. Nesse reservatório será utilizada uma boia eletrônica, que, de acordo com um nível de coluna d'água especificado do reservatório enterrado, acionará um conjunto moto-bomba que estará conectado a esse reservatório por meio de uma tubulação de sucção. O conjunto moto-bomba então conduzirá essa água por meio de uma tubulação de recalque até o reservatório apoiado.

O dimensionamento do sistema de recalque e de sucção é feito com base na NBR 5626 e NBR 12214. Estas normas definem os requisitos e a forma de cálculo para diversas configurações e utilizações do sistema de bombeamento.

A primeira etapa do dimensionamento consiste na determinação da vazão de recalque (Q), a qual é calculada, para regimes intermitentes de utilização da bomba, como a razão entre o volume diário médio consumido (V), em m³/dia, e a fração diária de utilização da bomba (T), em h/dia. A Equação 5.7 mostra a expressão para o cálculo de Q.

$$Q = \frac{V}{T} \quad (5.7)$$

A segunda etapa consiste em estimar o diâmetro da tubulação de recalque e de sucção. Esta estimativa é feita através da utilização da equação prática de Forhheimer, a qual é mostrada na Equação 5.8 para o diâmetro de recalque (D_r) e para o diâmetro de sucção (D_s), constante na NBR 5626.

$$D_r = D_s = 1,3 \sqrt[4]{\frac{T}{24} \sqrt{Q}} \quad (5.8)$$

Caso o valor encontrado para o diâmetro de recalque e para o de sucção não sejam aqueles disponíveis comercialmente, deve-se, para o de recalque, escolher o diâmetro comercial mais próximo e para o de sucção deve-se escolher o diâmetro comercial maior mais próximo. Depois de efetuada esta etapa, deve-se calcular a velocidade econômica (V_e) para ambos os escoamentos e verificar se esta encontra-se dentro da faixa estabelecida por norma, que é $0,5 < V_e < 4,0 \text{ m/s}$. Caso os diâmetros não verifiquem a relação supracitada, deve-se escolher outro diâmetro nominal, seguindo a mesma lógica, até que esta relação seja satisfeita.

$$V_e = \frac{4Q}{\pi D^2} \quad (5.9)$$

Na Tabela 5-4, tem-se os dados calculados.

Tabela 5-4. Determinação da vazão de recalque, diâmetro de recalque e sucção e velocidade econômica.

<i>Superfícies</i>	<i>Volume diário médio consumido (V) (m³/dia)</i>	<i>Fração diária de utilização da bomba (T) (h/dia)</i>	<i>Vazão de recalque (Q) (m³/h)</i>	<i>Vazão de recalque (Q) (m³/s)</i>	<i>Diâmetro de recalque (D_r) e sucção (D_s) (m)</i>	<i>Diâmetro de recalque e sucção comercial (m)</i>	<i>Velocidade econômica (V_e)</i>
<i>I, II e III</i>	<i>6,23</i>	<i>6,00</i>	<i>1,04</i>	<i>0,00028843</i>	<i>0,01561</i>	<i>0,01905</i>	<i>1,0125</i>

Os tubos e as conexões utilizadas no trecho de sucção e recalque, com todos os seus comprimentos estão especificados no Apêndice II.

A velocidade econômica está dentro da faixa estabelecida por norma, portanto os diâmetros são aceitáveis.

A terceira etapa consiste em determinar a altura manométrica (H_{man}) do sistema, a qual é calculada como a soma das alturas manométricas de recalque ($H_{man,rec}$) e de sucção ($H_{man,s}$), como mostrado na Equação 5.10.

$$H_{man} = H_{man,rec} + H_{man,s} \quad (5.10)$$

Deve-se então calcular a altura manométrica de recalque que é a soma da altura geométrica de recalque ($H_{g,rec}$) e da perda de carga total do sistema, a qual é a soma das perdas localizadas com as distribuídas, como mostrado na Equação 5.11.

$$H_{man,rec} = H_{g,rec} + J_r \cdot L_{tr} + \frac{V^2}{2g} = H_{g,rec} + J_r \cdot L_{tr} + \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot D_r^4 \cdot g} \quad (5.11)$$

A altura manométrica de sucção segue um processo análogo, sendo mostrada na Equação 5.12.

$$H_{man,s} = H_{g,s} + J_s \cdot L_{ts} + \frac{V^2}{2g} = H_{g,s} + J_s \cdot L_{ts} + \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot D_s^4 \cdot g} \quad (5.12)$$

Para determinação da perda de carga (J_s e J_r) deve-se verificar o regime do escoamento pelo número de Reynolds e o fator de atrito, de acordo com as seguintes equações:

$$Re_r = Re_s = \frac{4Q}{\pi D_r v} \quad (5.13)$$

$$f_r = f_s = 0,0055 \left[1 + \left(20000 \frac{\varepsilon}{D_r} + \frac{10^6}{Re_r} \right)^{1/3} \right] \quad (5.14)$$

A perda de carga será então:

$$J_r = J_s = 8f_r \frac{Q^2}{\pi^2 g D_r^5} \quad (5.15)$$

Os dados de rugosidade característica do PVC foram retirados da Tabela 2-1 na seção 2.3.2. Na Tabela 5-5, tem-se o cálculo da altura manométrica de recalque e sucção.

Tabela 5-5. Determinação da altura manométrica de recalque.

<i>Percurso</i>	<i>Número de Reynolds (Re)</i>	<i>Fator de atrito (f)</i>	<i>Perda de carga unitária (J) (m/m)</i>	<i>Compr. Equiv. Total (m)</i>	<i>Perda de carga total (m)</i>	<i>Altura geom. (Hg) (m)</i>	<i>Fator V²/2g (m)</i>	<i>Altura manom. (Hman) (m)</i>	<i>Altura manom. Total do sistema (Hman) (m)</i>
<i>Recalque</i>	19287	0,0322	0,0885	16,86	1,49	15,337	0,052	16,88	20,00
<i>Sucção</i>	19287	0,0322	0,0885	8,72	0,77	2,300	0,052	3,12	

A quarta etapa é calcular, com base na altura manométrica total (H_{man}) a potência necessária (Pot) para promover o escoamento do fluido. A formulação matemática é dada pela Equação 5.16.

$$Pot = \gamma \cdot Q \cdot H_{man} \quad (5.16)$$

Na qual, γ é o específico do fluido, Q é a vazão de recalque e H_{man} a altura manométrica total.

A quinta etapa consiste no cálculo da potência da bomba (Pot_b) que é calculada com base na eficiência da bomba (η_b), como mostrado na Equação 5.17.

$$Pot_b = \frac{Pot}{\eta_b} \quad (5.17)$$

A sexta etapa consiste no cálculo da potência da moto-bomba (Pot_M), com base na eficiência do motor elétrico (η_M), como mostrado na Equação 5.18.

$$Pot_M = \frac{Pot_b}{\eta_M} \quad (5.18)$$

Finalmente, a potência nominal ($Pot_{nominal}$) é calculada como a soma da potência da moto-bomba (Pot_M) com uma folga.

A norma NBR 5626 define que o motor que aciona a bomba deverá trabalhar sempre com uma folga ou margem de segurança, a qual evitará que o mesmo venha, por uma razão qualquer, operar com sobrecarga. Portanto, recomenda-se que a potência necessária ao funcionamento da bomba (Pot_M) seja acrescida de uma folga, conforme especificação a seguir (para motores elétricos):

- Até 02 cv -50%;
- De 02 a 05 cv - 30%;
- De 05 a 10 cv - 20%;
- De 10 a 20 cv - 15%;
- Acima de 20 cv - 10%.

A Equação 5.19 define a potência nominal.

$$Pot_{nominal} = Pot_M + folga(\%) * Pot_M \quad (5.19)$$

Na Tabela 5-6, tem-se todo o dimensionamento do conjunto motor-bomba para os percursos.

Tabela 5-6. Dimensionamento final da potência da moto-bomba.

Sistema	Potência p/ escoamento do fluido (Pot) (W)	Eficiência da bomba (η_b)	Potência bomba (Pot_b) (W)	Eficiência do motor elétrico (η_M)	Potência da moto-bomba (Pot_M) (W)	Potência da moto-bomba (Pot_M) (cv)	Folga (%)	Potência nominal (Pot_{nom}) (cv)
<i>Recalque e sucção</i>	57,70	0,60	96,16	0,95	101,22	0,14	0,50	0,21

Adotou-se então uma potência nominal comercial de 0,5 cv para seleção da moto-bomba. A bomba será selecionada no capítulo 6, assim como seus componentes.

Foram feitas diversas análises sobre qual tipo de bomba deverá ser selecionada. Tem-se diversos tipos no mercado, cada uma específica para determinada aplicação. Antes da seleção é importante levantar quais são esses tipos e qual mais aplicável para o sistema em questão. A seguir tem-se alguns tipos de bombas que podem ser utilizadas em sistemas de recalque e sucção (FAZFÁCIL, 2016)

- Bomba centrífuga: as bombas centrífugas funcionam com força centrífuga e necessitam de uma válvula de retenção na extremidade inferior da tubulação de sucção. Isso permite que a tubulação de sucção permaneça sempre cheia, tornando mínimo o esforço de sucção da bomba.



Figura 5.21. Bomba centrífuga. Fonte: (FAZFÁCIL, 2016)

- Bomba centrífuga auto-aspirante (pressurizada): as bombas centrífugas auto-aspirantes também funcionam com força centrífuga, porém este tipo de bomba não necessita de válvula de retenção. Por ser auto-aspirante, ela tem a capacidade de encher a tubulação de sucção e conduzir a água para alturas elevadas. Em seu próprio corpo há também um compartimento em que ela retém a água, diminuindo o esforço da bomba. Ela também possui uma elevada pressão.



Figura 5.22. Bomba centrífuga pressurizada. Fonte: (FAZFÁCIL, 2016).

5.5 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA CAPTADA.

Depois de dimensionados todos os condutores verticais e horizontais do sistema de captação, deve-se dimensionar os componentes do sistema de distribuição dessa água captada (tubos e conexões). Tais componentes serão dimensionados por meio da análise hidráulica, verificando diversos fatores essenciais para o projeto, tais como:

- Velocidade econômica de transporte;
- Comprimento equivalente da tubulação;
- Variação de energia;
- Perdas de carga contínua e localizada.

Todo o procedimento de cálculo foi desenvolvido no Capítulo 2.

5.5.1 DESENHOS PARA VISUALIZAÇÃO DOS COMPONENTES.

Para facilitar a visualização dos tubos e conexões do sistema de distribuição da água captada que serão dimensionados nas seções a seguir, foram feitos desenhos em 3D especificando por percurso cada componente.

Nas Figuras 5.23 e 5.24, tem-se o percurso I, que será enterrado e irá sair do reservatório e ir até a entrada dos banheiros em frente ao setor administrativo onde será instalada uma torneira. Em amarelo tem-se as tubulações e as conexões do percurso.

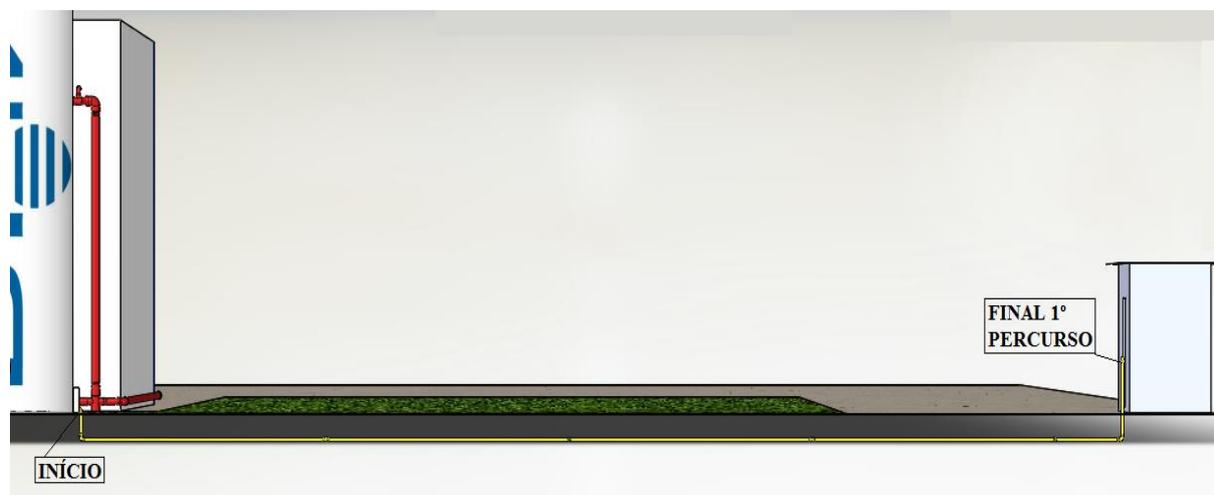


Figura 5.23. Vista lateral dando ênfase as tubulações e conexões (em amarelo) do primeiro percurso do sistema de distribuição.

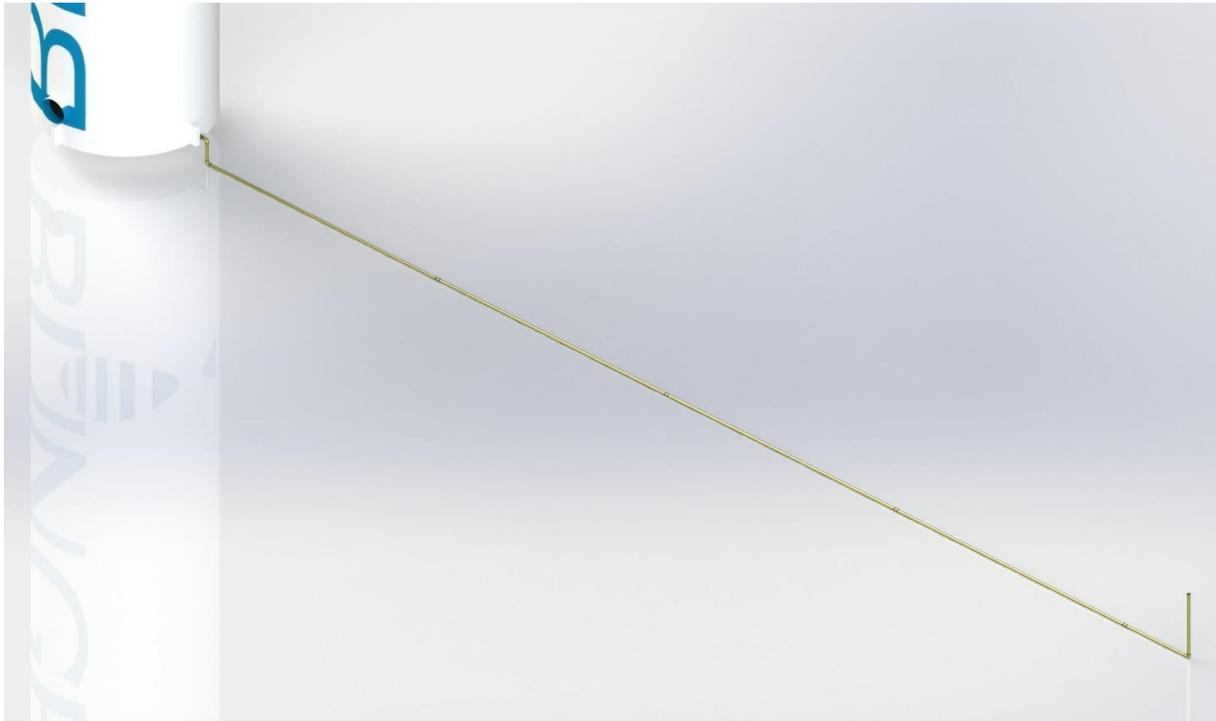


Figura 5.24. Vista em perspectiva do primeiro percurso do sistema de distribuição.

A seguir tem-se desenhos demonstrando o segundo e terceiro percurso. O segundo percurso tem seu fim em frente à casa de bombas, onde será instalada uma torneira. O terceiro percurso continuará de onde o segundo parou e irá até a entrada do moinho, onde será instalada outra torneira. Em amarelo tem-se as tubulações e as conexões.

Na Figura 5.25 tem-se uma vista completa com os percursos II e III das tubulações.

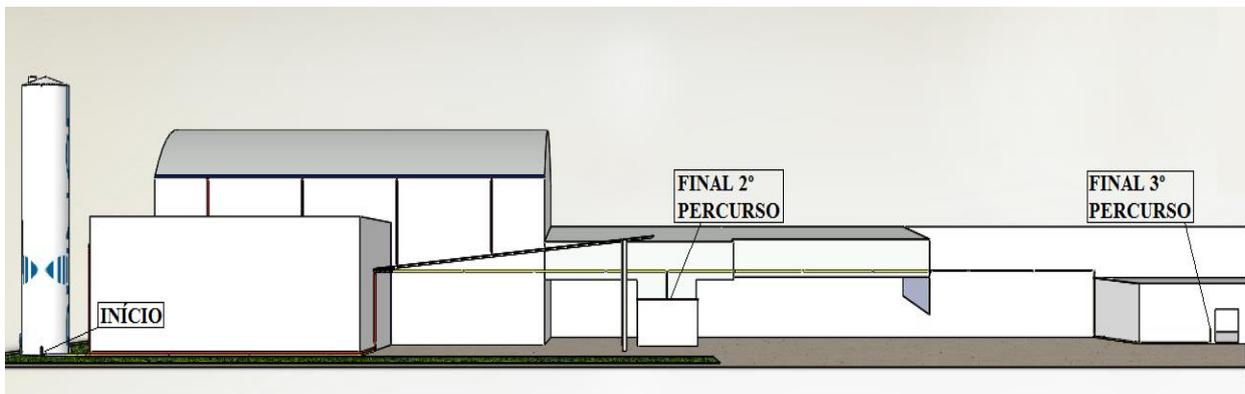


Figura 5.25. Vista frontal do sistema com os percursos II e III.

Nas Figuras 5.26 e 5.27 tem-se uma vista expandida dos percursos II e III para melhor visualização.

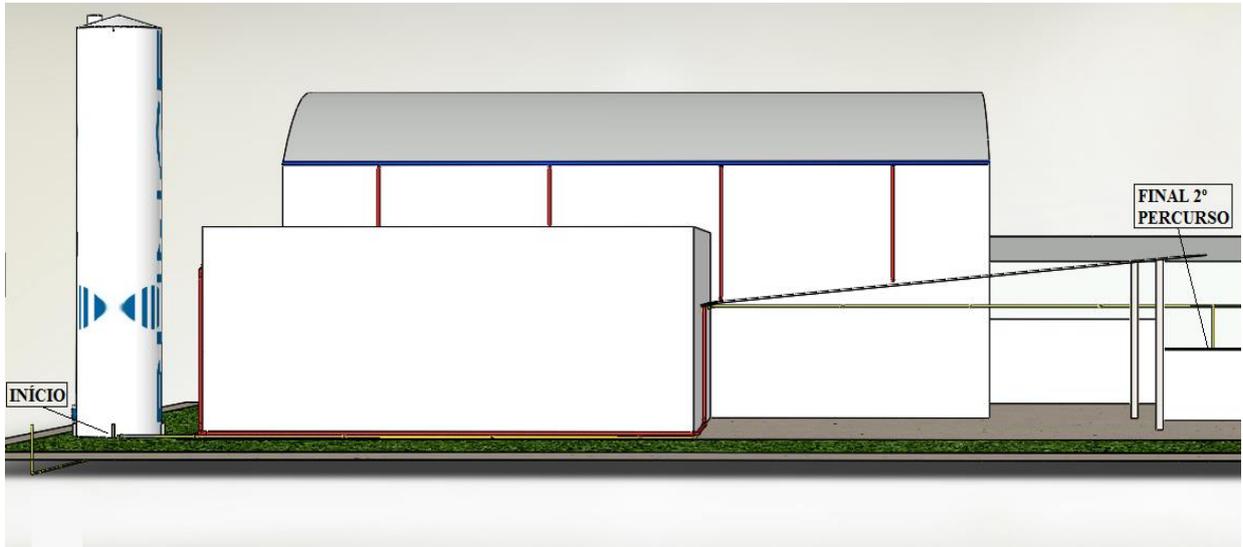


Figura 5.26. Vista frontal expandida do percurso II.

