

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

Camila Alves Ribas

**DIMENSIONAMENTO E ESTUDO DE VIABILIDADE DE UM
SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL PARA
FINS NÃO POTÁVEIS EM UMA ESCOLA ESTADUAL**

Florianópolis - SC
2019

Camila Alves Ribas

**DIMENSIONAMENTO E ESTUDO DE VIABILIDADE DE UM
SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL PARA
FINS NÃO POTÁVEIS EM UMA ESCOLA ESTADUAL**

Trabalho de conclusão de curso submetido à
Universidade Federal de Santa Catarina como
parte dos requisitos para obtenção do título de
Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Dr. Luis Alberto Gómez

Florianópolis – SC

2019

Ficha de identificação da obra

Ribas, Camila Alves

Dimensionamento e estudo de viabilidade de um sistema de aproveitamento de água pluvial para fins não potáveis em uma escola estadual / Camila Alves Ribas ; orientador, Luiz Alberto Gómez, 2019.

142 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2019.

Inclui referências.

1. Engenharia Civil. 2. Aproveitamento pluvial. 3. Usos finais da água. 4. NBR 15527. I. Gómez, Luiz Alberto. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

Camila Alves Ribas

AGRADECIMENTOS

Ao meu pai (em memória) por esta vida e aprendida contigo ao longo de toda minha formação e desenvolvimento como ser humano e à minha mãe por sempre dar os melhores exemplos e por ser minha referência de força, resiliência e serenidade em frente a qualquer situação imposta, minha eterna gratidão.

DIMENSIONAMENTO E ESTUDO DE VIABILIDADE DE UM SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL PARA FINS NÃO POTÁVEIS EM UMA ESCOLA ESTADUAL

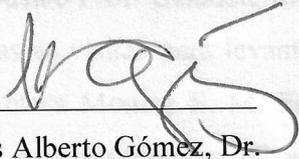
Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Civil

Florianópolis, 01 de julho de 2019.

Prof^a Luciana Rohde, Dr^a.

Coordenadora do Curso

Banca Examinadora:



Prof. Luis Alberto Gómez, Dr.

Orientador

Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Ricardo Juan José Oviedo Haito, Dr.

Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Humberto Ramos Roman, Dr.

Universidade Federal de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

Ao meu pai (em memória), por todo o zelo e cuidado comigo ao longo de toda a minha formação e desenvolvimento como ser humano e à minha mãe, por sempre dar os melhores exemplos e por ser a minha referência de força, resiliência e serenidade em frente a qualquer situação imposta, minha eterna gratidão.

Ao Prof. Luis Alberto Gómez, pelo tempo e atenção dispendidos na orientação deste trabalho e pelo conhecimento transmitido. Aos membros da banca examinadora, Prof. Ricardo Juan José Oviedo Haito e Prof. Humberto Ramos Roman, pela atenção e contribuição dedicadas a este estudo, meu muito obrigada.

A todo o Departamento de Engenharia Civil desta Universidade, em especial aos professores que fizeram parte de minha graduação, por compartilhar comigo e com meus colegas seu tempo e seu conhecimento. A todos os colegas de curso - e futuros colegas de profissão - que caminharam ao meu lado em algum momento da graduação, por tornar tudo menos difícil e mais divertido, meu muito obrigada.

A toda a equipe da Escola de Ensino Básico Prof^a. Claudete Maria Hoffmann Domingos, por me receber extremamente bem em todas as visitas para levantamento dos dados necessários para a execução deste trabalho. À Diretora Monice E. M. Prudêncio, pela cordialidade no esclarecimento de eventuais dúvidas. Aos professores Nivaldo, Gisely, Juliana, Luhara, Angela, Sirlene, Marcos e Camila, pela contribuição e auxílio na aplicação dos questionários aos alunos das 12 turmas do 6º ao 9º ano da escola, meu muito obrigada.

Às amigas que compreenderam minhas ausências e minhas crises, em especial à Carla, por torcer por mim e me incentivar a concluir este trabalho, muito obrigada!