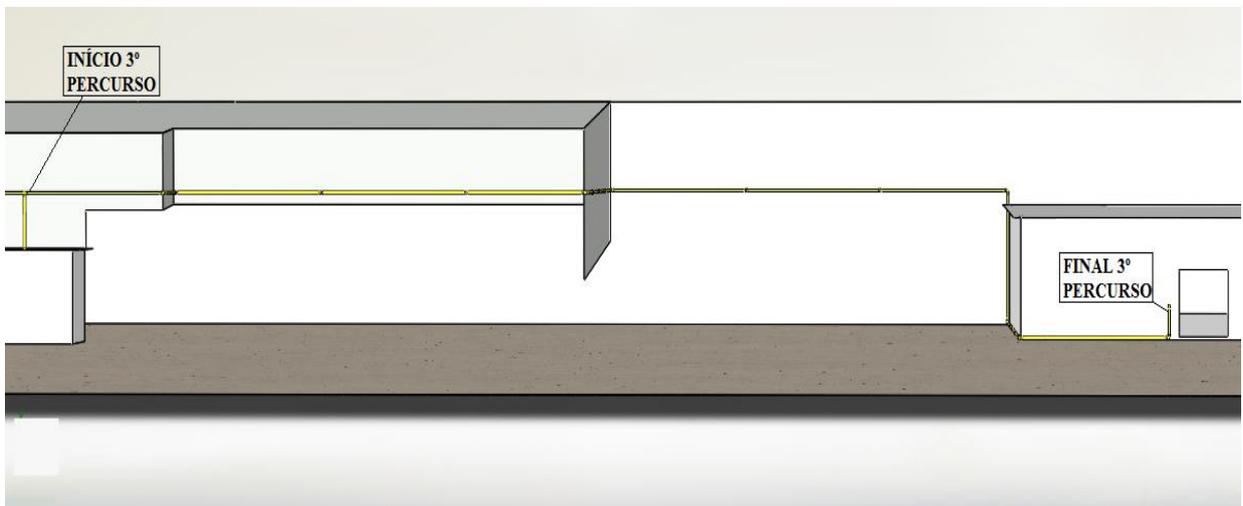


Figura 5.27. Vista frontal expandida do percurso III.

Na Figura 5.28 tem-se o posicionamento de todos os componentes do sistema de distribuição em uma vista em perspectiva sem a estrutura e com o reservatório posicionado no local onde será instalado.

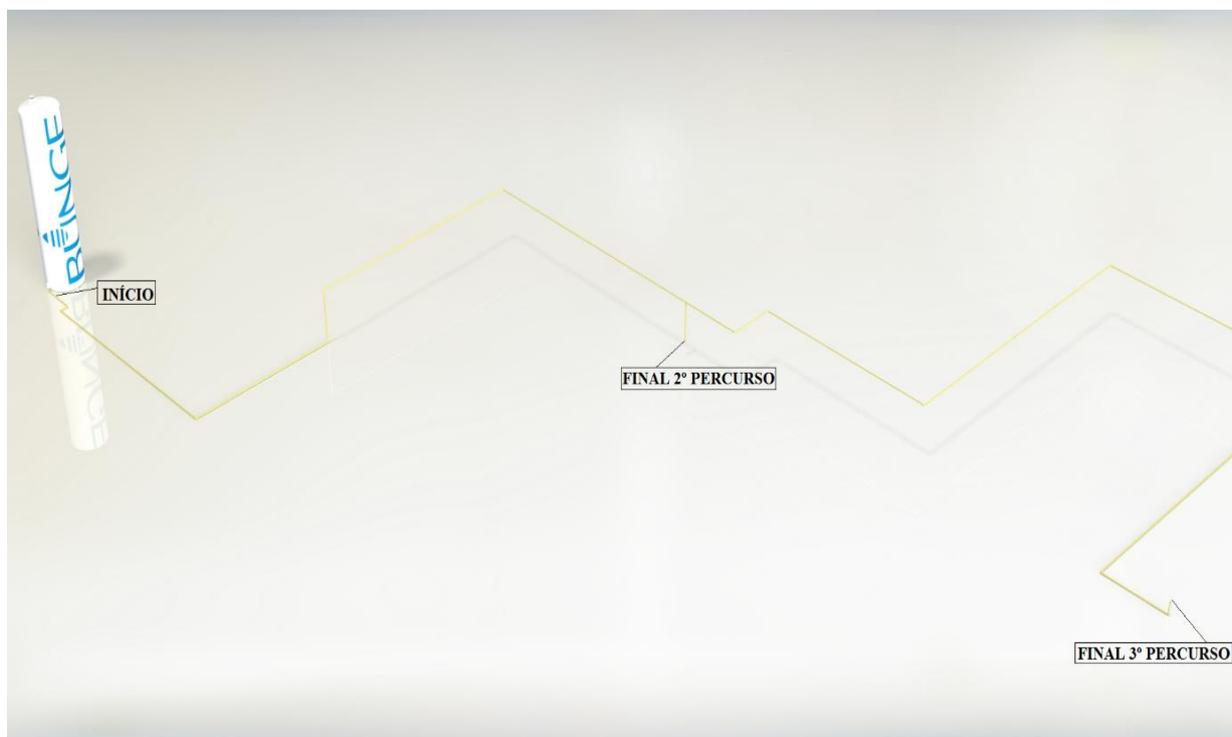


Figura 5.28. Vista em perspectiva dos componentes do sistema de distribuição sem a estrutura.

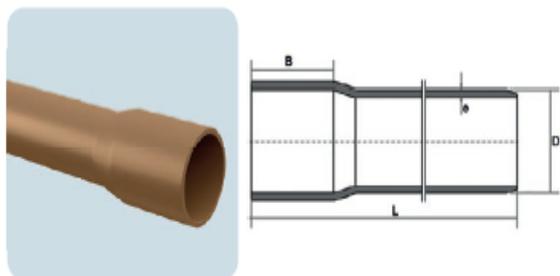
5.5.2 DIÂMETRO NOMINAL DOS TUBOS.

De acordo com o exposto na seção 2.3.5, a metodologia de cálculo do diâmetro hidráulico por meio da velocidade econômica deve ser adotada apenas no caso de tubulações de pequeno comprimento. Para tubulações longas, que é o caso do sistema de distribuição, deve-se utilizar o cálculo do diâmetro hidráulico por perda de carga.

Foi considerado como material de todas as tubulações o PVC, pois de acordo com os fabricantes pesquisados é o melhor tipo de material para a aplicação de conduzir água fria em sistemas prediais, sendo utilizada tanto em obras residenciais, comerciais e industriais. Sua vida útil é muito grande, o que dá uma grande durabilidade ao sistema, em torno de 50 anos. Além disso, devido a leveza do PVC, tem-se facilidade para o transporte, estocagem e manuseio. Outra grande vantagem é a facilidade de instalação: junta soldável a frio de simples execução.

Os diâmetros foram definidos para o mínimo valor da perda de carga que será calculada na seção 5.6.1. Dessa forma, faz-se a análise dos diâmetros nominais de acordo com os tubos comerciais padronizados. A Figura 5.29 mostra os tubos comerciais para instalações de água fria da Tigre em mm.

Tubo Soldável 6 m



Dimensões (mm)

Cotas	20	25	32	40	50	60	75	85	110
B	32	32	32	40	50	60	70	77	91
D	20	25	32	40	50	60	75	85	110
e	1,5	1,7	2,1	2,4	3,0	3,3	4,2	4,7	6,1
L	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000
Código	10120209	10120250	10120322	10120403	10120500	10120608	10120756	10120853	10121035

Figura 5.29. Medidas comerciais de tubos PVC rígidos soldáveis da Tigre. Fonte: (Tigre S/A, 2016)

De acordo com os diâmetros comerciais da Tigre constantes na Figura 5.29 foram escolhidos os diâmetros para os percursos do sistema de distribuição. Na Tabela 5-7 tem-se esses valores selecionados.

Tabela 5-7. Dimensionamento do diâmetro comercial adotado.

<i>Percorso</i>	<i>Material da tubulação</i>	<i>Diâmetro nominal comercial (mm)</i>	<i>Diâmetro externo (mm)</i>	<i>Espessura da parede (mm)</i>	<i>Diâmetro interno (mm)</i>
I	PVC	110,00	110,00	6,10	97,80
II	PVC	110,00	110,00	6,10	97,80
III	PVC	110,00	110,00	6,10	97,80

5.5.3 DIMENSIONAMENTO DOS COMPONENTES PARA CADA PERCURSO.

Dimensionado o diâmetro dos tubos, foi levantado quantos serão necessários para o comprimento exigido dos percursos. Tais percursos foram mostrados nas Figuras 5.23 até 5.28 na seção 5.5.1 do sistema de distribuição da água captada.

No Apêndice III tem-se a quantidade e o comprimento de tubos utilizados para cada percurso. De acordo com o fornecedor, o comprimento máximo para tais tubos é de 6 metros.

Dimensionado o percurso e a quantidade de tubos, tem-se quantas e quais conexões serão utilizadas em cada um. No Apêndice III também são mostradas todas essas conexões do sistema de distribuição da água captada.

5.6 ANÁLISE DE PERDA DE CARGA E ENERGIA DISPONÍVEL.

Dimensionados todos os componentes do sistema de aproveitamento, deve-se realizar uma análise de perda de carga para cada percurso e a perda de carga total do sistema. Após, deve-se

determinar a energia disponível no sistema em cada percurso e comparar com a perda de carga. Caso a energia disponível seja muito menor que a perda de carga, o sistema ficou subdimensionado e deve-se buscar soluções para que tanto a perda de carga quanto energia disponível sejam equiparadas.

Toda a metodologia para o cálculo da análise hidráulica foi desenvolvida no capítulo 2.

5.6.1 PERDA DE CARGA TOTAL.

Como visto na seção 2.3.4, tem-se a seguinte fórmula para cálculo da perda de carga.

$$J = f \cdot \frac{L_{eqv} \cdot V^2}{2 \cdot g \cdot D} \quad (5.20)$$

Onde J é a perda de carga em m, f é o fator de atrito, L_{eqv} é o comprimento equivalente total do percurso em m, V é a velocidade média do escoamento em m/s, g é a aceleração da gravidade em m/s² e D é o diâmetro interno do tubo em m.

Nas seções a seguir, tem-se a determinação dos fatores necessários para o cálculo da perda de carga.

5.6.1.1 COMPRIMENTO EQUIVALENTE.

Para o cálculo da perda de carga, é necessário primeiro que se defina o comprimento equivalente de todo o percurso estudado. Como visto no capítulo 2, o comprimento equivalente (L_{eqv}) é o comprimento de um conduto fictício que causa uma perda de carga linear igual à perda na singularidade. Soma-se esse comprimento equivalente das conexões ao comprimento total dos tubos e tem-se o comprimento final do percurso.

Para a maioria das válvulas e conexões usadas nas tubulações são definidos valores típicos dos comprimentos equivalentes, obtidos a partir de ensaios de laboratório. Várias tabelas e formulações empíricas são utilizadas para definir tais valores apresentados na norma ABNT NBR 5626:1982. O fornecedor de tubos industriais Tigre, fornece uma tabela com perdas de carga localizadas e sua equivalência em metros de tubulação para PVC rígido. Tal tabela se encontra no Anexo II.

Fazendo a análise das conexões utilizadas em cada percurso e visto na tabela do Anexo II o comprimento equivalente de cada, tem-se na Tabela 5-8 o comprimento equivalente para cada percurso do sistema de distribuição.

Tabela 5-8. Dimensionamento do comprimento equivalente para cada percurso.

<i>Percurso</i>	<i>Tipo de conexão</i>	<i>Diâmetro nominal (mm)</i>	<i>Quantidade de conexões percurso</i>	<i>Comp. Equiv. (Leqv) (m)</i>	<i>Comp. Equiv. Total (Leqv) (m)</i>	<i>Comp. Equiv. Total Percurso (m)</i>
<i>I</i>	<i>Adaptador</i>	<i>50x50</i>	<i>1</i>	<i>1,5</i>	<i>1,5</i>	<i>6,20</i>
	<i>Bucha de redução</i>	<i>50x110</i>	<i>1</i>	<i>0,0*</i>	<i>0,0</i>	
	<i>Curva 90° Soldável</i>	<i>110</i>	<i>3</i>	<i>1,3</i>	<i>3,9</i>	
	<i>Luva Soldável</i>	<i>110</i>	<i>4</i>	<i>0,0</i>	<i>0,0</i>	
	<i>Válvula Esfera</i>	<i>110</i>	<i>1</i>	<i>0,8</i>	<i>0,8</i>	
<i>II</i>	<i>Adaptador</i>	<i>50x50</i>	<i>1</i>	<i>2,0</i>	<i>2,0</i>	<i>15,90</i>
	<i>Bucha de redução</i>	<i>50x110</i>	<i>1</i>	<i>0,0*</i>	<i>0,0</i>	
	<i>Curva 90° Soldável</i>	<i>110</i>	<i>7</i>	<i>1,5</i>	<i>10,5</i>	
	<i>Luva Soldável</i>	<i>110</i>	<i>11</i>	<i>0,0</i>	<i>0,0</i>	
	<i>Tê soldável</i>	<i>110x110</i>	<i>1</i>	<i>2,5</i>	<i>2,5</i>	
	<i>Válvula Esfera</i>	<i>110</i>	<i>1</i>	<i>0,9</i>	<i>0,9</i>	
<i>III</i>	<i>Curva 90° Soldável</i>	<i>110</i>	<i>8</i>	<i>1,5</i>	<i>12,0</i>	<i>12,90</i>
	<i>Luva Soldável</i>	<i>110</i>	<i>12</i>	<i>0,0</i>	<i>0,0</i>	
	<i>Válvula Esfera</i>	<i>110</i>	<i>1</i>	<i>0,9</i>	<i>0,9</i>	

* Para a Bucha de Redução Soldável não se tem valores definidos de comprimento equivalente, por isso foi considerado como 0,0.

Dessa forma, somando-se o percurso total das tubulações e o comprimento equivalente das conexões, tem-se o comprimento equivalente total para cada percurso na Tabela 5-9.

Tabela 5-9. Comprimento total equivalente dos percursos (tubos mais conexões).

<i>Percurso</i>	<i>Tipo</i>	<i>Comprimento total equivalente (m)</i>	<i>Comprimento equivalente total do percurso (m)</i>
<i>I</i>	<i>Tubos</i>	<i>27,70</i>	<i>33,90</i>
	<i>Conexões</i>	<i>6,20</i>	
<i>II</i>	<i>Tubos</i>	<i>90,02</i>	<i>105,92</i>
	<i>Conexões</i>	<i>15,90</i>	
<i>III</i>	<i>Tubos</i>	<i>107,21</i>	<i>120,11</i>
	<i>Conexões</i>	<i>12,90</i>	

5.6.1.2 VELOCIDADE MÉDIA DE ESCOAMENTO.

No capítulo 2, definiu-se a velocidade média de escoamento como a metade da velocidade máxima do sistema. Essa expressão é válida considerando a saída nula. No caso estudado, tem-se a velocidade de entrada e a velocidade de saída, portanto a velocidade calculada será a média dessas duas.

Para se determinar a velocidade média de escoamento, é necessário analisar as velocidades inicial (na saída do bocal do reservatório e final (saída das torneiras) do percurso.

Para determinação da velocidade inicial na saída do bocal do reservatório, é importante analisar a Figura 5.30.

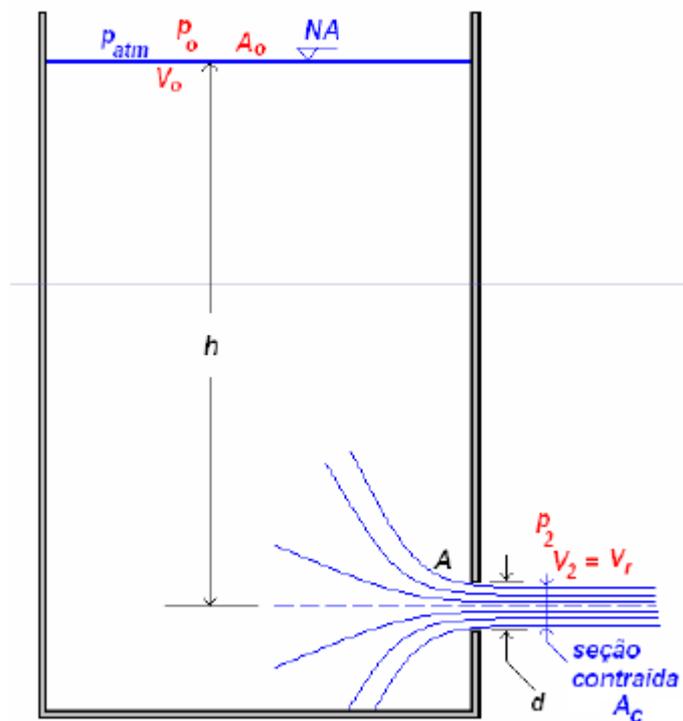


Figura 5.30. Reservatório em parede delgada. Fonte: (SILVA, 2014).

Onde h corresponde à altura do reservatório em m, V_r é a velocidade real e V_t (não especificada no desenho) é a velocidade ideal, todas em m/s.

A velocidade real de saída do reservatório será calculada da seguinte maneira:

$$V_r = \sqrt{2g \left(h + \frac{p_o - p_2}{\gamma} \right)} \quad (5.21)$$

Onde p_o é a pressão na superfície do líquido no reservatório e p_2 é a pressão na veia contraída. Porém, considerando o escoamento de um fluido ideal em orifícios livres, tem-se a velocidade ideal.

$$V_t = \sqrt{2gh} \quad (5.22)$$

Para se fazer a relação dessas duas velocidades é utilizado um coeficiente de velocidade (C_v).

$$V_r = C_v \sqrt{2gh} \quad (5.23)$$

Este valor é tabelado de acordo com a altura (h) em m e o diâmetro do orifício (bocal de saída do reservatório) em cm. Na Tabela 5-10 tem-se os valores de C_v .

Tabela 5-10. Valores de Cv para orifícios de parede delgada. Fonte: (AZEVEDO NETTO, et al., 2015).

Carga h (m)	Diâmetro do Orifício, em centímetros				
	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
0,20	0,954	0,964	0,973	0,978	0,984
0,40	0,956	0,967	0,976	0,981	0,986
0,60	0,958	0,971	0,980	0,983	0,988
0,80	0,959	0,972	0,981	0,984	0,988
1,00	0,958	0,974	0,982	0,984	0,988
1,50	0,958	0,976	0,984	0,984	0,988
2,00	0,956	0,978	0,984	0,984	0,988
3,00	0,957	0,979	0,985	0,986	0,988
5,00	0,957	0,980	0,987	0,986	0,990
10,00	0,958	0,981	0,990	0,988	0,992

Considerando o bocal de saída do reservatório com 2 cm de diâmetro e a altura do reservatório com sua capacidade máxima de 15,6 m, tem-se que o Cv será de aproximadamente 0,959.

Dessa forma, a velocidade real do fluido na saída do bocal será:

$$V_r = C_v \sqrt{2gh} = 0,959 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,806 \cdot 15,6}$$

$$V_r = V_i = 16,77 \text{ m/s}$$

Para as velocidades requeridas nas saídas das torneiras, deve-se analisar a vazão de projeto.

A vazão de projeto foi considerada consultando a ABNT NBR 5626. A Tabela 5-11 presente na norma mostra vários valores de vazão de acordo com a utilização.

Tabela 5-11. Vazão nos pontos de utilização em função do aparelho sanitário e da peça de utilização. Fonte: Reprodução (ABNT NBR 5626, 1998).

Aparelho sanitário	Peça de utilização	Vazão de projeto L/s	
Bacia sanitária	Caixa de descarga	0,15	
	Válvula de descarga	1,70	
Banheira	Misturador (água fria)	0,30	
Bebedouro	Registro de pressão	0,10	
Bidê	Misturador (água fria)	0,10	
Chuveiro ou ducha	Misturador (água fria)	0,20	
Chuveiro elétrico	Registro de pressão	0,10	
Lavadora de pratos ou de roupas	Registro de pressão	0,30	
Lavatório	Torneira ou misturador (água fria)	0,15	
Mictório cerâmico	com sifão integrado	Válvula de descarga	0,50
	sem sifão integrado	Caixa de descarga, registro de pressão ou válvula de descarga para mictório	0,15
Mictório tipo calha	Caixa de descarga ou registro de pressão	0,15 por metro de calha	
Pia	Torneira ou misturador (água fria)	0,25	
	Torneira elétrica	0,10	
Tanque	Torneira	0,25	
Torneira de jardim ou lavagem em geral	Torneira	0,20	

Em vermelho tem-se a vazão de projeto de 0,25 L/s recomendada para as torneiras de tanques. Porém, será considerada para as torneiras dos percursos I, II e III uma vazão de 0,50 L/s, pois essas torneiras serão utilizadas para aplicações que necessitam de uma maior vazão (será utilizado registro esfera com bico para o uso de mangueira).

Na Tabela 5-12, tem-se a velocidade na saída das torneiras para os percursos.

Tabela 5-12. Velocidade final (na saída da torneira) em função da vazão requerida.

<i>Percursos</i>	<i>Diâmetro interno (m)</i>	<i>Vazão requerida (m³/s)</i>	<i>Velocidade na saída da torneira (V_f) (m/s)</i>
<i>I</i>	<i>0,0978</i>	<i>0,0005</i>	<i>0,07</i>
<i>II</i>	<i>0,0978</i>	<i>0,0005</i>	<i>0,07</i>
<i>III</i>	<i>0,0978</i>	<i>0,0005</i>	<i>0,07</i>

Dessa forma, a velocidade média do escoamento dada na Tabela 5-13. Em relação ao percurso III, a velocidade de entrada do percurso será a média do percurso II.

Tabela 5-13. Velocidade média do escoamento nos percursos.

<i>Percursos</i>	<i>Velocidade inicial na saída do bocal do reservatório (V_i) (m/s)</i>	<i>Velocidade na saída da torneira (V_f) (m/s)</i>	<i>Velocidade média do escoamento (V_m) (m/s)</i>
<i>I</i>	<i>16,77</i>	<i>0,07</i>	<i>8,42</i>
<i>II</i>	<i>16,77</i>	<i>0,07</i>	<i>8,42</i>
<i>III</i>	<i>8,42</i>	<i>0,07</i>	<i>4,24</i>

5.6.1.3 FATOR DE ATRITO.

O fator de atrito é dado pelo diagrama de Moody-Stanton que consta no Anexo I. Para sua determinação, é necessário ter os dados de rugosidade relativa do material da tubulação, além do número de Reynolds correspondente.

Os dados de rugosidade característica do PVC foram retirados da Tabela 2-1 na seção 2.3.2. O número de Reynolds foi calculado para um valor de velocidade do fluido de 16,77 m/s (calculado na seção anterior) e viscosidade cinemática da água à 20°C de $1 \cdot 10^{-6}$ m²/s. O número de Reynolds é da casa de 10⁶, o que caracteriza o regime como **turbulento pleno**. Dessa forma, pode-se definir o fator de atrito pelo diagrama de Moody ou pela fórmula de Nikuradse para o regime de turbulência plena.

Na Tabela 5-14 tem-se todos os dados e o fator de atrito para cada percurso.

Tabela 5-14. Determinação do fator de atrito.

<i>Percurso</i>	<i>Diâmetro interno (mm)</i>	<i>Rugosidade característica (ε) (mm)</i>	<i>Rugosidade relativa (ε/d)</i>	<i>Número de Reynolds</i>	<i>Fator de atrito (f)</i>
<i>I</i>	97,80	0,06	0,0006	1.640.106	0,016
<i>II</i>	97,80	0,06	0,0006	1.640.106	0,016
<i>III</i>	97,80	0,06	0,0006	1.640.106	0,016

5.6.1.4 CÁLCULO DA PERDA DE CARGA.

Com todos os fatores determinados, calcula-se então a perda de carga para cada percurso, de acordo com a Equação 5.20.

Na Tabela 5-15, tem-se os parâmetros determinados e o valor da perda de carga.

Tabela 5-15. Determinação da perda de carga em cada percurso.

<i>Percurso</i>	<i>Fator de atrito (f)</i>	<i>Comprimento equivalente total (m) (L_{eqv})</i>	<i>Velocidade média do escoamento (V) (m/s)</i>	<i>Aceleração da gravidade (g) (m/s²)</i>	<i>Diâmetro interno (D) (m)</i>	<i>Perda de Carga (J) (m)</i>
<i>I</i>	0,016	33,90	8,42	9,80665	0,0978	20,04
<i>II</i>	0,016	105,92	8,42	9,80665	0,0978	62,61
<i>III</i>	0,016	120,11	4,24	9,80665	0,0978	18,03

5.6.2 ENERGIA DISPONÍVEL NO SISTEMA.

Para o cálculo da energia disponível no sistema leva-se em conta o estado do fluido nos pontos inicial e final de cada percurso.

De acordo com a seção 2.3.4 tem-se que para tubulações ligadas a recalque de uma bomba, ou de uma tubulação cujo escoamento se dê por diferença de altura ou de pressões, se o diâmetro da tubulação for o mesmo, a seguinte equação.

$$\left(\frac{P_1}{\gamma} - \frac{P_2}{\gamma}\right) + (H_1 - H_2) + \frac{V_i^2 - V_f^2}{2g} = \Delta E_{1,2} \quad (5.24)$$

A pressão na saída do reservatório será calculada de acordo com a equação a seguir.

$$P_1 = h \cdot \gamma \quad (5.25)$$

Onde P_1 é a pressão na saída do reservatório em Pa, P_2 é a pressão atmosférica no final de cada percurso (onde as torneiras serão instaladas) em Pa, γ é o peso específico do fluido transportado em N/m³, h é a altura da coluna de água do reservatório em m, H_1 é a altura no ponto inicial (saída do reservatório) em m, H_2 é a altura no ponto final (no final de cada percurso, onde as torneiras serão instaladas) em m, V_i é a velocidade inicial (na saída do reservatório) em m/s, V_f é a velocidade final (na saída das torneiras) em m/s e g é a aceleração da gravidade em m/s².

Em relação as alturas, só é considerada a inicial e final, não são consideradas variações no decorrer dos percursos. O mesmo para as velocidades.

De acordo com as Figuras presentes na seção 5.5.1, tem-se na Tabela 5-16 os fatores e o valor final da energia disponível calculados. Considera-se o peso específico da água à 20°C e 1 atm e a pressão atmosférica de Brasília, segundo o CPTEC/INPE (2016).

Tabela 5-16. Determinação da energia disponível em cada percurso.

<i>Percorso</i>	<i>Peso específico água (γ) (N/m³)</i>	<i>Pressão inicial (P_1) (Pa)</i>	<i>Pressão atm. (P_2) (Pa)</i>	<i>Altura inicial (H_1) (m)</i>	<i>Altura final (H_2) (m)</i>	<i>Veloc. inicial (V_i) (m/s)</i>	<i>Veloc. final (V_f) (m/s)</i>	<i>Energia disponível ($\Delta E_{1,2}$) (m)</i>
<i>I</i>	10000	156000	101800	0,60	0,60	16,77	0,07	19,76
<i>II</i>	10000	156000	101800	0,60	0,60	16,77	0,07	19,76
<i>III</i>	10000	156000	101800	0,60	0,60	16,77	0,07	19,76

Dessa forma, compara-se os valores da perda de carga e da energia disponível em cada percurso.

Tabela 5-17. Diferença entre a perda de carga e a energia disponível em cada percurso.

<i>Percorso</i>	<i>Perda de Carga (J) (m)</i>	<i>Energia disponível ($\Delta E_{1,2}$) (m)</i>	<i>Diferença (m)</i>
<i>I</i>	20,04	19,76	-0,28
<i>II</i>	62,61	19,76	-42,85
<i>III</i>	18,03	19,76	1,73

Com a perda de carga e a energia disponível determinadas, deve-se analisar cada percurso separadamente.

Para o percurso I, tem-se uma energia disponível um pouco menor que a perda de carga, em torno de 0,28 metros. Portanto, é uma perda de carga aceitável para o percurso. Dessa forma, todos os componentes e fatores de projeto dimensionados para o percurso em questão (diâmetro dos tubos, conexões, número de torneiras, vazões e velocidades) serão selecionados conforme especificado.

Para o percurso III, a energia disponível é maior 1,73 metros que a perda de carga. Portanto o percurso será selecionado conforme todos os dimensionamentos feitos.

Para o sistema de distribuição do percurso II tem-se que a diferença é muito grande, de aproximadamente 43 metros, isso quer dizer que o líquido atingirá o ponto final com uma pressão muito menor que a admitida inicialmente. Deve-se então buscar alternativas para definir como será recuperada essa perda de carga.

Para aumentar a energia disponível nesse percurso, deve-se aumentar a pressão inicial. Dessa forma, faz-se necessário o uso de uma moto-bomba que forneça essa pressão que será fundamental para o sistema.

Na seção 5.4.6 foi dimensionada uma bomba para uso do sistema de recalque e sucção na captação de águas pluviais. Pode-se então utilizar essa bomba fazendo um by-pass na tubulação de recalque e utilizando uma válvula para fazer a conexão da bomba com o percurso II, para que forneça uma pressão que, juntamente com a pressão inicial (da coluna d'água do reservatório), será utilizada para aumentar a energia disponível no sistema.

O conjunto motor-bomba será selecionado no capítulo 6 e, deverá ser selecionado um que atenda além dos requisitos do sistema de recalque e sucção, os de pressão para aumento da energia disponível no percurso II.

5.7 ANÁLISE DE TENSÕES.

Realizada a análise de perda de carga, deve-se fazer a análise estrutural do sistema, verificando as tensões nas paredes dos tubos conforme explicado na seção 2.4.

Deve-se então calcular a tensão longitudinal, circunferencial e de cisalhamento nos tubos, conforme equações:

- Tensão normal circunferencial:

$$\sigma_{\theta\theta} = \frac{P \cdot d}{2 \cdot t} \quad (5.26)$$

- Tensão normal longitudinal:

$$\sigma_{ll} = \frac{P \cdot d}{4 \cdot t} + \sigma_{f \max} = \frac{P \cdot d}{4 \cdot t} + \frac{32 \cdot (d + 2 \cdot t)^4 \cdot M_{\max}}{\pi \cdot ((d + 2 \cdot t)^4 - d^4)} \quad (5.27)$$

- Tensão de cisalhamento:

$$\tau_{i\theta} = \frac{16 \cdot T \cdot D}{\pi \cdot (D^4 - d^4)} \quad (5.28)$$

Considerando o momento fletor máximo e torque interno resultante igual a zero. Tem-se que:

Tabela 5-18. Valores da tensão normal circunferencial e longitudinal.

<i>Percurso</i>	<i>Pressão interna (P) (Pa)</i>	<i>Diâmetro interno dos tubos (d) (m)</i>	<i>Espessura da parede (t) (m)</i>	<i>Tensão normal circunferencial ($\sigma_{\theta\theta}$) (MPa)</i>	<i>Tensão normal longitudinal (σ_{ll}) (MPa)</i>
<i>I</i>	156000	0,0978	0,0061	1,251	0,625
<i>II e III</i>	156000	0,0978	0,0061	1,251	0,625

Pelo círculo de Mohr, calcula-se então as tensões principais mínima e máxima e a máxima tensão de cisalhamento.

- Tensões principais:

$$\sigma_{A,B} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad (5.29)$$

- Máxima tensão cisalhante:

$$\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad (5.30)$$

Utilizou-se então o critério de falha para materiais frágeis da máxima tensão normal (Teoria de Rankine ou Teoria de Coulomb) para verificar se as tensões máximas estão de acordo com a tensão de ruptura do material em um teste de tração uniaxial.

$$|\sigma_A| < \sigma_r \quad (5.31)$$

$$|\tau_{max}| < \sigma_r \quad (5.32)$$

Tem-se então que, para o PVC rígido, a máxima tensão ao qual o material resiste antes da ruptura sob tração é entre 31-60 MPa para produtos moldados de acordo com a ASTM D638 (TITOW, 1984).

Tabela 5-19. Tensões máximas pelo critério da máxima tensão normal.

Percurso	Tensão principal máxima (σ_A) (MPa)	Tensão principal mínima (σ_B) (MPa)	Máxima tensão cisalhante (τ_{max}) (MPa)	Faixa de Tensão de ruptura admissível (σ_r) (MPa)
<i>I</i>	1,25	0,63	0,31	31,00 - 60,00
<i>II e III</i>	1,25	0,63	0,31	31,00 - 60,00

Portanto, a tensão é admissível considerando o critério proposto. Analisando o valor mínimo da tensão de ruptura, tem-se para cada percurso um fator de segurança de:

Tabela 5-20. Tensão máxima admissível e fator de segurança.

Percurso	Tensão máxima admissível (σ_A) (MPa)	Tensão de ruptura admissível máxima (σ_r) (MPa)	Fator de Segurança
<i>I</i>	1,25	31,00	24,80
<i>II e III</i>	1,25	31,00	24,80

Dessa forma, tem-se um fator de segurança aceitável para projeto.

O próximo passo é analisar se a espessura dos tubos irá aguentar a pressão interna gerada. A norma ASME B31 define como deve ser calculado a espessura de parede do tubo (t):

$$\sigma_{adm} = \frac{P \cdot d}{4 \cdot t} \quad (5.33)$$

Dessa forma tem-se que para os percursos, a espessura mínima de parede aceitável será de:

Tabela 5-21. Espessura mínima de parede.

<i>Percurso</i>	<i>Espessura mínima de parede aceitável (t) (mm)</i>	<i>Espessura de parede do tubo selecionado (t) (mm)</i>
<i>I</i>	<i>3,1</i>	<i>6,1</i>
<i>II e III</i>	<i>3,1</i>	<i>6,1</i>

As duas espessuras de parede dos tubos selecionados irão suportar as cargas da pressão interna no bocal.

5.8 ANÁLISE DE FLEXIBILIDADE.

Como exposto na seção 2.5 do capítulo 2, deve-se realizar a análise de flexibilidade do sistema. Essa análise será realizada considerando um tubo reto fixado nos dois extremos que sofra um aumento de temperatura, como ele não pode dilatar, exercerá um empuxo sobre os pontos de fixação. O valor deste empuxo será equivalente à força de compressão, capaz de comprimir um tubo de comprimento igual.

Porém, o sistema de captação e distribuição de águas pluviais não terá variação de temperatura que possa influenciar na dilatação dos tubos. Sendo assim, não será necessária a análise do sistema quanto a flexibilidade.

5.9 DESENHOS DO SISTEMA COMPLETO.

Nas próximas figuras, tem-se imagens em perspectiva do sistema completo, com o reservatório, captação e distribuição.

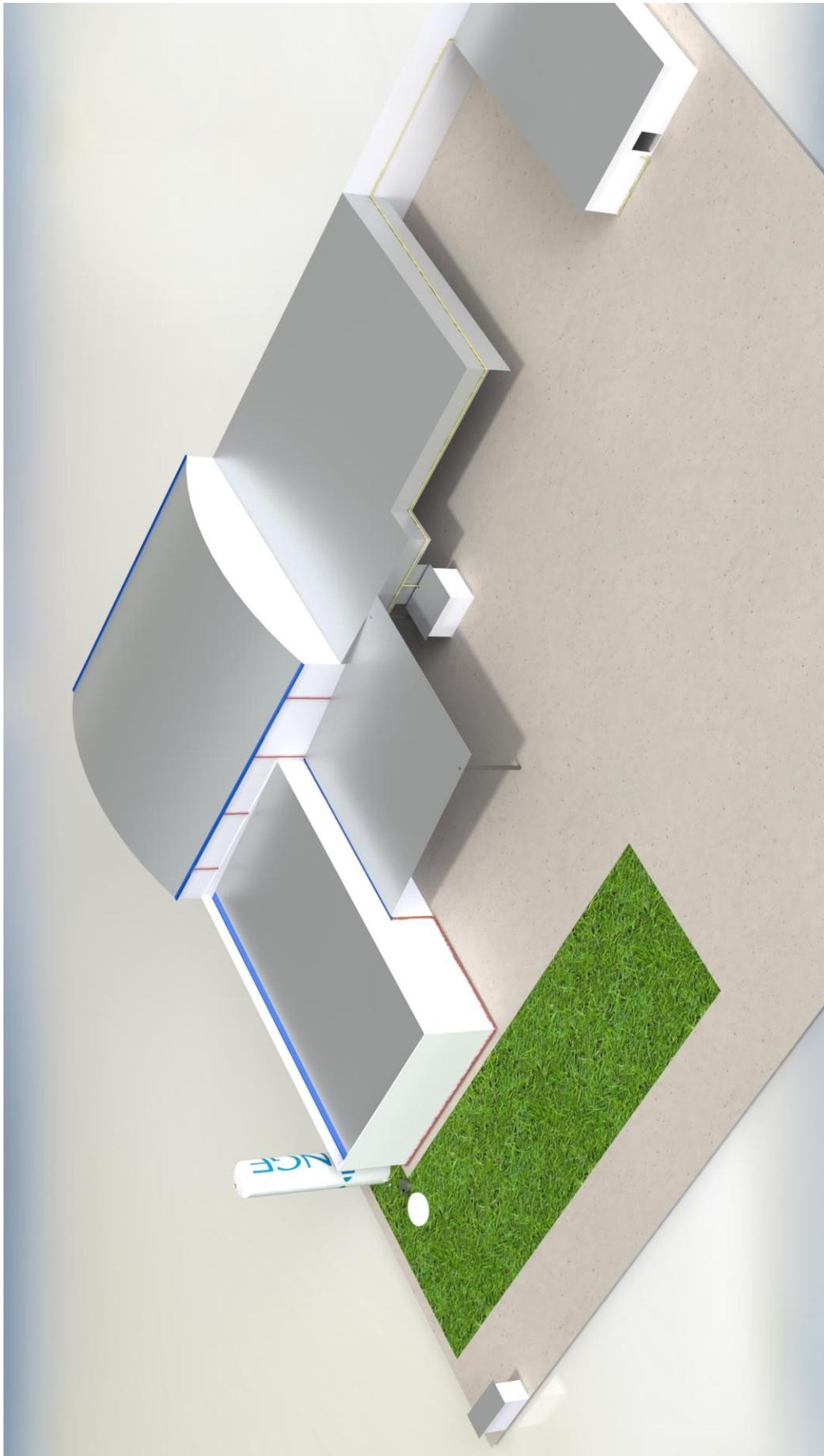


Figura 5.31. Vista frontal e lateral direita do sistema completo em perspectiva.

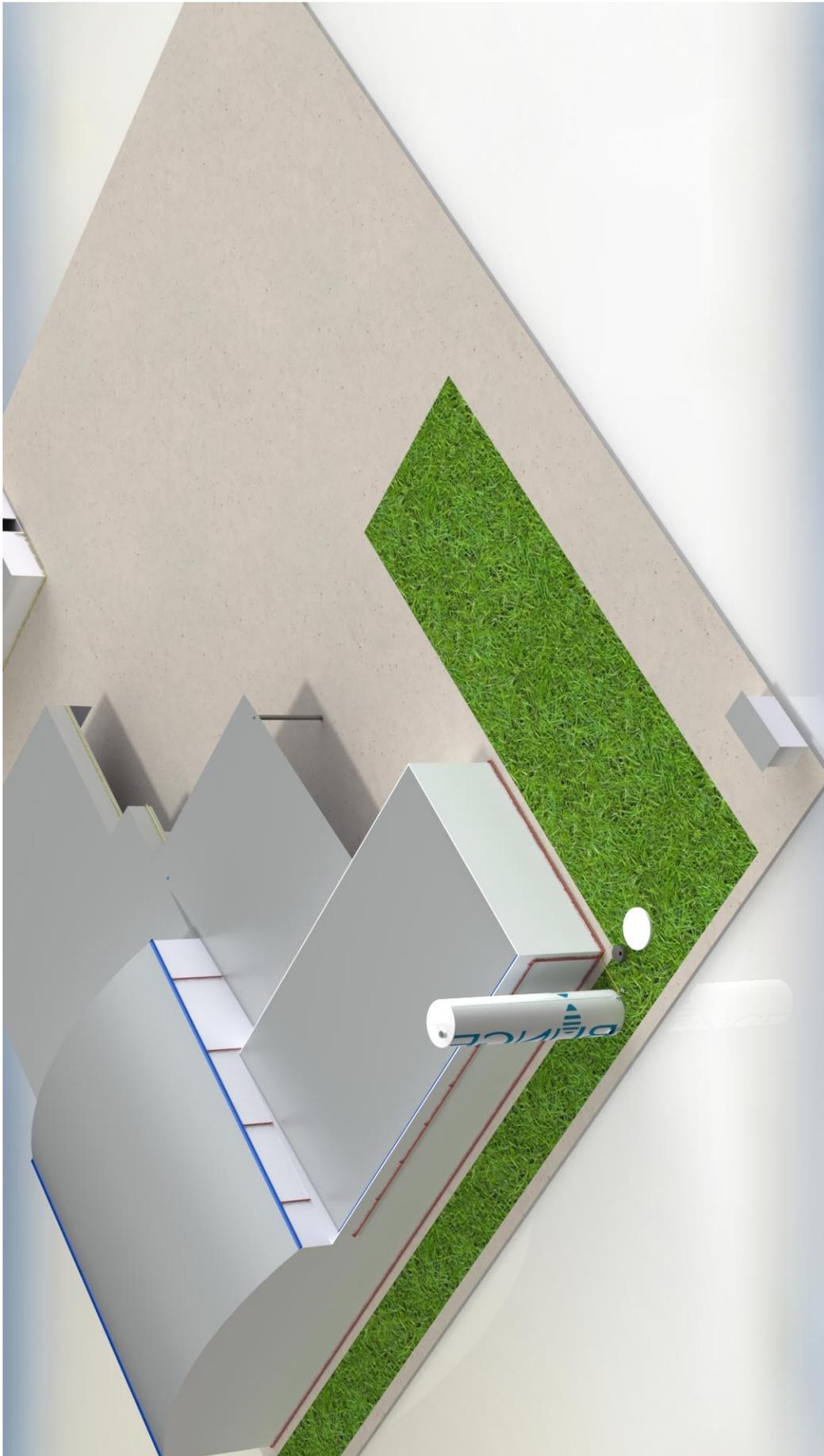


Figura 5.32. Vista frontal e lateral esquerda em perspectiva do sistema completo.