RESUMO

Mais de dois bilhões de pessoas não têm acesso hoje à água potável, panorama que se agrava a cada levantamento publicado. Ainda assim, o que se verifica na forma contemporânea de se obter e de se fazer uso da água são grandes focos de desperdício e baixa otimização. Dentre as soluções possíveis para a questão da água, o aproveitamento pluvial se apresenta como uma tecnologia eficiente, barata, flexível e de baixo impacto ambiental. Os objetivos deste trabalho foram dimensionar e avaliar a viabilidade de inclusão de um sistema de aproveitamento pluvial no projeto de reforma e ampliação Escola de Ensino Básico Prof^a. Claudete Maria Hoffmann Domingos, localizada na cidade de Palhoça-SC. O consumo médio mensal de água potável na escola, levantado junto à concessionária de abastecimento, foi de 168m³ mensais. Foi realizada uma pesquisa na escola para determinar os usos finais em que esta água é empregada. Esta pesquisa consistiu na aplicação de questionários aos usuários e medição da vazão dos aparelhos hidrossanitários. Esta pesquisa retornou uma taxa de 78,77% do consumo total de água destinado aos usos não potáveis, ou seja, em média 132m³ mensais de água potável podem ser substituídos por água pluvial. O dimensionamento do reservatório foi realizado pelos métodos sugeridos pela NBR 15527, de forma que o método prático inglês, o prático brasileiro e o prático alemão retornaram os valores de 244m³, 857m³ e 94m³, respectivamente, valores estes considerados altos demais para execução por questão de espaço e custo. O método prático australiano, método da análise da simulação e o método de Rippl retornaram valores próximos entre si, de, respectivamente, 30m³, 26m³ e 25,37m³, considerados mais viáveis, de forma que o volume escolhido para o reservatório neste estudo foi de 26m³. O volume de reservação foi dividido em duas cisternas subterrâneas de 10.000L e dois reservatórios superiores de 3.000L. Os reservatórios superiores somam um volume de 6m³, de forma a atender a demanda diária de água não potável levantada para a escola. A economia nas contas de água, considerando-se que os 132m³ de água não potável calculados para a escola sejam substituídos por água pluvial, foi estimada em R\$1.084,80 mensais, proporcionando um período de retorno de investimento de 6 anos e 11 meses, de forma que a implantação se mostrou viável, tendo em vista o tempo de vida útil do sistema, de 20 anos.

Palavras-chave: Aproveitamento pluvial. NBR15527. Usos finais de água.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 2-1: Configuração da rede hidráulica proposta pelo autor para o Colégio Cândido Mendes..... | 16 |
| Figura 2-2: Classificação dos modos de filtração. | 39 |
| Figura 2-3: Esquema do funcionamento de um filtro típico lento de areia descendente com regime contínuo. | 40 |
| Figura 2-4: Princípio de funcionamento de filtros lineares..... | 42 |
| Figura 2-5: Filtros por adesão às paredes internas (à esquerda), por malha de peneiramento (ao centro) e de cascata (à direita). | 42 |
| Figura 2-6: Filtros de folhas enterráveis. | 43 |
| Figura 2-7 Filtros industriais VF12 (à esquerda) e Ciclo 3000 (à direita) | 43 |
| Figura 2-8: Dispositivos de retenção de materiais sólidos. | 44 |
| Figura 2-9: Esquema do sistema experimental de coleta montado por May (2009). | 45 |
| Figura 2-10: Filtro utilizado no sistema de coleta experimental. | 45 |
| Figura 2-11: Esquema de um reservatório de descarte de primeiras águas. | 47 |
| Figura 2-12: Esquema de funcionamento de um tanque de descarte com bola flutuante. | 48 |
| Figura 2-13: Tanque de descarte de primeiras águas. | 48 |
| Figura 2-14: Sistema experimental de coleta de águas pluviais. | 49 |
| Figuras 2-15: Modelos comerciais de freio d'água. | 51 |
| Figura 2-16: Freio d'água confeccionado <i>in loco</i> com tubos e conexões em PVC. | 51 |
| Figura 2-17: Esquemas de funcionamento dos freios d'água. | 52 |
| Figura 2-18: Esquema de funcionamento de uma boia de sucção..... | 53 |
| Figura 2-19 Esquema de separação atmosférica. | 54 |
| Figura 2-20 Extravasores com efeito “ <i>skimming</i> ” fabricados pela Wisy (à esquerda), Ciclodáguia (ao centro) e 3P Technik (à direita). | 56 |
| Figura 3-1: Imagem de satélite da escola no início de 2019. | 58 |
| Figura 3-2: <i>Layout</i> do projeto de reforma e ampliação da EEB Prof ^ª . Claudete Maria Hoffmann Domingos. | 59 |
| Figura 3-3: Estações pluviométricas próximas à escola..... | 62 |
| Figura 3-4: Ábaco fornecido pela NBR 10844 para dimensionamento dos coletores verticais, considerando calhas com saída em aresta viva..... | 70 |

| | |
|---|-----|
| Figura 4-1: Lavatórios dos banheiros femininos dos professores (à direita) e dos banheiros adaptados para portadores de necessidades especiais (à esquerda). | 80 |
| Figura 4-2: Lavatórios do banheiro das alunas. | 81 |
| Figura 4-3: Bebedouros da escola. | 81 |
| Figuras 4-4 e 4-5: Bacia sanitária presente nos banheiros adaptados para portadores de necessidades especiais (à esquerda) e bacia sanitária utilizada nos banheiros dos alunos e nos dos funcionários (à direita). | 83 |
| Figura 4-6: Torneiras da cozinha da escola. | 84 |
| Figura 4-7: Esquema ilustrativo da divisão das áreas de contribuição. | 95 |
| Figura 4-8: Relação sugerida pela NBR 10844 para a obtenção da área de contribuição de uma superfície inclinada. | 95 |
| Figura 4-9: Esquema vertical do conjunto elevatório da cisterna 1 | 102 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 2-1: Distribuição dos usos finais para cada tipologia de hotéis..... | 27 |
| Tabela 2-2: Consumo diário estimado das escolas da rede pública da cidade de Campinas. . | 30 |
| Tabela 2-3 Situação das Instituições de Ensino de Barra do Piraí - RJ quanto ao consumo de água no ano de 2004. | 31 |
| Tabela 2-4: Relação entre o número de alunos das escolas e o consumo de água, em 2004. . | 31 |
| Tabela 2-5: Média dos resultados obtidos com as amostras de água. | 50 |
| Tabela 3-1 Capacidade de condutores horizontais de seção circular (vazões em L/min.). | 70 |
| Tabela 3-2: Estrutura tarifária aplicada no ano de 2019 para imóveis destinados à atividade do setor público no município de Palhoça - SC..... | 74 |
| Tabela 4-1: Volumes médios mensais de precipitação registrados pelo pluviômetro da estação meteorológica ETA CASAN – Montante - Período: 1989 a 2018. | 76 |
| Tabela 4-2: Consumo total de água potável pela EEB Prof ^a . Claudete Maria Hoffmann Domingos, de 05/01/2018 a 08/01/2019..... | 78 |
| Tabela 4-3: Consumo total de água potável pela EEB Prof ^a . Claudete Maria Hoffmann Domingos, de 05/01/2018 a 08/01/2019 – Corrigido. | 78 |
| Tabela 4-4: Comparação entre as amostras e erros desejáveis e obtidos. | 79 |
| Tabela 4-5: Modelos das bacias sanitárias encontradas nos banheiros dos alunos. | 82 |
| Tabela 4-6: Modelos das bacias sanitárias encontradas nos banheiros dos funcionários..... | 82 |
| Tabela 4-7 Consumo mensal da escola destinado aos fins não potáveis. | 86 |
| Tabela 4-8: Dimensionamento do reservatório pelo Método da Simulação considerando-se um reservatório com capacidade de 26m ³ | 90 |
| Tabela 4-9: Dimensionamento do reservatório pelo Método Prático Australiano considerando-se um reservatório com capacidade de 30m ³ | 91 |
| Tabela 4-10: Dimensionamento do reservatório pelo Método de Rippl. | 93 |
| Tabela 4-11: Volumes de reservatório obtidos pela aplicação dos métodos sugeridos pela NBR 15527..... | 93 |
| Tabela 4-12: Vazões de projeto para as áreas de contribuição da cobertura da escola. | 96 |
| Tabela 4-13: Vazões de projeto para as áreas de contribuição da cobertura da quadra. | 97 |
| Tabela 4-14 - Dimensionamento das calhas de acordo com a rotina de cálculo preconizada pela NBR 10844 - Cobertura da escola. | 97 |