6 SELEÇÃO DOS COMPONENTES

Este capítulo apresenta toda seleção dos componentes dos sistemas de captação, recalque e sucção, distribuição e tratamento da água captada. Tem-se também os orçamentos dos componentes selecionados.

6.1 INTRODUÇÃO.

No capítulo 5 foram dimensionados todos os componentes dos sistemas de captação e distribuição de águas pluviais e no capítulo 2 foram dispostos todos os materiais e tipos exigidos por norma para cada componente. Dessa forma, entrou-se em contato com os fornecedores para a seleção de cada componente dimensionado.

Vários fatores influenciaram na escolha do material a ser confeccionada a totalidade da tubulação, dentre eles, os mais relevantes são:

- Propriedades mecânicas - estas propriedades (resistência à tração, à fluência, à fadiga, o módulo de elasticidade, entre outros) estão intimamente ligados à integridade estrutural do sistema quando submetido à carregamentos mecânicos estáticos ou dinâmicos.

- Resistência à corrosão;

- Custo – fator muitas vezes decisivo, dado as limitações orçamentárias inerente a todo projeto de engenharia;

- Disponibilidade – a facilidade de se obter determinado produto pré-selecionado, com baixos custos logísticos, é de fundamental importância em sua escolha ou rejeição.

Nas seções a seguir, tem-se a seleção dos componentes separada por sistema e superfície ou percurso corresponde.

6.2 SELEÇÃO DO RESERVATÓRIO.

Foi feita então uma análise com fornecedores de reservatórios de grande capacidade.

A FAZFORTE foi um desses fornecedores. Ela possui em seu catálogo de produtos caixas d'água tubulares verticais que são feitas em aço carbono. A empresa possui caixas d'água com capacidade que vão de 3 mil litros até 700 mil litros.

Para o caso da caixa d'água dimensionada para o projeto ($V_{nominal} = 150.000$ litros), a FAZFORTE possui o seguinte:

- Reservatório tubular vertical;

- Código TBL 15002;

- Capacidade de 150 mil litros;

- Altura de 15,60 m;

- Diâmetro de 3,50 m.

É um reservatório metálico que atende a norma NBR 7821, construído em chapa de aço carbono ASTM A36 para garantir maior durabilidade e integridade estrutural de acordo com o projeto quanto a força do vento em edificações conforme ABNT NBR 6123. Além disso, toda parte de fixação (soldagem) e pintura interna e externa atendem todas as normas brasileiras. O reservatório vem com diversos acessórios, que vão de escadas com guarda corpo até suportes de fixação de tubulações e conexões para entrada e saída de consumo.

Na Figura 6.1, tem-se o projeto com o desenho técnico do reservatório.

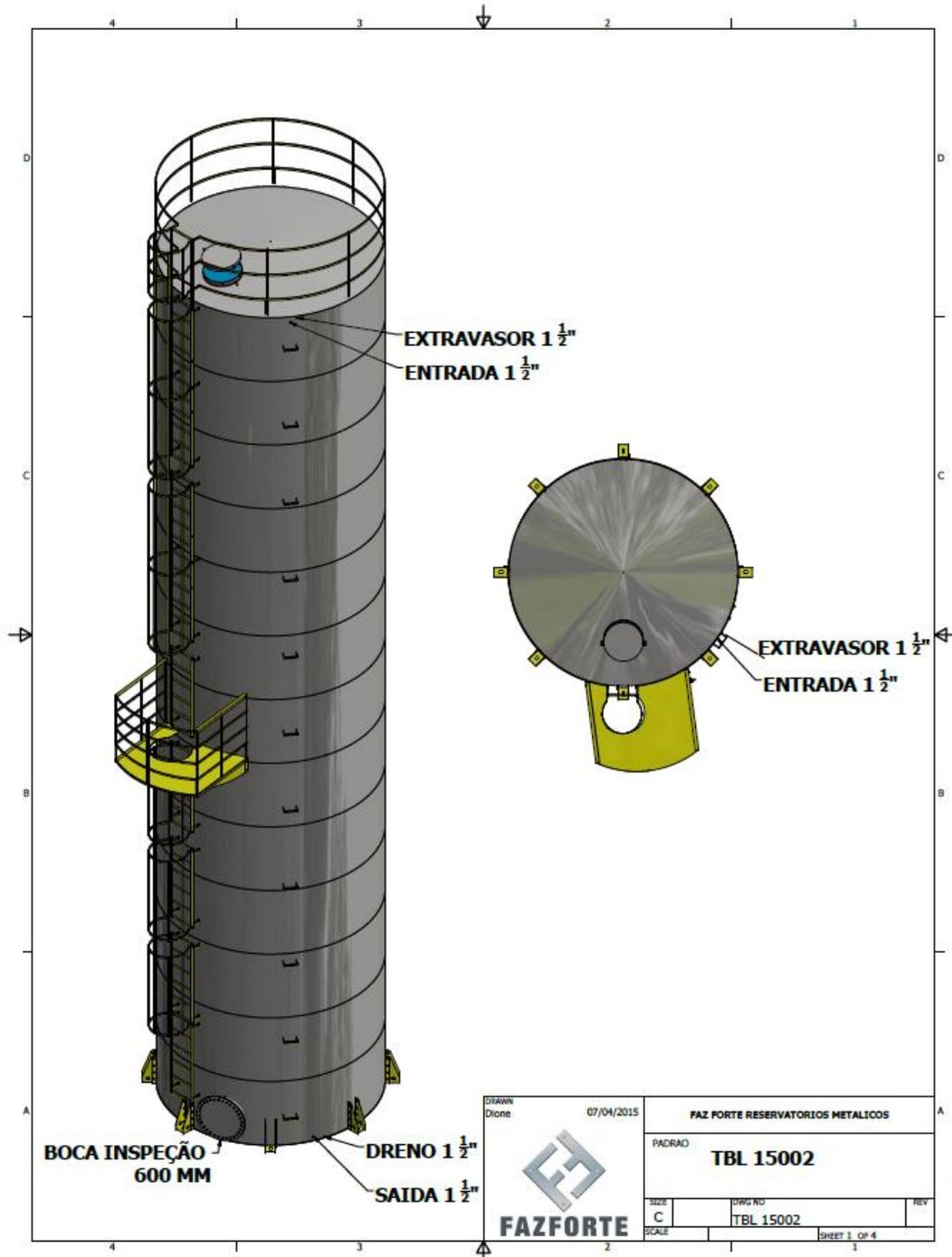


Figura 6.1. Desenho técnico do reservatório da Fazforte. Fonte: (FAZFORTE, 2016)

Realizado o contato com a empresa, foi fornecida uma proposta de orçamento com o valor do reservatório que sairia por R\$ 73.445,40. A empresa reside Birigui/SP e o valor do frete para Brasília/DF será de R\$ 3.500,00. O fornecedor garantiria a entrega dentro do prazo de 40 dias, já com instalação e montagem asseguradas. Porém, como o reservatório possui elevada altura, necessita de um projeto para a base civil (fundação), pois sofre forte ação do vento. A base é feita de concreto com ferragem armada. A FAZFORTE também fornece o projeto executivo da base civil, porém a instalação fica a cargo do contratante.

Outro fornecedor de reservatórios de grandes capacidades consultado foi a FIDO, que também possui reservatórios que atendem aos requisitos do projeto. Para tal, a FIDO tem o seguinte:

- Reservatório em aço carbono tipo tubular alta;
- Código 040418;
- Capacidade de 150.000 litros;
- Diâmetro de 3,82 m;
- Altura total de 13,20 m.

O reservatório também é confeccionado em chapas de aço carbono de alta resistência à corrosão e de qualidade estrutural ASTM A36 e possui soldas e pinturas em conformidade com as normas brasileiras. Além de possuir diversos acessórios componentes.

O reservatório especificado da FIDO tem o valor de R\$ 64.764,00.

Foi escolhido o reservatório da FAZFORTE, pois apesar de ter um valor mais alto, o fornecedor garantiu a instalação e montagem dentro de um pequeno prazo e, além disso, as especificações técnicas do reservatório (altura maior e diâmetro menor) atendem melhor aos requisitos do projeto.

6.3 SELEÇÃO DO SISTEMA DE CAPTAÇÃO.

De acordo com o dimensionado na seção 5.4, foram selecionados os componentes do sistema de captação: calhas, condutores verticais e horizontais e conexões. Foi selecionado o sistema de recalque e sucção que também faz parte da captação do sistema.

6.3.1 CALHAS.

De acordo com o dimensionado no capítulo 5, tem-se a seleção no Apêndice IV.

O material das calhas e componentes Tigre é o PVC. Todo o orçamento foi realizado com o fornecedor Casa & Construção.

Será utilizado Adesivo Plástico Tigre para realizar o encaixe entre calhas, emendas e bocais.

O custo total para as calhas e componentes é de **R\$ 13.733,80**.

Porém, as calhas e componentes instalados atualmente atendem ao dimensionamento feito no capítulo 5, dessa forma, não será necessário a troca desses componentes. Deve-se apenas realizar uma manutenção geral do sistema de calhas atual e instalar para proteção e filtragem da água captada grelhas

hemisféricas flexíveis que serão instaladas nos bocais das calhas, e evitam que sujeiras e folhas sejam encaminhadas através da tubulação de águas pluviais. A seleção consta no Apêndice IV.

O material da grelha hemisférica flexível e do porta grelha é o polipropileno.

O custo total será de **R\$ 156,90**.

6.3.2 CONDUTORES VERTICAIS.

De acordo com o dimensionado, tem-se a seleção dos componentes no Apêndice IV.

O material dos tubos Tigre é o PVC. Todo o orçamento foi realizado com o fornecedor Leroy Merlin.

Tais tubos deverão substituir os que estão sendo utilizados no sistema atual, pois os mesmos estão com dimensões erradas e vários problemas de vazamentos.

Deve-se atentar a fixação desses tubos. A cada 3 m de condutor, é recomendado que utilize duas abraçadeiras. A abraçadeira para condutor circular é composta por um anel articulado e um pino de travamento.

O custo total será de **R\$ 953,74**.

6.3.3 CONDUTORES HORIZONTAIS.

De acordo com o dimensionado pela norma, tem-se a seleção no Apêndice IV.

O material dos tubos Tigre é o PVC. O orçamento dos tubos de 200 mm foi realizado com a Loja Merc. Já o orçamento das abraçadeiras foi realizado com o fornecedor Leroy Merlin.

Tais tubos deverão substituir os que estão sendo utilizados no sistema atual, pois os mesmos estão com dimensões erradas e vários problemas de vazamentos.

Deve-se atentar a fixação desses tubos. A cada 3 m de condutor, é recomendado que utilize duas abraçadeiras. A abraçadeira para condutor circular é composta por um anel articulado e um pino de travamento.

O custo total será de **R\$ 8.546,59**.

6.3.4 CONEXÕES.

De acordo com o dimensionado, tem-se a seleção no Anexo IV.

O material de todas as conexões é o PVC.

Tais conexões deverão substituir as que estão sendo utilizadas no sistema atual, pois as mesmas estão com dimensões erradas e vários problemas de vazamentos.

O custo total será de **R\$ 4.305,34**.

6.3.5 SISTEMA DE RECALQUE E SUCÇÃO E DA BOMBA.

De acordo com o dimensionado, tem-se a seleção dos tubos no Apêndice V.

Todos os tubos foram orçados com o fornecedor Copafes. Já as abraçadeiras foram encontradas na Leroy Merlin.

Para as conexões do sistema, tem-se a seleção também no Apêndice V.

Outro componente de extrema importância a ser selecionado é a bomba. Lembrando que a bomba será utilizada para o sistema de recalque e sucção e também para aumentar a pressão no sistema de distribuição da água captada no percurso II.

A potência nominal da bomba deverá ser de 0,5 cv, como dimensionado na seção 5.4.6. Porém outro fator importante para o dimensionamento é a pressão que essa bomba exercerá, que deverá dar energia ao sistema para que se elimine a perda de carga.

Foi selecionado então o seguinte:

- Moto-Bomba de ½ cv com um Sistema Pressurizador Centrífugo. Fabricante-referência: FERRARI-ACQUAPRESS-22;



Figura 6.2. Moto-bomba com sistema pressurizador centrífugo. Fonte: (Loja do Mecânico, 2016)

Especificações Técnicas:

- Voltagem: bivolt (110/220 V);
- Altura máxima de recalque: 22 m;
- Vazão: 5400 L/h;
- Conexões (entrada/saída): 1" x 1";
- Pressão máxima de trabalho: 10 bar;
- Pressão máxima de partida: 1,5 bar;

Tal bomba está com um valor de R\$ 1.054,35 na Loja do Mecânico.

Selecionada a bomba, deve-se verificar agora se ela irá atender ao exigido pelo percurso II do sistema de captação, como exposto na seção 5.6.2.

Deve-se realizar a análise de energia disponível no sistema agora com a bomba. Terá então uma nova pressão inicial que será:

$$P_1 = P_{coluna\ d'água} + P_{bomba} \quad (6.1)$$

A pressão da coluna d'água é de 156 kPa e a pressão máxima de trabalho da bomba é 10 bar, o que corresponde à 1000 kPa. Porém, não será necessário utilizar a pressão máxima de trabalho

disponível. Utilizando 50% da pressão máxima de trabalho, a bomba fornecerá uma pressão de 500 kPa para o sistema. A pressão inicial será então:

$$P_1 = P_{coluna\ dráguas} + P_{bomba} = 156 + 500 = 656\ kPa$$

Sendo assim, faz-se a análise de energia disponível no sistema com uma nova pressão inicial (P_1). Todos os outros fatores serão os mesmos.

$$\Delta E_{1,2} = 69,76\ m$$

Conforme calculado na seção 5.6.1 a perda de carga nesse percurso será de:

$$J = 62,61\ m$$

Ou seja, a perda de carga será eliminada com a nova energia disponível do sistema.

Portanto, o sistema de recalque e sucção com um conjunto moto-bomba terá um custo total de **R\$ 1.181,81**.

6.4 SELEÇÃO DO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO.

De acordo com o dimensionado na seção 5.5, foram selecionados os componentes do sistema de distribuição: tubos e conexões.

6.4.1 TUBOS.

De acordo com o dimensionado, tem-se a seleção no Apêndice VI.

O material dos tubos Tigre é o PVC.

Nas tubulações aparentes, os tubos devem ser fixados com abraçadeiras de superfícies internas lisas e largas, com um comprimento de contato de no mínimo 5 cm, abraçando o tubo quase que totalmente. A cada 2,5 m deve-se instalar uma abraçadeira.

O custo total para os tubos e componentes é de **R\$ 13.684,65**.

6.4.2 CONEXÕES.

De acordo com o dimensionado, tem-se a seleção no Apêndice VI.

O material das conexões Tigre é o PVC. A válvula esfera Docol é de metal cromado.

O custo total para as conexões é de **R\$ 6.827,25**.

6.5 SELEÇÃO DOS COMPONENTES PARA INSTALAÇÃO DOS TUBOS.

Para instalação dos componentes deve-se utilizar a seleção de acordo com o Apêndice VII.

A quantidade total a ser usada vai depender do instalador do sistema, portanto não tem como prever quanto será utilizado.

6.6 SELEÇÃO DOS COMPONENTES DO SISTEMA DE TRATAMENTO DA ÁGUA.

Para tratamento da água captada e distribuída pelo sistema, entrou-se em contato com fornecedores e foram analisadas possibilidades de filtragem.

Para o sistema de captação de águas pluviais, entrou-se em contato com o fornecedor ECOCASA, que possui diversas opções de filtros que atendem sistemas de aproveitamento de água da chuva. De acordo com o projeto da Bunge, o fornecedor indicou o Filtro VF12 – Acquasave/3P Technik. O filtro é desenvolvido para atender a grandes volumes e áreas de telhado de forma simples, centralizada e autônoma. Ele atende superfícies com área de coleta e até 3000 m² com grande vazão, garantindo que a fração filtrada da água da chuva seja direcionada à cisterna com a qualidade necessária ao armazenamento para atender todas as demandas previstas no projeto.

O kit Filtro VF12 é constituído dos seguintes componentes:

- 1 Filtro: responsável por filtrar a água e direcionar a quantia que irá para o reservatório, enviando o excedente para a galeria pluvial que possui um sistema de autolimpeza e um sistema de vazão plena em caso de reservatório cheio;

- 1 Conjunto flutuante: capta somente a água logo a baixo da lâmina de água do reservatório de maneira a não sugar material decantado no fundo da cisterna;

- 1 Sifão ladrão: impede que o reservatório transborde, além de não permitir que pequenos animais acabem entrando no mesmo, assegurando a qualidade da água armazenada;

- 1 Realimentador: dispositivo elétrico composto por válvula solenoide e bóia que abastece automaticamente o reservatório com água da rua quando ocorre falta de chuva;

- 1 Caixa protetora: caixa reforçada onde o filtro será instalado de forma a proteger seus componentes e facilitar a inspeção.

Na Figura 6.3, tem-se os componentes do kit do filtro.



Figura 6.3. Unidade de filtração VF12. No canto superior a esquerda tem-se o realimentador, no inferior esquerdo tem-se a unidade filtrante. No canto superior direito tem-se a caixa protetora do filtro e logo abaixo a montagem. Fonte: (ECOCASA, 2016)

O fornecedor enviou um orçamento no valor de **R\$ 5.000,00** para aquisição dos componentes e instalação do kit de filtragem.

Para o sistema de distribuição no percurso I, onde as tubulações serão enterradas, deve-se utilizar caixas de areia sempre que houver conexões com outra tubulação, mudança de declividade, mudança de direção e ainda a cada trecho de 20 m nos percursos retilíneos. Dessa forma, selecionou-se o seguinte:

Tabela 6-1. Seleção da caixa de areia para filtração em tubulações enterradas.

<i>Componente</i>	<i>Diâmetro (mm)</i>	<i>Fabricante/ Código</i>	<i>Qtd.</i>	<i>Valor Unit. (R\$)</i>	<i>Valor total (R\$)</i>	<i>Fornecedor</i>
<i>Caixa de areia</i>	<i>100</i>	<i>Tigre/ 27801145</i>	<i>6</i>	<i>140,90</i>	<i>845,40</i>	<i>Leroy Merlin</i>

6.7 SELEÇÃO FINAL.

De acordo com o exposto nas seções anteriores, tem-se todos os componentes, com todos os valores (unitário e final) que precisarão ser comprados separados por qual sistema serão utilizados. No capítulo 8 será realizada uma análise financeira de todo o projeto. A tabela de seleção final encontra-se no Apêndice VIII.

7 ANÁLISE FINANCEIRA DO PROJETO

Este capítulo apresenta a análise financeira final do projeto, utilizando de técnicas de análise de viabilidade para se chegar a um consenso se o projeto é ou não viável.

7.1 INTRODUÇÃO.

Todo projeto, por definição, é único. E é justamente por ser único, que detém uma característica que torna a decisão de investimento difícil: todo projeto tem riscos associados. (RIBEIRO, 2010)

Para maior confiabilidade na tomada de decisão do investimento, deve-se analisar o quão viável ele é. Tem-se diversos tipos de análise de viabilidade, as principais são: técnica, estratégica e econômico-financeira.

- Viabilidade técnica: observa-se se o projeto atende aos requisitos técnicos de tecnologia disponível e adequação as leis e normas.

- Viabilidade estratégica: observa-se se o projeto atende aos requisitos estratégicos de adequação ou contribuição aos objetivos traçados no planejamento estratégico da organização, se o projeto for corporativo e adequação ou contribuição aos objetivos estratégicos do negócio, se o projeto for operacional.

- Viabilidade econômico-financeira: observa-se se o projeto atende aos requisitos econômicos e financeiros, tais como: existência de fontes de financiamento disponíveis e acessíveis no mercado, para assegurar os recursos financeiros necessários para a realização do projeto; disponibilidade de recursos financeiros suficientes para realizar o projeto e manter o produto/serviço do projeto operando; o fluxo de desembolso do projeto é factível e; o retorno esperado com o produto/serviço do projeto é adequado ao investimento realizado no projeto.

Para se analisar se o projeto é viável ou não financeiramente, existem técnicas de análise de investimento. Para o projeto do sistema de captação e aproveitamento de águas pluviais na Bunge Alimentos S.A. em Brasília/DF serão utilizadas 3 técnicas de análise de investimento: Payback Simples, Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR).

Porém, para tais análises, deverá levantado todo o fluxo de caixa do projeto, especificando primeiramente o custo total de investimento do mesmo.

7.2 CUSTO TOTAL.

De acordo com o exposto nas seções anteriores, tem-se que o custo total separado por sistema, será de:

Tabela 7-1. Investimento total do projeto.

<i>Sistema</i>	<i>Componente</i>	<i>Valor (R\$)</i>	<i>Valor Total (R\$)</i>
<i>Reservatório</i>	<i>Reservatório completo e componentes</i>	76.945,40	76.945,40
<i>Sistema de captação</i>	<i>Componentes das calhas</i>	156,90	13.962,57
	<i>Condutores e componentes</i>	9.500,33	
	<i>Conexões</i>	4.305,34	
<i>Sistema de recalque e sucção</i>	<i>Condutores, componentes e conexões</i>	127,46	1.181,81
	<i>Conjunto Moto-bomba</i>	1.054,35	
<i>Sistema de distribuição</i>	<i>Condutores e componentes</i>	13.684,65	20.511,90
	<i>Conexões</i>	6.827,25	
<i>Sistema de tratamento da água</i>	<i>Kit Filtro</i>	5.000,00	5.845,40
	<i>Caixas de areia</i>	845,40	
	TOTAL		118.447,08

O valor total dos componentes do sistema seria em torno de R\$ 118.447,08.

Porém, todos os fornecedores para os componentes foram verificados online, e nos orçamentos não foram inclusas taxas de frete. Sendo assim, será adicionada então uma taxa de 10% no valor total dos componentes (exceto reservatório) para compensar um possível frete ou um valor a mais, caso os componentes sejam comprados em uma loja física.

Também deve-se levar em conta, como especificado na seção 6.5, os valores dos componentes utilizados para instalação dos tubos e conexões e da mão de obra especializada para instalação do sistema.

Outro custo importante a ser adicionado é o da mão de obra para instalação da fundação da base civil para instalação do reservatório.

Sendo assim, entrou-se em contato com uma empresa de mão de obra especializada, a COOPERSOLDA, que fornece serviços de mão de obra civil e manutenção industrial para a Bunge Brasília. A empresa forneceu um orçamento para instalação completa do sistema de captação e distribuição, já inclusos a instalação também do sistema de recalque e da bomba e os componentes utilizados na instalação das tubulações (adesivos, solução, veda rosca).

O total da mão de obra para instalação seria de R\$ 35.750,00.

Para produção da base civil do reservatório, a COOPERSOLDA forneceu um orçamento com mão de obra e materiais já inclusos de R\$ 5.125,00

Dessa forma, tem-se que o investimento total do projeto, com as taxas extras especificadas já inseridas, seria de acordo com a Tabela 7-2.

Tabela 7-2. Investimento final do projeto com todas as taxas e mão de obra incluídas.

<i>Custos</i>	<i>Componente</i>	<i>Valor Total (R\$)</i>
<i>Reservatório</i>	<i>Reservatório completo e componentes</i>	<i>76.945,40</i>
<i>Mão de obra fundação civil</i>	<i>Fundação para o reservatório</i>	<i>5.125,00</i>
<i>Sistema de captação</i>	<i>Todos os componentes + Taxas</i>	<i>15.358,83</i>
<i>Sistema de recalque e sucção</i>	<i>Todos os componentes + Taxas</i>	<i>1.299,99</i>
<i>Sistema de distribuição</i>	<i>Todos os componentes + Taxas</i>	<i>22.563,09</i>
<i>Sistema de tratamento da água</i>	<i>Todos os componentes + Taxas</i>	<i>5.845,40</i>
<i>Mão de obra de instalação</i>	<i>Todos os sistemas</i>	<i>35.750,00</i>
	<i>TOTAL</i>	<i>162.887,71</i>

Esse será o investimento total para instalação do sistema.

Após a instalação, deve-se considerar os custos de manutenção do conjunto moto-bomba, do filtro e do reservatório. No capítulo 8 será especificada a periodicidade dessa manutenção.

Após análise de orçamentos online, foi verificado que um contrato para manutenção mensal do sistema completo de recalque, sucção, moto-bomba e reservatório para um sistema de água potável com 2 moto-bombas de 5 cv de um edifício da Secretaria Municipal de Obras e viação de Porto Alegre/RS é de R\$ 395,00. (SMOV, 2015)

Dessa forma, modificando os parâmetros para o sistema da Bunge, que será muito menor e menos complexo, arbitra-se um valor de manutenção mensal em torno de R\$ 150,00.

Realiza-se então as análises de viabilidade financeira anteriormente especificadas.

7.3 PAYBACK SIMPLES.

Payback, ou prazo de recuperação do investimento, é uma das técnicas de análise de investimento mais utilizadas. Por meio desta, calcula-se o período (prazo) que o investidor irá precisar para recuperar o capital investido. Sob o ponto de vista do payback, o projeto é considerado viável quando o prazo encontrado como resultado do cálculo for menor que o prazo desejado para a recuperação do investimento. (RIBEIRO, 2010)

Para realizar a análise de payback do projeto do Sistema de Captação e Aproveitamento de Águas Pluviais para a Bunge Alimentos deve-se verificar diversos fatores, entre eles:

- Demanda, uso fim e consumo de água não potável na fábrica: tomando os dados do ano de 2016, com o sistema instalado ter-se-ia uma economia de **187 mil litros de água por mês**, em torno de 27% do total, como especificado na seção 5.2.6.
- Valor pago nas contas de água para fins não potáveis: tomando os dados do ano de 2016 e considerando um consumo total de água para fins não potáveis de 39% do total, tem-se que a empresa paga mensalmente em torno de R\$ 5,794,67 na conta de água para esse fim, como exposto na seção 3.3.3. Porém, como definido, a água captada será destinada apenas para a limpeza geral da fábrica (27% do total), então a economia mensal da empresa na conta de água para esse fim será de aproximadamente R\$ 4.096,66. Retirando os R\$ 150,00 mensais da

manutenção da bomba e arredondando o valor final, **tem-se uma receita mensal de aproximadamente R\$ 4.000,00.**

- Média pluviométrica da região: como mostrado nos gráficos da seção 5.2.1 tem-se um período de estiagem em Brasília que vai de maio a setembro (5 meses). Porém, há uma variação de chuvas nos meses de maio e setembro, onde pode ser considerado um período de estiagem de 4 meses.
- Capacidade do reservatório: como dimensionado na seção 5.3 o reservatório terá uma capacidade de 150.000 litros, onde, pelo método de dimensionamento (Método Prático Alemão), já se considera uma margem de segurança que engloba vazamentos, descarte inicial das primeiras chuvas e meses de estiagem.

Para análise de payback, serão considerados 3 cenários: pessimista, conservador e otimista.

No cenário pessimista, considera-se que mesmo com o dimensionamento do reservatório englobando os períodos de estiagem (4 meses), pode-se considerar que durante 3 meses do ano o reservatório não será utilizado, entre junho, julho e agosto. Considerando que o reservatório atenda a demanda para os 9 meses restantes do ano e o valor da economia mensal de água de R\$ 4.000,00, como já especificado, ter-se-ia uma receita de R\$ 36.000,00 por ano.

Como visto na seção 7.2, o custo total do sistema será de R\$ 162.887,71.

Dessa forma, tendo o sistema completamente instalado, com todos os componentes necessários dimensionados de acordo com as normas brasileiras, toda a instalação executada e toda confiabilidade possível do sistema, em um cenário pessimista, o investimento demoraria em torno de **4 anos e 6 meses** para se pagar.

Fazendo a análise em um cenário conservador, considerando tudo que já foi exposto, o reservatório captaria água durante todo o ano e a receita anual seria de R\$ 48.000,00. Nesse caso, o payback seria de **3 anos e 5 meses.**

Considerando um cenário “otimista”, tem-se a possibilidade do aumento na taxa da conta de água pela distribuidora local (Caesb) com a crise hídrica e possibilidade iminente do racionamento de água no Distrito Federal. No mês de outubro, a Caesb anunciou que para residências ou indústrias que consumirem acima de 10 m³ de água ao mês, terão de pagar uma tarifa extra de 20% a partir de dezembro de 2016. (ADASA, 2016)

Com o advento da taxa extra na conta de água no Distrito Federal, a economia mensal seria em torno de R\$ 4.800,00. Com o reservatório atendendo a demanda nos 12 meses do ano, tem-se uma economia anual de R\$ 57.600,00 e um período de retorno do investimento de **2 anos e 9 meses.**

Tabela 7-3. Cenários da análise de Payback Simples.

<i>Cenário</i>	<i>Investimento Total (R\$)</i>	<i>Receita anual (R\$)</i>	<i>Período de retorno do investimento</i>
<i>Pessimista</i>	<i>162.887,71</i>	<i>36.000,00</i>	<i>4 anos e 6 meses</i>
<i>Conservador</i>	<i>162.887,71</i>	<i>48.000,00</i>	<i>3 anos e 5 meses</i>
<i>Otimista</i>	<i>162.887,71</i>	<i>57.600,00</i>	<i>2 anos e 9 meses</i>

7.4 VALOR PRESENTE LÍQUIDO - VPL.

O VPL é considerado é obtido descontando o fluxo de caixa a uma taxa especificada, trazendo, dessa forma, todos os valores para a situação inicial – a um valor presente líquido. Essa taxa especificada normalmente corresponde a uma de retorno mínimo que deve ser obtido por um projeto. Sob o ponto de vista do VPL, o projeto é considerado viável quando o resultado do cálculo for maior do que zero, pois isso quer dizer que o projeto dará um retorno maior do que a taxa especificada. (RIBEIRO, 2010)

Para o projeto da Bunge, tem-se um investimento inicial de R\$ 162.887,71. Considerando o cenário conservador, onde o payback será em 3 anos e 5 meses, considera-se um período de 4 anos. A taxa de desconto será considerada de (i) 2%. A receita anual será de R\$ 48.000,00 considerada sem variação.

Calcula-se então o VPL pela Equação 8.1:

$$VPL = -(Valor\ invest) + \frac{Valor\ 1^o\ ano}{(1+i_1)^1} + \frac{Valor\ 2^o\ ano}{(1+i_2)^2} + \frac{Valor\ 3^o\ ano}{(1+i_3)^3} + \frac{Valor\ 4^o\ ano}{(1+i_4)^4} \quad (8.1)$$

Tem-se então que:

$$VPL = -163.000 + \frac{48.000}{(1+0,02)^1} + \frac{48.000}{(1+0,02)^2} + \frac{48.000}{(1+0,02)^3} + \frac{48.000}{(1+0,02)^4}$$

$$VPL = -163.000 + 47.058,82 + 46.136,10 + 45231,47 + 44344,58$$

$$\mathbf{VPL = R\$ 19.770,97}$$

Portanto, como o VPL foi maior que zero, o projeto é considerado viável.

7.5 TAXA INTERNA DE RETORNO - TIR.

A TIR tem foco na variável taxa, enquanto o Payback Simples tem na variável tempo e o VPL no valor do fluxo de caixa em uma data base. (RIBEIRO, 2010)

O cálculo da TIR envolve calcular a taxa de juros que tornaria nulo o VPL. A TIR é um número obtido internamente no projeto a partir dos fluxos de caixa esperados.

Fazendo VPL = 0 na Equação 8.1, tem-se:

$$0 = -(Valor\ investimento) + \frac{Valor\ 1^o\ ano}{(1+i)^1} + \frac{Valor\ 2^o\ ano}{(1+i)^2} + \frac{Valor\ 3^o\ ano}{(1+i)^3} + \frac{Valor\ 4^o\ ano}{(1+i)^4}$$

$$Valor\ investimento = \frac{Valor\ 1^o\ ano}{(1+i)^1} + \frac{Valor\ 2^o\ ano}{(1+i)^2} + \frac{Valor\ 3^o\ ano}{(1+i)^3} + \frac{Valor\ 4^o\ ano}{(1+i)^4}$$

$$163.000 = \frac{48.000}{(1+i)^1} + \frac{48.000}{(1+i)^2} + \frac{48.000}{(1+i)^3} + \frac{48.000}{(1+i)^4}$$

Realizados os cálculos no Excel, tem-se $i = \text{TIR} = 7\%$.

A TIR tem que ser maior do que a taxa de remuneração recebida pela aplicação do valor do orçamento do projeto em outra aplicação. Portanto, considerando uma taxa de remuneração de 2%, como a TIR do projeto foi 7%, ele é considerado viável.

8 UTILIZAÇÃO E MANUTENÇÃO

Toda utilização e manutenção do sistema completo de captação e aproveitamento de águas pluviais é regida pelas seguintes normas da ABNT: NBR 15527:2007, NBR 5626:1998 e NBR 10844:1989. Essas normas possuem indicações que devem ser seguidas pelo projetista e também mantenedor do sistema para perfeito funcionamento do mesmo.

8.1 INSTALAÇÃO PREDIAL DE ÁGUA FRIA.

Para o sistema de distribuição tem-se:

- A instalação predial de água fria deve ser inspecionada periodicamente com frequência definida pelo responsável pela manutenção (usuário), muito embora a frequência de inspeção sistemática dependa do tamanho, tipo e complexidade da instalação.
- Procedimentos de manutenção adequados devem ser adotados, com vistas a manter os níveis de desempenho estabelecidos para a instalação quando do seu projeto.
- A adoção de rotinas de manutenção preventiva, sua frequência e custo devem ser considerados através da comparação com o custo da ruína do sistema, incluindo qualquer desdobramento que a parada do sistema possa causar, o que implica uma nova instalação para sua substituição.
- Os serviços de manutenção e reparo devem ser executados por pessoas capacitadas, o que inclui treinamento apropriado e conhecimento das exigências regulamentadas concernentes às instalações prediais de água fria.

Para manutenção geral da instalação predial de água fria:

- A manutenção geral deve observar se o funcionamento da instalação em todas as suas partes está adequado.
- Normalmente ela se constitui em inspeções sistemáticas por toda a instalação que, eventualmente, dão origem a ações específicas de manutenção. A instalação deve ser, em princípio, inspecionada pelo menos uma vez por ano.
- Nas inspeções ou durante os trabalhos de manutenção, deve haver constante e cuidadosa atenção para os casos de desperdício ou uso indevido de água.

Para manutenção de torneiras, registros e válvulas a norma indica o seguinte:

- Qualquer sinal de mau funcionamento em torneira de bóia, como, por exemplo, saída de água pelo aviso ou extravasão, ou em outro tipo de torneira (inclusive misturadores), deve gerar a ação corretiva necessária, tais como: aperto em partes móveis, troca de vedantes ou troca da própria torneira.

8.2 TUBULAÇÕES.

Em relação as tubulações tanto do sistema de captação quanto de distribuição, tem-se o seguinte:

- Para tubulações aparentes, deve-se posicioná-la de forma a minimizar o risco de impactos danosos à sua integridade. O espaçamento entre suportes, ancoragens ou apoios deve ser adequado, de modo a garantir níveis de deformação compatíveis com os materiais empregados.
- Já as tubulações enterradas devem resistir à ação dos esforços solicitantes resultantes de cargas de tráfego, bem como ser protegida contra corrosão e ser instalada de modo a evitar deformações prejudiciais decorrentes de recalques do solo. Se a tubulação contiver registro de fechamento ou utilização, deve ser prevista caixa de proteção e canaleta, ou outra forma conveniente de acesso para manobras na superfície.
- As tubulações e demais componentes devem ser claramente diferenciadas das tubulações de água potável. Pode ser usado cores diferentes ou tarja plástica enrolada no tubo. Os pontos de consumo, como por exemplo uma torneira de jardim, devem ser identificados com placa de advertência com a seguinte inscrição “água não potável” e advertência visual destinada a pessoas que não saibam ler e a crianças.

Para a manutenção de tubulações, deve-se seguir o indicado:

- Qualquer suporte de fixação das tubulações deve estar em bom estado. Os espaços previstos para dilatação ou contração das tubulações devem ser verificados, principalmente quando elas são de material plástico ou de cobre.
- Juntas com vazamento devem ser apertadas (no caso de rosca) ou refeitas. Onde necessário, a tubulação deve ser substituída de modo a eliminar o vazamento.
- Caso a inspeção aponte a possibilidade de existência de corrosão, seja através da observação visual de sinais de corrosão contidos na água, ou através da constatação da diminuição gradativa da vazão, as causas devem ser investigadas e as ações corretivas necessárias devem ser implementadas.

8.3 RESERVATÓRIOS.

Os reservatórios devem ser inspecionados periodicamente, para se assegurar que as tubulações de aviso e de extravasão estão desobstruídas, que as tampas estão posicionadas nos locais corretos e fixadas adequadamente e que não há ocorrência de vazamentos ou sinais de deterioração provocada por vazamentos.

Os reservatórios devem ser limpos e desinfetados com solução de hipoclorito de sódio, no mínimo uma vez por ano, de acordo com à ABNT NBR 5626.

8.4 QUALIDADE DA ÁGUA.

Em relação a qualidade da água, tem-se que:

- Os padrões de qualidade devem ser definidos pelo projetista de acordo com a utilização prevista. Para usos mais restritivos, deve ser utilizada a Tabela 8-1.
- Para desinfecção, pode-se utilizar derivado clorado, raios ultravioleta, ozônio e outros. Em aplicações onde é necessário um residual desinfetante, deve ser usado derivado clorado. Quando utilizado o cloro residual livre, deve estar entre 0,5 mg/L e 3,0 mg/L.

Tabela 8-1. Parâmetros de qualidade da água da chuva para usos restritivos não potáveis. Fonte: Reprodução (ABNT NBR 10844, 1989).

Parâmetro	Análise	Valor
Coliformes totais	Semestral	Ausência em 100 mL
Coliformes termotolerantes	Semestral	Ausência em 100 mL
Cloro residual livre ^a	Mensal	0,5 a 3,0 mg/L
Turbidez	Mensal	< 2,0 uT ^b , para usos menos restritivos < 5,0 uT
Cor aparente (caso não seja utilizado nenhum corante, ou antes da sua utilização)	Mensal	< 15 uH ^c
Deve prever ajuste de pH para proteção das redes de distribuição, caso necessário	mensal	pH de 6,0 a 8,0 no caso de tubulação de aço carbono ou galvanizado
NOTA Podem ser usados outros processos de desinfecção além do cloro, como a aplicação de raio ultravioleta e aplicação de ozônio.		
^a No caso de serem utilizados compostos de cloro para desinfecção.		
^b uT é a unidade de turbidez.		
^c uH é a unidade Hazen.		

8.5 PERIODICIDADE DA MANUTENÇÃO.

Deve-se realizar manutenção em todo o sistema de captação de água de chuva de acordo com a Tabela da NBR 15527.

Tabela 8-2. Tabela de periodicidade da manutenção de acordo com o componente. Fonte: REPRODUÇÃO (ABNT NBR 15527, 2007).

Componente	Frequência de manutenção
Dispositivo de descarte de detritos	Inspeção mensal Limpeza trimestral
Dispositivo de descarte do escoamento inicial	Limpeza mensal
Calhas, condutores verticais e horizontais	Semestral
Dispositivos de desinfecção	Mensal
Bombas	Mensal
Reservatório	Limpeza e desinfecção anual

9 CONCLUSÕES

Neste texto foi realizado o projeto completo de um sistema de captação e aproveitamento de águas pluviais em indústria de alimentos, dando ênfase no estudo de caso do moinho de trigo da Bunge Alimentos em Brasília. Por meio do estudo de caso foi possível analisar a situação atual da indústria. O consumo de água na fábrica é exorbitante, principalmente para fins não potáveis. Com o advento do sistema projetado a **economia de água seria de 27%, algo em torno de 187 mil litros por mês**, gerando uma **economia mensal de aproximadamente R\$ 4.000,00**.

Logo, foi criado um projeto conceitual do sistema para facilitar a visualização como um todo e analisar diversas propostas de melhoria no sistema. Após as melhorias especificadas, foram selecionados trechos para onde essa água seria distribuída de forma a otimizar sua utilização. Com isso, dimensionou-se e selecionou-se todos os componentes de todos os sistemas.

Sendo assim, foi analisada a viabilidade técnica, estratégica e econômico-financeira do projeto.

Verificando a viabilidade técnica, foi possível projetar todos os componentes do sistema de maneira confiável e aceitável. Todo o dimensionamento foi feito através das normas reguladoras da ABNT e embasada teoricamente na metodologia específica para o dimensionamento hidráulico, mecânico e estrutural. Analisou-se também todas as possibilidades de erros e problemas no sistema e encontrou-se soluções viáveis para todos eles. O maior problema encontrado foi o da perda de carga no sistema de distribuição, que foi solucionado com o advento da pressão da bomba que será utilizada no sistema de recalque e solução.

Do ponto de vista da viabilidade estratégica, o projeto é de extrema importância para a indústria. A gestão da Bunge se baseia na política de sustentabilidade, de meio ambiente e de biodiversidade, que direcionam todos os negócios da empresa. A empresa se orgulha de ser uma das mais sustentáveis do Brasil e sempre realiza programas e palestras para que seus colaboradores se conscientizem da importância do desenvolvimento sustentável. Logo, o advento desse sistema e a enorme quantidade de água economizada, seria essencial para o planejamento estratégico da empresa.

E, por fim, a viabilidade econômico-financeira é a que causa o maior impacto na decisão de implantar ou não o projeto. Buscou-se diminuir ao máximo os custos com os componentes. Logo, alguns componentes que já existiam no sistema atual e que estão em conformidade com os critérios exigidos por norma, como as calhas, foram utilizados.

Conforme especificado no capítulo 7, foram avaliadas 3 técnicas de análise de investimento: Payback Simples, VPL e TIR. Na análise de Payback Simples, considerando um cenário conservador, de acordo com o exigido pelas normas, o investimento no sistema teria um período de retorno de 3 anos e 5 meses e, após isso, a indústria teria uma receita mensal de no mínimo R\$ 4.000,00 somente com a economia de água do sistema. Na análise de VPL e TIR, tem-se também cenários extremamente favoráveis a aplicação do projeto. Em todas as análises financeiras executadas, o projeto foi viável, sendo a mais importante a do Payback Simples e a receita mensal após esse período.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT NBR 10844. 1989.** Instalações prediais de águas pluviais. Rio de Janeiro : s.n., 1989.
- ABNT NBR 15527. 2007.** Água de chuva - Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - Requisitos. Rio de Janeiro : s.n., 2007.
- ABNT NBR 5626. 1998.** Instalação predial de água fria. Rio de Janeiro : s.n., 1998.
- ADASA. 2016.** Tarifa de Contigência para Consumo de água poderá ser cobrada no DF. *Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal*. [Online] 28 de Setembro de 2016. [Citado em: 22 de Novembro de 2016.] http://www.adasa.df.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=1671.
- AG SOLVE. 2008.** Vertedouros bem dimensionados garantem segurança em barragens. [Online] 2008. <http://www.agsolve.com.br/dicas-e-solucoes/vertedouros-bem-dimensionados-garantem-seguranca-em-barragens>.
- ANNECCHINI, K. P. V. 2005.** Aproveitamento de água da chuva para fins não potáveis na cidade de Vitória (ES). *Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental)*. Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo : s.n., 2005.
- AZEVEDO NETTO, José Martiniano e FERNANDEZ Y FERNANDEZ, Miguel. 2015.** *Manual de Hidráulica*. s.l. : Edgard Blucher, 2015.
- BRUNETTI, Franco. 2008.** *Mecânica dos Fluidos - 2ª Edição Revisada*. São Paulo : Pearson - Prentice Hall, 2008.
- Bunge Brasil. 2016.** *Bunge Brasil*. [Online] 16 de Abril de 2016. http://www.bunge.com.br/Sustentabilidade/Nossos_Principios.aspx.
- Bunge Brasília. 2010.** Planta civil - Moinho Brasília. Brasília : s.n., 2010.
- Bunge Imprensa. 2016.** *Bunge*. [Online] 13 de Janeiro de 2016. [Citado em: 24 de Maio de 2016.] <http://www.bunge.com.br/Imprensa/Noticia.aspx?id=867>.
- ÇENGEL, Yunus A. e CIMBALA, John M. 2012.** *Mecânica dos Fluidos - Fundamentos e Aplicações*. Porto Alegre : AMGH Editora Ltda, 2012.
- COHIM, GARCIA e KIPERSTOK. 2010.** Captação e aproveitamento de água da chuva: dimensionamento de reservatórios. *IX Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste*. Bahia: UFBA : s.n., 2010.
- DOCA, Thiago. 2014.** Tubulações Industriais. *Notas de Aula de Tubulações Industriais*. Brasília: UnB - Universidade de Brasília : s.n., 2014.
- ECOCASA. 2016.** Kit Filtro VF6. [Online] 2016. [Citado em: 30 de Maio de 2016.] <http://www.ecocasa.com.br/kit-filtro-vf6>.
- FAZFÁCIL. 2016.** Diferenças entre Bombas d'água. *FAZFACIL*. [Online] 2016. [Citado em: 15 de Novembro de 2016.] <http://www.fazfacil.com.br/reforma-construcao/diferencas-entre-bombas-agua/>.
- FAZFORTE. 2016.** Proposta de reservatório elevado. Birigui/SP : s.n., 2016.

FRANÇA FILHO, José Luiz de. 2013. *Manual para análise de tensões de tubulações industriais - Flexibilidade.* Rio de Janeiro : LTC, 2013.

FREITAS, Daniel. 2014. APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA ATRAVÉS DE UM SISTEMA DE COLETA COM COBERTURA VERDE: AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DRENADA E POTENCIAL DE ECONOMIA DE ÁGUA POTÁVEL. *Projeto de Graduação.* Rio de Janeiro: UFRJ Escola Politécnica : s.n., 2014.

GHSI, E. e TRÉS, A. C. R. 2004. Aproveitamento de Águas Pluviais no Setor Residencial. *Programa Computacional.* [Online] 2004. [Citado em: 24 de Maio de 2016.] <http://www.labee.ufsc.br>.

GHSI, EneDir. 2005. Instalações prediais de águas pluviais. *Instalações I.* Florianópolis: UFSC - Departamento de Engenharia Civil : s.n., 2005.

GNADLINGER, J. 2000. Coleta de água de chuva em áreas rurais. *Anais eletrônicos do 2º Fórum Mundial da água, Holanda.* [Online] 2000. [Citado em: 28 de Maio de 2016.] <http://www.irpaa.org/colheita/indexb.htm>.

GNIPPER, Sérgio Frederico. 2012. Transbordamento: antes de aumentas as seções das calhas, amplie a capacidade dos condutores verticais. *Fórum da Construção.* [Online] 2012. [Citado em: 01 de Junho de 2016.] <http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=27&Cod=121>.

GRAÇA, MOACYR E. DA, FREIRE, CYNTHIA e FARINA, HUMBERTO. 1998. A produção de projetos de sistemas prediais: fase conceitual e fase preliminar. *ABEPRO.* USP, 1998.

HELLER, Léo e PÁDUA, Valter Lúcio de. 2006. *Abastecimento de água para consumo humano.* Belo Horizonte : Editora UFMG, 2006.

INMET. 2016. Instituto Nacional de Meteorologia. *Precipitação pluviométrica.* Brasília : s.n., 2016.

KONIG, KLAUS W. 2007. Innovative water concepts- service water utilization in Buildings. *Berlin Senate Department for Urban Development.* [Online] 2007. [Citado em: 30 de Maio de 2016.] <http://www.stadtenwicklung.berlin.de>.

Loja do Mecânico. 2016. Sistema pressurizador centrífugo 1/2 cv. São Paulo/SP : s.n., 2016.

MARINOSKI, A. K. 2007. Aproveitamento de Água Pluvial para Fins não Potáveis em Instituição de Ensino: Estudo de Caso em Florianópolis – SC. *Monografia (Graduação em Engenharia Civil).* Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina : s.n., 2007.

MOODY, Lews Ferry e STANTON, Thomas Edward. 1939. Diagrama Universal de Moody-Stanton. 1939.

NATURALTEC. 2016. Água da chuva - Reuso. [Online] 2016. [Citado em: 30 de Maio de 2016.] <http://www.naturaltec.com.br/Agua-Chuva-Reuso.html>.

PETERS, M. R. 2006. Potencialidade de uso de fontes alternativas de água para fins não potáveis em uma unidade residencial. *Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental).* Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina : s.n., 2006.

PURI AZUL. 2016. Tratamento / Aproveitamento de água da chuva. [Online] 2016. [Citado em: 30 de Maio de 2016.] <http://www.pazul.com.br/produtos.php?idprod=1>.

QUEIROZ, Gilberto. 2010. Vertedouros. *DECIV - EM - UFOP*. [Online] 2010. [Citado em: 01 de Junho de 2016.] http://www.em.ufop.br/deciv/departamento/~gilbertoqueiroz/CIV225-Aula3_Vertedouros.pdf.

RIBEIRO, Wankes L. 2010. Como calcular a viabilidade de um projeto utilizando técnicas de análise de investimento: Payback Simples, VPL e TIR. *Wankes Leandro*. [Online] 4 de Junho de 2010. [Citado em: 18 de Novembro de 2016.] <http://www.wankesleandro.com/2010/06/como-calcular-viabilidade-de-um-projeto.html>.

SABESP. 2010. Manual de gerenciamento de controladores de consumo de água. *Site da SABESP*. [Online] Governo de São Paulo, 2010. [Citado em: 20 de Outubro de 2016.] http://site.sabesp.com.br/uploads/file/asabesp_doctos/Manual%20do%20controlador.pdf.

SANAGIOTTO, Daniela Guzzon. 2008. Características do Escoamento em Vertedouros em Degraus de Declividade 1V:0,75H. *RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos - ISSN 2318-0331*. 2008, Vol. 13, 4.

Shigley, Joseph E. 2005. *Projeto de Engenharia Mecânica*. Porto Alegre : Bookman, 2005.

SILVA, Gilberto Queiroz. 2014. Estudo dos orifícios e bocais - Hidráulica II. Escola de Minas/UFOP : Departamento de Engenharia Civil, 2014.

SMOV. 2015. Contrato de manutenção das bombas d'água do prédio sede da Secretaria Municipal de Obras e Viação (SMOV). Porto Alegre/RS : s.n., 2015.

TELLES, PEDRO C. SILVA. 2001. *Tubulações Industriais - Volume I e II*. Rio de Janeiro : Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. - LTC, 2001.

TELLES, SILVA. 2011. *TABELAS E GRÁFICOS PARA PROJETO DE TUBULAÇÕES*. Rio de Janeiro : Editora Interciência Ltda., 2011.

THOMAS, T. 2001. Escolha de cisternas para captação de água da chuva no sertão. *Anais do 3º Simpósio Brasileiro de captação de água da chuva no semi-árido*. Campina Grande : ABCMAC, 2001.

Tigre S/A. 2016. Orientações para instalações de água fria predial. *Site da Tigre S/A*. [Online] Agosto de 2016. [Citado em: 20 de Outubro de 2016.] <http://www.tigre.com.br/themes/tigre2016/downloads/catalogos-tecnicos/ct-agua-fria.pdf>.

TITOW, W. V. 1984. *PVC Technology*. London : Elsevier Applied Science Publishers, 1984. Vol. 4ª edição.

TOMAZ, Plínio. 2009. Aproveitamento de água da chuva de cobertura em área urbana para fins não potáveis. [Online] 29 de Dezembro de 2009. [Citado em: 28 de Maio de 2016.] http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/livros/livro_conservacao/capitulo8.pdf.

UFCG. 2010. Sistema de abastecimento público de água. *DEC UFCG*. [Online] 2010. [Citado em: 20 de Novembro de 2016.] <http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/A6.html>.

Unesco. 2015. Programa de Avaliação Mundial da Água das Nações Unidas. *Site da Unesco*. [Online] 2015. [Citado em: 24 de Maio de 2016.] http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/images/WWDR2015ExecutiveSummary_POR_web.pdf.

UNICAMP. 2008. Tabela de tubos comerciais padronizados. *Site da Unicamp*. [Online] UNICAMP, 2008. [Citado em: 20 de Outubro de 2016.] <http://www.unicamp.br/fea/ortega/aulas/TabelaTubosFerro.pdf>.

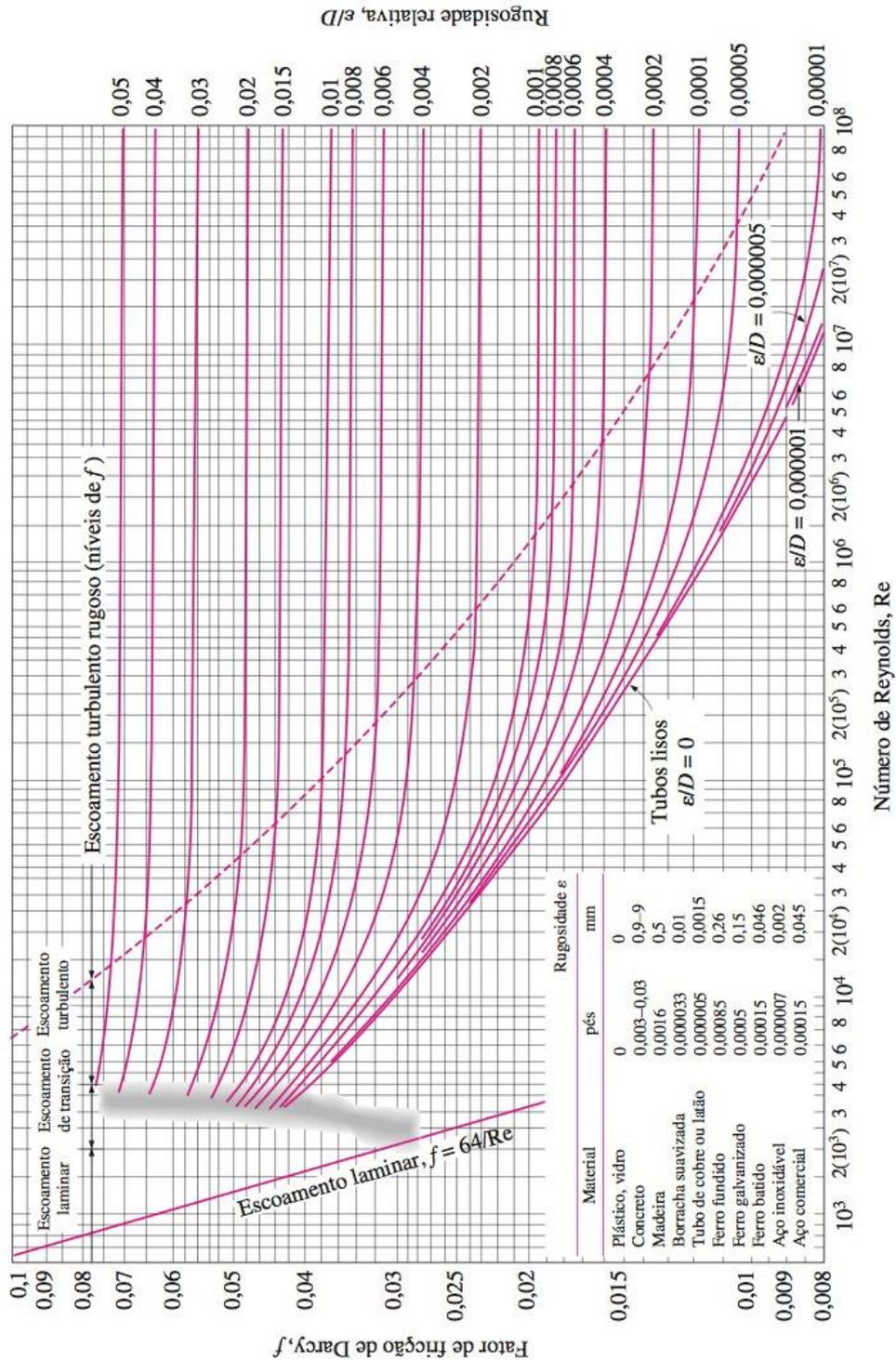
Unifesp. 2016. Dicas para economizar água. [Online] 2016. [Citado em: 24 de Maio de 2016.] http://dgi.unifesp.br/ecounifesp/index.php?option=com_content&view=article&id=12&Itemid=16.

United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division . 2015. World Population Prospects: The 2015 Revision, Key Findings and Advance. [Online] 2015. [Citado em: 24 de Maio de 2016.] http://esa.un.org/unpd/wpp/publications/files/key_findings_wpp_2015.pdf.

ANEXOS

		Pág.
Anexo I	Diagrama de Moody-Rouse. (ÇENGEL, et al., 2012)	24 e 103
Anexo II	Diâmetro nominal x Equivalência em metros de canalização de vários tipos de conexões. Fonte: (Tigre S/A, 2016)	26 e 99
Anexo III	Velocidades econômicas recomendadas. Fonte: (TELLES, 2011).	26
Anexo IV	Ábacos para determinação de diâmetros de condutores verticais. Fonte: Reprodução (ABNT NBR 10844, 1989).	81
Anexo V	Planta da Bunge Alimentos em Brasília/DF.	62

ANEXO I: Diagrama de Stanton, segundo Moody, para determinação do fator de atrito f , em função do número de Reynolds e da rugosidade relativa. (MOODY, et al., 1939)



O diagrama de Moody para o fator de atrito do escoamento completamente desenvolvido em tubos circulares para uso na relação de perda de carga $h_L = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$. Os fatores de atrito do escoamento turbulento são avaliados com a equação de Colebrook $\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left(\frac{\epsilon/D}{3,7} + \frac{2,51}{Re \sqrt{f}} \right)$.

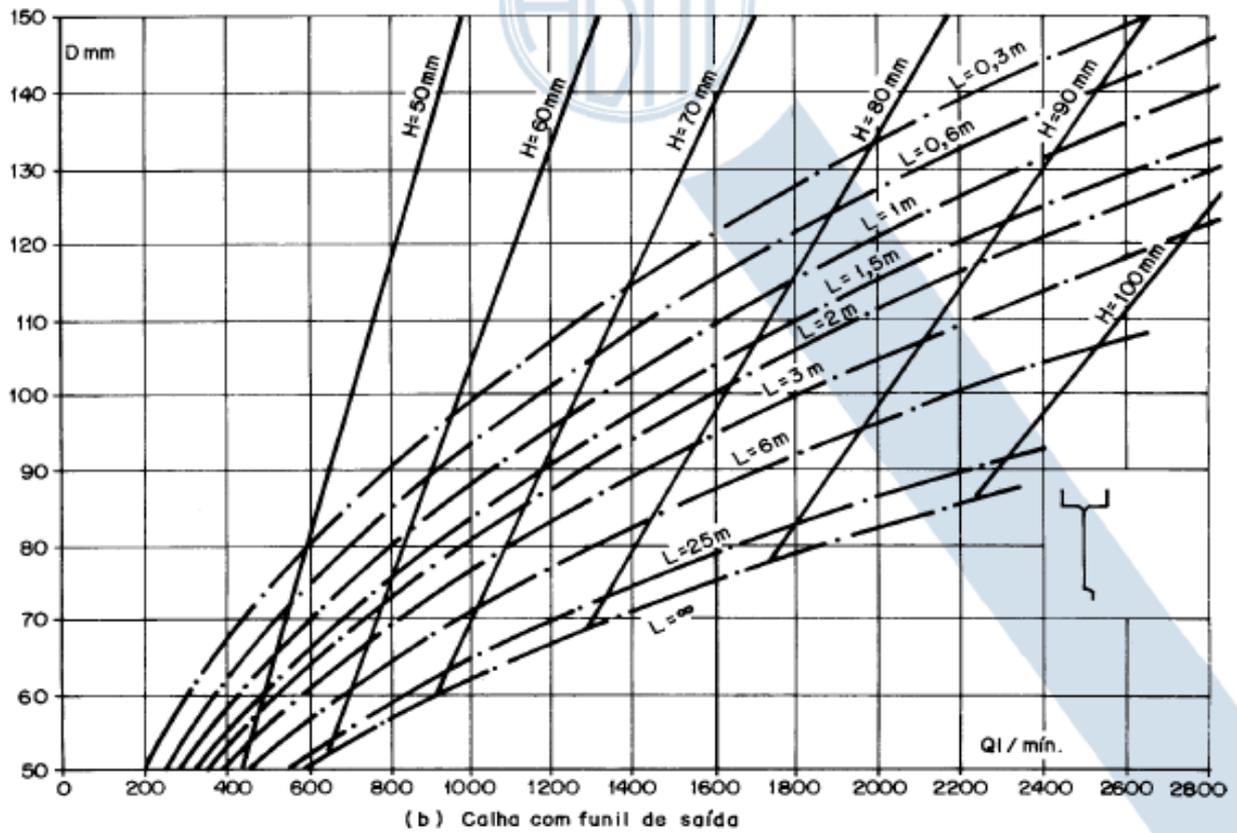
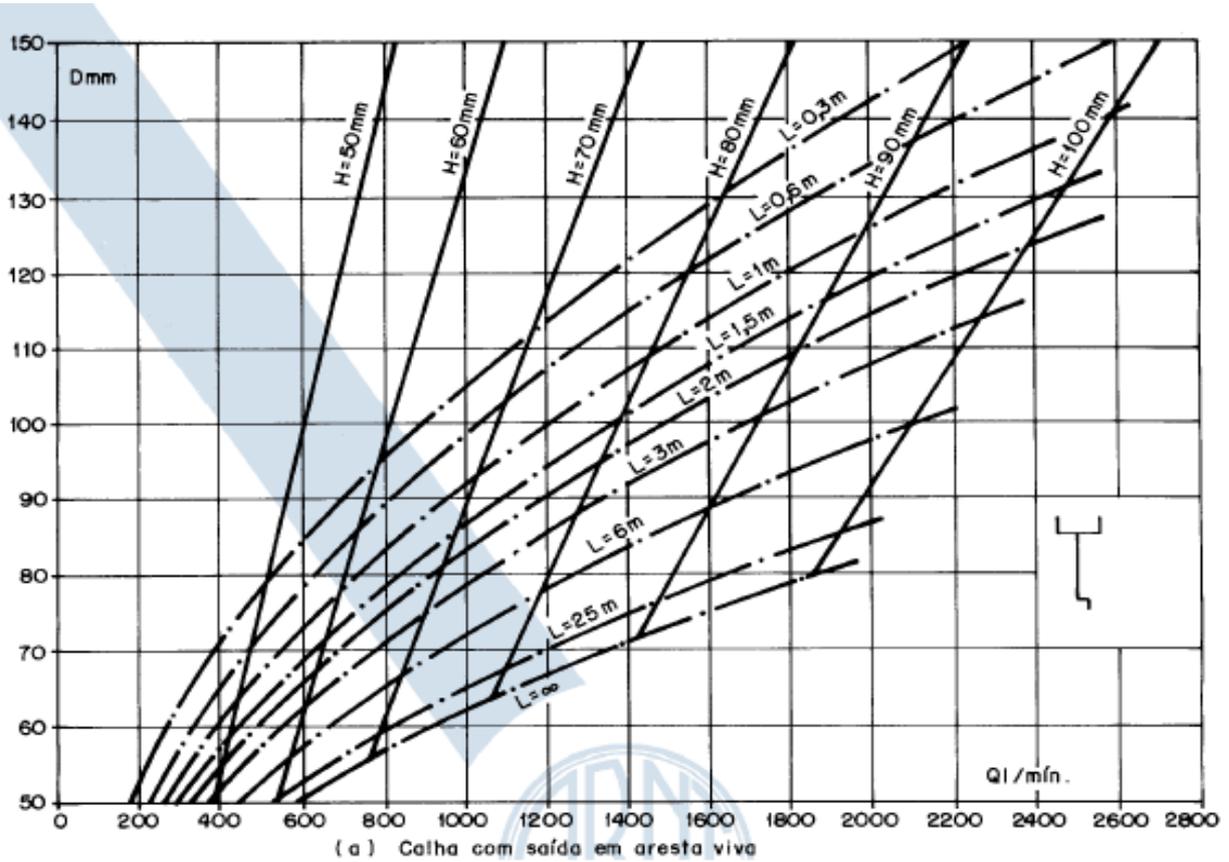
Fonte: (Tigre S/A, 2016)

Perdas de carga localizadas - Sua equivalência em metros de tubulação de PVC rígido

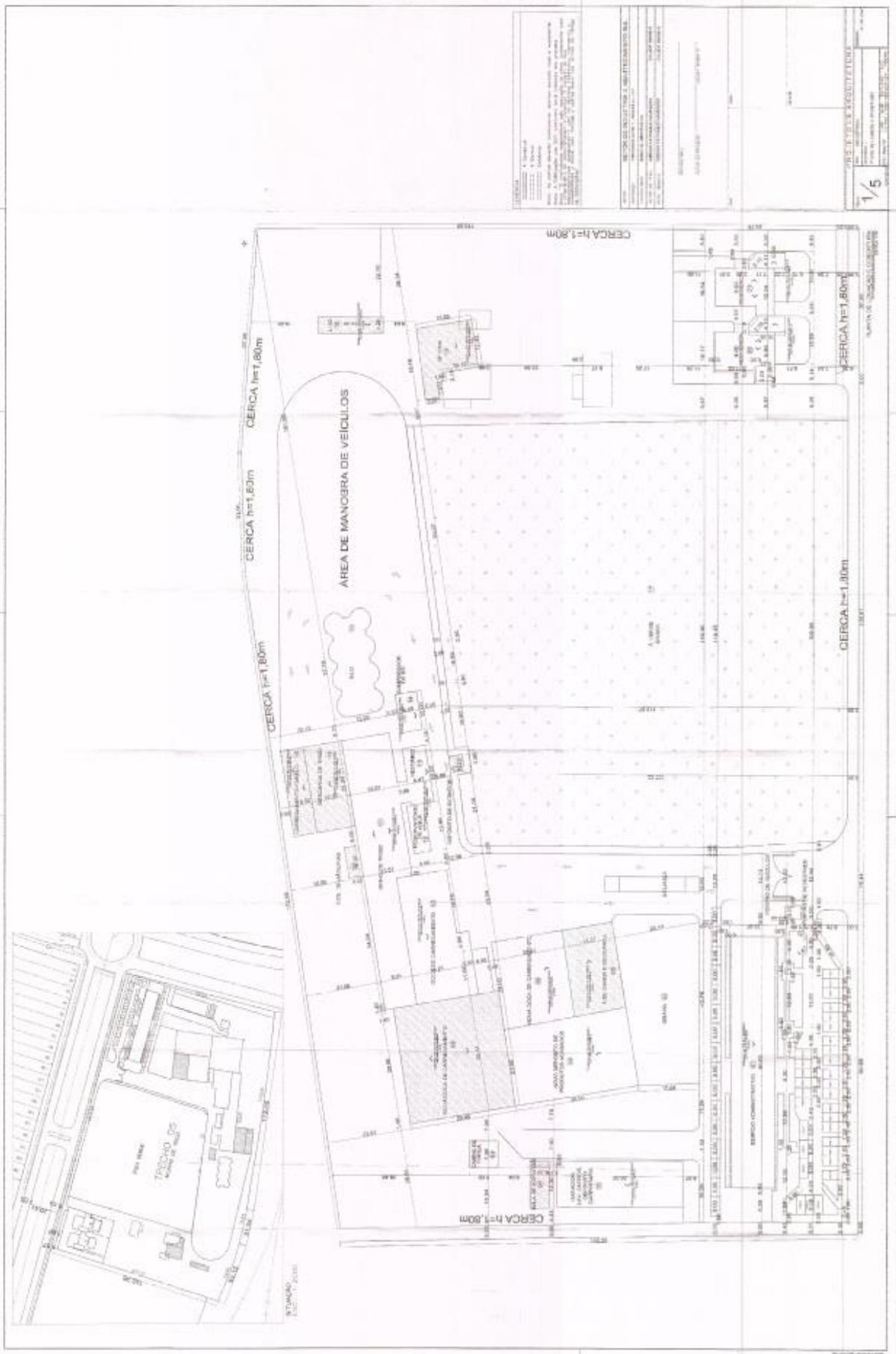
DE (mm)	D. ref. (pol.)	Joelho 90°	Joelho 45°	Curva 90°	Curva 45°	Tê 90° Passagem Direita	Tê 90° Saída de lado	Tê 90° Saída Bilateral	Entrada Normal	Entrada de Borda	Saída de Canalização	Válvula de Pê e Crivo	Válvula de Retenção Tipo Leve	Válvula de Retenção Tipo Pesado	Registro de Globo Aberto	Registro de Gaveta Aberto	Registro de Ângulo Aberto
20	1/2"	1,1	0,4	0,4	0,2	0,7	2,3	2,3	0,3	0,9	0,8	8,1	2,5	3,6	11,1	0,1	5,9
25	3/4"	1,2	0,5	0,5	0,3	0,8	2,4	2,4	0,4	1,0	0,9	9,5	2,7	4,1	11,4	0,2	6,1
32	1"	1,5	0,7	0,6	0,4	0,9	3,1	3,1	0,5	1,2	1,3	13,3	3,8	5,8	15,0	0,3	8,4
40	1 1/4"	2,0	1,0	0,7	0,5	1,5	4,6	4,6	0,6	1,8	1,4	15,5	4,9	7,4	22,0	0,4	10,5
50	1 1/2"	3,2	1,3	1,2	0,6	2,2	7,3	7,3	1,0	2,3	3,2	18,3	6,8	9,1	35,8	0,7	17,0
60	2"	3,4	1,5	1,3	0,7	2,3	7,6	7,6	1,5	2,8	3,3	23,7	7,1	10,8	37,9	0,8	18,5
75	2 1/2"	3,7	1,7	1,4	0,8	2,4	7,8	7,8	1,6	3,3	3,5	25,0	8,2	12,5	38,0	0,9	19,0
85	3"	3,9	1,8	1,5	0,9	2,5	8,0	8,0	2,0	3,7	3,7	26,8	9,3	14,2	40,0	0,9	20,0
110	4"	4,3	1,9	1,6	1,0	2,6	8,3	8,3	2,2	4,0	3,9	28,6	10,4	16,0	42,3	1,0	22,1

Fluido	Material dos Tubos	Velocidade (m/s)
Água doce -redes em cidades -redes em instalações industriais - alimentação de caldeiras - sucção de bombas	Aço-carbono idem idem idem	1 a 2 2 a 3 4 a 8 1 a 1,5
Água salgada idem idem idem idem Amônia (gás) Amônia (líquido)	{ Aço com revestimento Latão Cobre-níquel 90-10 Metal Monel, cobre-níquel 70-30 Aço-carbono Aço-carbono	1,5 a 2,5 1,5 (máximo) 3 (máximo) 4 (máximo) 25 a 35 2
Ar comprimido Ácido sulfúrico idem, concentrado	Aço-carbono Chumbo Aço-carbono	15 a 20 1 a 1,2 1 a 1,2
Acetileno Cloro (líquido) Cloro (gás) Cloreto de cálcio Cloreto de sódio Tetra-cloreto de carbono	Aço-carbono idem idem idem idem idem	20 a 25 1,5 a 2 15 a 20 1,5 1,5 a 2 2
Hidrocarbonetos líquidos em instalações industriais - linhas de sucção - linhas de recalque Hidrocarbonetos gasosos em instalações industriais	Aço (qualquer tipo) Aço (qualquer tipo) Aço (qualquer tipo)	1 a 2 1,5 a 2,5 25 a 30
Hidrogênio Soda cáustica 0 a 30% idem, 30 a 50% idem, 50 a 75%	Aço (qualquer tipo) idem Aço-C ou Metal Monel idem	20 2 1,5 1,2
Vapor - até 2 kg/cm ² (196 Kpa) saturado - 20 a 10 kg/cm ² (196 a 981 Kpa) -mais de 10 kg/cm ² (981 Kpa)	Aço-carbono Aço (qualquer tipo) Aço (qualquer tipo)	20 a 40 40 a 80 60 a 100

Nota: Essas velocidades são valores sugeridos que devem servir apenas como primeira aproximação



ANEXO V: Planta da Bunge Alimentos em Brasília - DF



APÊNDICE

		Pág.
Apêndice I	Dimensionamento dos componentes do sistema de captação.	80
Apêndice II	Dimensionamento dos componentes do sistema de recalque e sucção.	86
Apêndice III	Dimensionamento dos componentes do sistema de distribuição.	93
Apêndice IV	Seleção dos componentes do sistema de captação.	108
Apêndice V	Seleção dos componentes do sistema de recalque e sucção.	109
Apêndice VI	Seleção dos componentes do sistema de distribuição.	111
Apêndice VII	Seleção dos componentes para instalação dos tubos e conexões.	111
Apêndice VIII	Seleção final de todos os componentes.	113

APÊNDICE I: Dimensionamento dos componentes do sistema de captação.

Dimensionamento das calhas do sistema de captação.

<i>Superfície</i>	<i>Calha</i>	<i>Comprimento (L) (m)</i>	<i>Vazão de Projeto (Q) (L/min)</i>	<i>Diâmetro interno (D) (mm)</i>	<i>Declividade (i) (%)</i>	<i>Tipo da calha</i>	<i>Saída da calha</i>
I	1	35	2487	200	2,0	<i>Platibanda</i>	<i>Com funil de saída</i>
II	2	21	1882	200	2,0	<i>Beiral</i>	<i>Com funil de saída</i>
III	3	33	1382	200	2,0	<i>Beiral</i>	<i>Com funil de saída</i>
	4	33	1382	200	2,0	<i>Beiral</i>	<i>Com funil de saída</i>

Dimensionamento dos condutores verticais do sistema de captação.

<i>Superfície</i>	<i>Condutor Vertical</i>	<i>Comp. esperado (m)</i>	<i>Comp. condutor (m)</i>	<i>Vazão de Projeto (Q) (L/min)</i>	<i>Altura da lâmina de água na calha (H) (mm)</i>	<i>Diâmetro interno (D) (mm)</i>	<i>Identificação completa</i>
I	1	5,76	6,00	2487	100	150	<i>150 mm A 101 PVC</i>
II	2	4,60	5,00	1882	100	100	<i>100 mm A 201 PVC</i>
III	3	2,85	3,00	1382	100	90	<i>90 mm A 301 PVC</i>
	4	2,85	3,00	1382	100	90	<i>90 mm A 302 PVC</i>
	5	5,80	6,00	1382	100	90	<i>90 mm A 303 PVC</i>
	6	5,00	5,00	1382	100	90	<i>90 mm A 304 PVC</i>
	7	10,60	10,60	1382	100	80	<i>80 mm A 305 PVC</i>
	8	10,60	10,60	1382	100	80	<i>80 mm A 306 PVC</i>
	9	10,60	10,60	1382	100	80	<i>80 mm A 307 PVC</i>
	10	10,60	10,60	1382	100	80	<i>80 mm A 308 PVC</i>

Dimensionamento dos condutores horizontais do sistema de captação.

<i>Superfície</i>	<i>Condutor Horizontal</i>	<i>Comp. esperado (m)</i>	<i>Comp. condutor (m)</i>	<i>Vazão de Projeto (Q) (L/min)</i>	<i>Declividade (%)</i>	<i>Diâmetro interno (D) (mm)</i>	<i>Identificação completa</i>
I	11	4,50	5,00	2487	1,0	250	250 mm A 102 PVC
	12	4,50	5,00	2487	1,0	250	250 mm A 103 PVC
	13	4,50	5,00	2487	1,0	250	250 mm A 104 PVC
	14	4,50	5,00	2487	1,0	250	250 mm A 105 PVC
	15	4,50	5,00	2487	1,0	250	250 mm A 106 PVC
	16	4,50	5,00	2487	1,0	250	250 mm A 107 PVC
	17	4,50	5,00	2487	1,0	250	250 mm A 108 PVC
II	18	7,00	7,00	1882	1,0	200	200 mm A 202 PVC
	19	7,00	7,00	1882	1,0	200	200 mm A 203 PVC
	20	10,00	10,00	1882	1,0	200	200 mm A 204 PVC
	21	10,00	10,00	1882	1,0	200	200 mm A 205 PVC
III	22	7,70	8,00	1382	1,0	200	200 mm A 309 PVC
	23	7,70	8,00	1382	1,0	200	200mm A 310 PVC
	24	7,70	8,00	1382	1,0	200	200 mm A 311 PVC
	25	4,25	5,00	1382	1,0	200	200 mm A 312 PVC
	26	4,00	4,00	1382	1,0	200	200 mm A 313 PVC
	27	10,00	10,00	1382	1,0	200	200 mm A 314 PVC
	28	10,00	10,00	1382	1,0	200	200 mm A 315 PVC
	29	10,00	10,00	1382	1,0	200	200 mm A 316 PVC
	30	10,00	10,00	1382	1,0	200	200 mm A 317 PVC
	31	10,00	10,00	1382	1,0	200	200 mm A 318 PVC
	32	10,00	10,00	1382	1,0	200	200 mm A 310 PVC

Dimensionamento das conexões do sistema de captação.

<i>Superfície</i>	<i>Número Conexão</i>	<i>Tipo Conexão</i>	<i>Vazão de Projeto (Q) (L/min)</i>	<i>Diâmetro interno (D) (mm)</i>
I	1	Curva 90° Soldável	2487	150
	2	Curva 90° Soldável	2487	150
	3	Curva 90° Soldável	2487	150
	4	Curva 90° Soldável	2487	150
	5	Curva 90° Soldável	2487	150
	6	Curva 90° Soldável	2487	150
	7	Curva 90° Soldável	2487	150
	8	Curva 90° Soldável	2487	150
	9	Tê soldável Fechado	2487	150x250
	10	Tê soldável	2487	150x250
	11	Tê soldável	2487	150x250
	12	Tê soldável	2487	150x250
	13	Tê soldável	2487	150x250
	14	Tê soldável	2487	150x250
	15	Tê soldável	2487	150x250
	16	Tê soldável	2487	150x250
	17	Redução excêntrica	2487	250x250
	18	Curva 90° Soldável	2487	150
	19	Cruzeta	2487	150
II	20	Curva 90° Soldável	1882	100
	21	Redução excêntrica	1882	200x100
	22	Luva Soldável	1882	200
	23	Curva 90° Soldável	1882	200
	24	Luva Soldável	1882	200
	25	Luva Soldável	1882	200
III	26	Tê soldável Fechado	1382	80x200
	27	Tê soldável	1382	80x200
	28	Tê soldável	1382	80x200
	29	Tê soldável	1382	80x200
	30	Curva 90° Soldável	1382	200
	31	Luva Soldável	1382	200
	32	Luva Soldável	1382	200
	33	Luva Soldável	1382	200
	34	Luva Soldável	1382	200
	35	Luva Soldável	1382	200
	36	Luva Soldável	1382	200

APÊNDICE II: Dimensionamento dos componentes do sistema de recalque e sucção.

Tubos dos sistemas de recalque e sucção.

<i>Sistema</i>	<i>Nº do tubo</i>	<i>Diâmetro nominal (pol)</i>	<i>Comprimento esperado do tubo (m)</i>	<i>Comprimento máximo do tubo (m)</i>	<i>Comprimento total percurso (m)</i>
Recalque	1	3/4"	0,400	3,00	15,66
	2		0,500	3,00	
	3		3,000	3,00	
	4		3,000	3,00	
	5		3,000	3,00	
	6		3,000	3,00	
	7		2,760	3,00	
Sucção	8	3/4"	3,000	3,00	7,52
	9		2,220	3,00	
	10		2,300	3,00	

Conexões do sistema de recalque e sucção.

<i>Percurso</i>	<i>Nº conexão</i>	<i>Tipo da conexão</i>	<i>Diâmetro nominal (pol)</i>	<i>Comprimento equivalente (m)</i>	<i>Comprimento equivalente total (m)</i>
Recalque	1	Curva 90° soldável	3/4"	0,400	1,20
	2	Curva 90° soldável		0,400	
	3	Luva soldável		0,000	
	4	Luva soldável		0,000	
	5	Luva soldável		0,000	
	6	Luva soldável		0,000	
	7	Curva 90° soldável		0,400	
Sucção	8	Curva 90° soldável	3/4"	0,400	1,20
	9	Curva 90° soldável		0,400	
	10	Curva 90° soldável		0,400	

APÊNDICE III: Dimensionamento dos componentes do sistema de distribuição.

Dimensionamento e quantidade de tubos utilizados em cada percurso.

<i>Percurso</i>	<i>Percurso total (m)</i>	<i>Nº do tubo</i>	<i>Diâmetro nominal (mm)</i>	<i>Comp. esperado do tubo (m)</i>
I	27,70	1	110,00	0,500
		2		6,000
		3		6,000
		4		6,000
		5		6,000
		6		1,600
		7		1,600
II	90,02	8	110,00	3,000
		9		0,640
		10		6,000
		11		6,000
		12		6,000
		13		2,180
		14		6,000
		15		6,000
		16		1,950
		17		4,600
		18		6,000
		19		6,000
		20		6,000
		21		2,800
III	107,21	22	110,00	6,000
		23		6,000
		24		6,000
		25		5,150
		26		3,700
		27		5,570
		28		3,930
		29		6,000
		30		6,000
		31		4,850
		32		6,000
		33		6,000
		34		6,000
		35		6,000
		36		1,730
		37		6,000
38	6,000			
39	5,680			
40	4,600			
41	6,000			
42	6,000			
43	6,000			
44	6,000			
45	1,850			
46	6,000			
47	1,000			
TOTAL	224,930			

Dimensionamento das conexões utilizadas nos 3 percursos.

Percurso	Nº conexão	Tipo da conexão	Dimensão (mm)
I	1	Adaptador soldável flanges livres p/ caixa d'água	60x2"
	2	Bucha de redução soldável longa	60x110
	3	Curva 90º Soldável	110
	4	Curva 90º Soldável	110
	5	Luva Soldável	110
	6	Luva Soldável	110
	7	Luva Soldável	110
	8	Luva Soldável	110
	9	Curva 90º Soldável	110
	10	Válvula Esfera	110
II	11	Adaptador soldável flanges livres p/ caixa d'água	60x2"
	12	Bucha de redução soldável longa	60x110
	13	Curva 90º Soldável	110
	14	Curva 90º Soldável	110
	15	Curva 90º Soldável	110
	16	Luva Soldável	110
	17	Luva Soldável	110
	18	Luva Soldável	110
	19	Curva 90º Soldável	110
	20	Luva Soldável	110
	21	Luva Soldável	110
	22	Curva 90º Soldável	110
	23	Curva 90º Soldável	110
	24	Luva Soldável	110
	25	Luva Soldável	110
	26	Luva Soldável	110
	27	Curva 90º Soldável	110
	28	Luva Soldável	110
	29	Luva Soldável	110
	30	Luva Soldável	110
	31	Tê soldável	110x110
	32	Válvula Esfera	110
III	33	Curva 90º Soldável	110
	34	Curva 90º Soldável	110
	35	Luva Soldável	110
	36	Luva Soldável	110
	37	Curva 90º Soldável	110
	38	Luva Soldável	110
	39	Luva Soldável	110
	40	Luva Soldável	110
	41	Luva Soldável	110
	42	Curva 90º Soldável	110
	43	Luva Soldável	110
	44	Luva Soldável	110
	45	Curva 90º Soldável	110
	46	Curva 90º Soldável	110
	47	Luva Soldável	110
	49	Luva Soldável	110
	51	Curva 90º Soldável	110
	52	Curva 90º Soldável	110
	53	Válvula Esfera	110

APÊNDICE IV: Seleção dos componentes do sistema de captação.

Seleção do sistema de calhas.

<i>Superfície</i>	<i>Componente</i>	<i>Diâmetro (mm)</i>	<i>Comp. total (L) (m)</i>	<i>Fabricante/ Código</i>	<i>Comp. comercial (m)</i>	<i>Qtd.</i>	<i>Valor unit. (R\$)</i>	<i>Valor total (R\$)</i>
<i>I</i>	<i>Calha</i>	200	32,50	<i>Tigre/ 13030111</i>	2,50	13	248,90	3.235,70
	<i>Bocal p/ calha saída lateral</i>	150	1,92	<i>Tigre/ 32031048</i>	0,24	8	31,90	255,20
	<i>Emenda para calha</i>	-	-	<i>Tigre/ 32030890</i>	-	20	19,90	398,00
	<i>Cabeceira para calha</i>	-	-	<i>Tigre/ 32030459</i>	-	2	29,90	59,80
<i>II</i>	<i>Calha</i>	200	20,00	<i>Tigre/ 13030111</i>	2,50	8	248,9	1991,20
	<i>Bocal p/ calha saída inferior</i>	100	0,24	<i>Tigre/ 32031056</i>	0,24	1	31,90	31,90
	<i>Emenda para calha</i>	-	-	<i>Tigre/ 32030890</i>	-	8	19,90	159,20
	<i>Cabeceira para calha</i>	-	-	<i>Tigre/ 32030459</i>	-	2	29,90	119,80
<i>III</i>	<i>Calha</i>	200	65,00	<i>Tigre/ 13030111</i>	2,50	26	248,90	6.471,40
	<i>Bocal p/ calha saída inferior</i>	100	1,92	<i>Tigre/ 32031056</i>	0,24	8	31,90	255,20
	<i>Emenda para calha</i>	-	-	<i>Tigre/ 32030890</i>	-	32	19,90	636,80
	<i>Cabeceira para calha</i>	-	-	<i>Tigre/ 32030459</i>	-	4	29,90	119,60

Seleção dos componentes de proteção das telas.

<i>Superfície</i>	<i>Componente</i>	<i>Diâmetro (mm)</i>	<i>Fabricante/ Código</i>	<i>Qtd.</i>	<i>Valor unit. (R\$)</i>	<i>Valor total (R\$)</i>	<i>Fornecedor</i>
<i>I</i>	<i>Grelha flexível</i>	150	<i>Tigre/ 32196152</i>	1	11,69	11,69	<i>Leroy Merlin</i>
	<i>Porta grelha redondo</i>	150	<i>Tigre/ 27621163</i>	1	4,90	4,90	<i>Casa & Construção</i>
<i>II</i>	<i>Grelha flexível</i>	100	<i>Tigre/ 32196152</i>	1	11,69	11,69	<i>Leroy Merlin</i>
	<i>Porta grelha redondo</i>	100	<i>Tigre/ 27621007</i>	1	3,90	3,90	<i>Casa & Construção</i>
<i>III</i>	<i>Grelha flexível</i>	100	<i>Tigre/ 32196152</i>	8	11,69	93,52	<i>Leroy Merlin</i>
	<i>Porta grelha redondo</i>	100	<i>Tigre/ 27621007</i>	8	3,90	31,20	<i>Casa & Construção</i>

Seleção dos condutores verticais do sistema de captação.

<i>Superfície</i>	<i>Componente</i>	<i>Diâmetro (mm)</i>	<i>Comp. total (L) (m)</i>	<i>Fabricante/ Código</i>	<i>Comp. comercial (m)</i>	<i>Qtd.</i>	<i>Valor unit. (R\$)</i>	<i>Valor total (R\$)</i>
<i>I</i>	<i>Tubo série normal 6 m</i>	150	5,80	<i>Tigre/ 11031501</i>	6,00	1	180,90	180,90
	<i>Abraçadeira circular</i>	150	-	<i>Tigre/ 32048803</i>	-	2	9,39	18,78
<i>II</i>	<i>Tubo série normal 6 m</i>	100	4,60	<i>Tigre/ 11031030</i>	6,00	1	47,90	47,90
	<i>Abraçadeira circular</i>	100	-	<i>Tigre/ 32048854</i>	-	2	7,39	14,78
<i>III</i>	<i>Tubo série normal 3 m</i>	100*	2,85	<i>Tigre/ 13030105</i>	3,00	2	24,90	49,80
	<i>Tubo normal série 6 m</i>	100*	53,20	<i>Tigre/ 11031030</i>	6,00	10	47,90	479,00
	<i>Abraçadeira circular</i>	100	-	<i>Tigre/ 32048854</i>	-	22	7,39	162,58

* Os diâmetros dimensionados foram de 90 e 80 mm, porém para diâmetros comerciais foram escolhidos tubos de 100 mm. Tal escolha não influencia no dimensionamento final.

Seleção dos condutores horizontais do sistema de captação.

<i>Superfície</i>	<i>Componente</i>	<i>Diâmetro (mm)</i>	<i>Comp. total (L) (m)</i>	<i>Fabricante/ Código</i>	<i>Comp. comercial (m)</i>	<i>Qtd.</i>	<i>Valor unit. (R\$)</i>	<i>Valor total (R\$)</i>
<i>I</i>	<i>Tubo série normal 6 m</i>	200*	35,00	<i>Tigre/ 11032036</i>	6,00	7	273,93	1.917,51
	<i>Abraçadeira circular</i>	200	-	<i>Tigre/ 32048855</i>	-	14	10,39	145,46
<i>II</i>	<i>Tubo série normal 6 m</i>	200	34,00	<i>Tigre/ 11032036</i>	6,00	6	273,93	1643,58
	<i>Abraçadeira circular</i>	200	-	<i>Tigre/ 32048855</i>	-	12	10,39	124,68
<i>III</i>	<i>Tubo série normal 6 m</i>	200	92,00	<i>Tigre/ 11032036</i>	6,00	16	273,93	4.382,88
	<i>Abraçadeira circular</i>	200	-	<i>Tigre/ 32048855</i>	-	32	10,39	332,48

* O condutor foi originalmente dimensionado com 250 mm, porém de acordo com a estrutura que será utilizada, será necessário um tê de 250x150, que não é encontrado comercialmente. Dessa forma, selecionaram tubos de 200 mm para o percurso, sem prejudicar o dimensionamento do sistema.

Seleção das conexões do sistema de captação.

<i>Superfície</i>	<i>Componente</i>	<i>Diâmetro (mm)</i>	<i>Fabricante/ Código</i>	<i>Qtd.</i>	<i>Valor unit. (R\$)</i>	<i>Valor total (R\$)</i>	<i>Fornecedor</i>
<i>I</i>	<i>Curva 90° longa</i>	<i>150</i>	<i>Tigre/ 26121507</i>	<i>8</i>	<i>83,05</i>	<i>664,40</i>	<i>Matsuda</i>
	<i>Tê</i>	<i>200x200*</i>	<i>Tigre/ 26367530</i>	<i>8</i>	<i>143,90</i>	<i>1151,20</i>	<i>Amoedo</i>
	<i>Redução excêntrica</i>	<i>150x200**</i>	<i>Tigre/ 26357527</i>	<i>9</i>	<i>52,25</i>	<i>470,25</i>	<i>Matsuda</i>
	<i>Cruzeta</i>	<i>150</i>	<i>PBA</i>	<i>1</i>	<i>59,90</i>	<i>59,90</i>	<i>Hidrau Conex Loja</i>
<i>II</i>	<i>Curva 90° curta</i>	<i>100</i>	<i>Tigre/ 26111005</i>	<i>1</i>	<i>18,19</i>	<i>18,19</i>	<i>Leroy Merlin</i>
	<i>Curva 90° longa</i>	<i>200</i>	<i>Tigre/ 26111048</i>	<i>1</i>	<i>259,90</i>	<i>259,90</i>	<i>Leroy Merlin</i>
	<i>Luva de correr</i>	<i>200</i>	<i>Tigre/ 26322006</i>	<i>3</i>	<i>52,25</i>	<i>156,75</i>	<i>Matsuda</i>
	<i>Redução excêntrica</i>	<i>100x150**</i>	<i>Tigre/ 29587647</i>	<i>1</i>	<i>22,90</i>	<i>22,90</i>	<i>Leroy Merlin</i>
	<i>Redução excêntrica</i>	<i>150x200**</i>	<i>Tigre/ 26357527</i>	<i>1</i>	<i>52,25</i>	<i>52,25</i>	<i>Matsuda</i>
<i>III</i>	<i>Curva 90° longa</i>	<i>200</i>	<i>Tigre/ 26111048</i>	<i>1</i>	<i>259,90</i>	<i>259,90</i>	<i>Cassol</i>
	<i>Tê</i>	<i>200x200*</i>	<i>Tigre/ 26367484</i>	<i>4</i>	<i>143,90</i>	<i>575,60</i>	<i>Amoedo</i>
	<i>Redução excêntrica</i>	<i>100x150**</i>	<i>Tigre/ 29587647</i>	<i>4</i>	<i>22,90</i>	<i>91,60</i>	<i>Leroy Merlin</i>
	<i>Redução excêntrica</i>	<i>150x200**</i>	<i>Tigre/ 26357527</i>	<i>4</i>	<i>52,25</i>	<i>209,00</i>	<i>Matsuda</i>
	<i>Luva de correr</i>	<i>200</i>	<i>Tigre/ 26322006</i>	<i>6</i>	<i>52,25</i>	<i>313,50</i>	<i>Matsuda</i>

* O tê foi originalmente dimensionado com 150x250 mm, porém tal dimensão não está disponível comercialmente, selecionou-se então um tê de 200x200.

** Com a mudança no tê, fez-se necessário a utilização reduções excêntricas para fazer a ligação curva 90° longa na superfície um com cada tê correspondente.

APÊNDICE V: Seleção dos componentes do sistema de recalque e sucção.

Seleção dos tubos do sistema de recalque e sucção.

<i>Sistema</i>	<i>Componente</i>	<i>Diâmetro (mm)</i>	<i>Comp. total (L) (m)</i>	<i>Fabricante/ Código</i>	<i>Comp. comercial (m)</i>	<i>Qtd.</i>	<i>Valor unit. (R\$)</i>	<i>Valor total (R\$)</i>
<i>Recalque</i>	<i>Tubo PVC Soldável 6 m</i>	3/4"	15,66	<i>Tigre/ 10120250</i>	6,00	3	15,90	47,70
	<i>Abraçadeira circular</i>	3/4"	-	<i>Tigre/ 32048855</i>	-	6	3,39	20,34
<i>Sucção</i>	<i>Tubo série normal 6 m</i>	3/4"	7,52	<i>Tigre/ 11032036</i>	6,00	2	15,90	31,80

Seleção das conexões do sistema de recalque e sucção.

<i>Sistema</i>	<i>Componente</i>	<i>Diâmetro (mm)</i>	<i>Fabricante/ Código</i>	<i>Qtd.</i>	<i>Valor unit. (R\$)</i>	<i>Valor total (R\$)</i>	<i>Fornecedor</i>
<i>Recalque</i>	<i>Curva 90° soldável</i>	3/4"	<i>Tigre/ 22120263</i>	3	3,99	11,97	<i>Leroy Merlin</i>
	<i>Luva de correr</i>	3/4"	<i>Tigre/ 22170260</i>	4	0,92	3,68	<i>Leroy Merlin</i>
<i>Sucção</i>	<i>Curva curta 90°</i>	3/4"	<i>Tigre/ 22120263</i>	3	3,99	11,97	<i>Leroy Merlin</i>

APÊNDICE VI: Seleção dos componentes do sistema de distribuição.

Seleção dos tubos e componentes do sistema de distribuição.

Percurso	Componente	Diâmetro (mm)	Comp. Total (m)	Fabricante/ Código	Comp. Comercial (m)	Qtd.	Valor Unit. (R\$)	Valor total (R\$)	Fornecedor
I	Tubo soldável 6 m	110	30,00	Tigre/ 10121035	6,00	5	330,45	1.652,25	Loja Merc
II	Tubo soldável 6 m	110	96,00	Tigre/ 10121035	6,00	16	330,45	5.287,20	Loja Merc
	Abraçadeira	110	-	Tigre/ 22051253	-	40	5,49	219,60	Leroy Merlin
III	Tubo soldável 6 m	110	114,00	Tigre/ 10121035	6,00	19	330,45	6.278,55	Loja Merc
	Abraçadeira	110	-	Tigre/ 22051253	-	45	5,49	247,05	Leroy Merlin

Seleção das conexões do sistema de distribuição.

Componente	Diâmetro (mm)	Fabricante/ Código	Qtd.	Valor Unit. (R\$)	Valor total (R\$)	Fornecedor
Adaptador para caixa d'água	60x2"	Tigre/ 22028022	2	40,77	81,54	Irmãos Abage
Bucha de redução soldável longa	110x60	Tigre/ 22077520	2	26,80	53,60	Matsuda
Curva 90° soldável	110	Tigre/ 22121030	18	94,50	1.701,00	Matsuda
Luva soldável	110	Tigre/ 22171038	27	54,50	1.471,50	Matsuda
Tê soldável	110x110	Tigre/ 22201034	1	106,93	106,93	Loja Merc
Válvula Esfera	4"	Docol/ 30304006	3	1.137,56	3.412,68	Madeira Madeira

APÊNDICE VII: Seleção dos componentes para instalação dos tubos e conexões.

Seleção dos componentes para instalação dos tubos.

Componente	Diâmetro (mm)	Fabricante/ Código	Qtd.	Valor Unit. (R\$)	Valor total (R\$)	Fornecedor
<i>Solução preparadora 1L</i>	-	<i>Tigre/ 54010001</i>	-	<i>34,97</i>	-	<i>Loja Merc</i>
<i>Fita Veda Rosca</i>	<i>18x50</i>	<i>Tigre/ 54501951</i>	-	<i>10,84</i>	-	<i>Loja Merc</i>
<i>Adesivo plástico para PVC Incolor 850 g</i>	-	<i>Tigre/ 53020178</i>	-	<i>46,90</i>	-	<i>Casa & Construção</i>

APÊNDICE VIII: Seleção final de todos os componentes.

Seleção de todos os componentes que deverão ser comprados para o sistema completo.

Sistema	Componente	Diâmetro (mm)	Fabricante/ Código	Qtd.	Valor Unit. (R\$)	Valor total (R\$)	Fornecedor
Reservatório	Reservatório completo	-	FAZFORTE / TBL 15002	1	76.945,40	76.945,40	FAZFORTE
Sistema de captação	Grelha flexível	150	Tigre/ 32196152	1	11,69	11,69	Leroy Merlin
	Grelha flexível	100	Tigre/ 32196152	9	11,69	105,21	Leroy Merlin
	Porta grelha redondo	100	Tigre/ 27621007	9	3,90	35,10	Casa & Construção
	Porta grelha redondo	150	Tigre/ 27621163	1	4,90	4,90	Casa & Construção
	Tubo série normal 6 m	150	Tigre/ 11031501	1	180,90	180,90	Leroy Merlin
	Tubo série normal 6 m	100	Tigre/ 11031030	11	47,90	526,90	Leroy Merlin
	Tubo série normal 3 m	100	Tigre/ 13030105	2	24,90	49,80	Leroy Merlin
	Abraçadeira circular	150	Tigre/ 32048803	2	9,39	18,78	Leroy Merlin
	Abraçadeira circular	100	Tigre/ 32048854	24	7,39	177,36	Leroy Merlin
	Tubo série normal 6 m	200	Tigre/ 11032036	29	273,93	7.943,97	Loja Merc
	Abraçadeira circular	200	Tigre/ 32048855	58	10,39	602,62	Leroy Merlin
	Curva 90° longa	150	Tigre/ 26121507	8	83,05	664,40	Matsuda
	Tê	200x200	Tigre/ 26367530	12	143,90	1.726,80	Amoedo
	Redução excêntrica	150x200	Tigre/ 26357527	14	52,25	731,50	Matsuda
	Cruzeta	150	PBA	1	59,90	59,90	Hidrau Conex Loja
	Curva 90° curta	100	Tigre/ 26111005	1	18,19	18,19	Leroy Merlin
	Curva 90° longa	200	Tigre/ 26111048	2	259,90	519,80	Leroy Merlin
	Luva de correr	200	Tigre/ 26322006	9	52,25	470,25	Matsuda
Redução excêntrica	100x150	Tigre/ 29587647	5	22,90	114,50	Leroy Merlin	
Sistema de recalque e sucção	Tubo PVC Soldável 6 m	3/4"	Tigre/ 10120250	5	15,90	79,50	Copafer
	Abraçadeira circular	3/4"	Tigre/ 32048855	6	3,39	20,34	Leroy Merlin
	Curva 90° Soldável	3/4"	Tigre/ 22120263	6	3,99	23,94	Leroy Merlin
	Luva de correr	3/4"	Tigre/ 22170260	4	0,92	3,68	Leroy Merlin

	<i>Moto-bomba com pressurizador centrífugo 0,5 cv</i>	-	<i>Ferrari-Acquapress-22</i>	1	1.054,35	1.054,35	<i>Loja do Mecânico</i>
<i>Sistema de distribuição</i>	<i>Tubo soldável 6 m</i>	110	<i>Tigre/10121035</i>	40	330,45	13.218,00	<i>Loja Merc</i>
	<i>Abraçadeira</i>	110	<i>Tigre/22051253</i>	85	5,49	466,65	<i>Leroy Merlin</i>
	<i>Adaptador para caixa d'água</i>	60x2"	<i>Tigre/22028022</i>	2	40,77	81,54	<i>Irmãos Abage</i>
	<i>Bucha redução soldável longa</i>	110x60	<i>Tigre/22077520</i>	2	26,80	53,60	<i>Matsuda</i>
	<i>Curva 90° soldável</i>	110	<i>Tigre/22121030</i>	18	94,50	1.701,00	<i>Matsuda</i>
	<i>Luva soldável</i>	110	<i>Tigre/22171038</i>	27	54,50	1.471,50	<i>Matsuda</i>
	<i>Tê soldável</i>	110x110	<i>Tigre/22201034</i>	1	106,93	106,93	<i>Loja Merc</i>
	<i>Válvula Esfera</i>	4"	<i>Docol/30304006</i>	3	1.137,56	3.412,68	<i>Madeira Madeira</i>
<i>Sistema de filtragem</i>	<i>Kit Filtro VF12</i>	-	<i>Ecocasa/VF12</i>	1	5.000,00	5.000,00	<i>Ecocasa</i>
	<i>Caixa de areia</i>	100	<i>Tigre/27801145</i>	6	140,90	845,40	<i>Leroy Merlin</i>