| | |
|--|-----|
| Tabela 4-15: Dimensionamento das calhas de acordo com a rotina de cálculo preconizada pela NBR 10844 - Cobertura da quadra poliesportiva. | 98 |
| Tabela 4-16 Relação entre a vazão de projeto a ser comportada por cada condutor horizontal, juntamente com seu respectivo comprimento previsto..... | 99 |
| Tabela 4-17 Dados de dimensionamento do conjunto elevatório referente à caixa d'água 1. | 102 |
| Tabela 4-18 Dados de dimensionamento do conjunto elevatório referente à caixa d'água 2 | 103 |
| Tabela 4-19 Levantamento de preços dos itens considerados para inclusão de aproveitamento pluvial no projeto de reforma e ampliação. | 106 |
| Tabela 4-20 Consumo médio mensal de água da Escola..... | 107 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|---|-----|
| Gráfico 2-1 Volumes de consumo encontrados pela autora por meio de cada um dos sistemas de levantamento..... | 25 |
| Gráfico 2-2 Média dos eventos registrados na semana pelas chaves de fluxo e chaves de contato instaladas pela autora nas bacias sanitárias e mictórios, respectivamente..... | 26 |
| Gráfico 4-1: Volumes médios mensais de precipitação registrados pelo pluviômetro da estação meteorológica 02748004 - ETA CASAN – Montante - Período: 1989 a 2018..... | 77 |
| Gráfico 4-2 - Fluxos de caixa descontados ao longo do período de vida útil do sistema..... | 109 |

LISTA DE EQUAÇÕES

| | |
|--------------|----|
| (2-1) | 18 |
| (2-2) | 19 |
| (2-3) | 19 |
| (2-4) | 20 |
| (2-5) | 20 |
| (2-6) | 21 |
| (2-7) | 22 |
| (2-8) | 22 |
| (2-9) | 23 |
| (2-10) | 23 |
| (2-11) | 23 |
| (3-1) | 63 |
| (3-2) | 63 |
| (3-3) | 65 |
| (3-4) | 65 |
| (3-5) | 66 |
| (3-6) | 66 |
| (3-7) | 67 |

SUMÁRIO

| | | |
|------------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 11 |
| 1.1 | CONSIDERAÇÕES INICIAIS | 11 |
| 1.2 | OBJETIVOS | 13 |
| 1.2.1 | OBJETIVO GERAL | 13 |
| 1.2.2 | OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 13 |
| 1.3 | ESTRUTURA DO TRABALHO | 14 |
| 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 15 |
| 2.1 | ESTUDOS DE POTENCIAL DO APROVEITAMENTO PLUVIAL EM ESCOLAS | 15 |
| 2.2 | DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE APROVEITAMENTO PLUVIAL | 17 |
| 2.2.1 | RESERVATÓRIO | 17 |
| 2.2.1.1 | Métodos de dimensionamento do reservatório | 17 |
| 2.2.1.2 | Características de projeto do reservatório | 23 |
| 2.2.1.3 | Demanda de água | 24 |
| 2.2.1.4 | Dados pluviométricos | 32 |
| 2.2.1.5 | Coefficiente de <i>runoff</i> | 33 |
| 2.2.1.6 | Superfície de captação | 35 |
| 2.2.2 | DISPOSITIVOS DE APRIMORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE CHUVA CAPTADA | 37 |
| 2.2.2.1 | Dispositivos de eliminação de materiais sólidos | 39 |
| 2.2.2.2 | Descarte do escoamento inicial | 46 |
| 2.2.2.3 | Freio d'água | 50 |
| 2.2.2.4 | Boia para sucção | 52 |
| 2.2.2.5 | Cloração, ultravioleta e demais formas de tratamento de água pluvial | 53 |
| 2.2.3 | DISPOSITIVOS COMPLEMENTARES | 54 |
| 2.2.3.1 | Ligação com a rede de fornecimento potável | 54 |
| 2.2.3.2 | Extravasor | 55 |
| 2.3 | PERÍODO DE RETORNO DO INVESTIMENTO | 56 |
| 3 | MÉTODO | 58 |
| 3.1 | ESCOLA DO ESTUDO | 58 |
| 3.2 | DIMENSIONAMENTOS | 59 |
| 3.2.1 | DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO | 60 |
| 3.2.1.1 | Área e material da superfície de captação | 60 |
| 3.2.1.2 | Dados pluviométricos | 61 |
| 3.2.1.3 | Demanda de água da escola | 62 |
| 3.2.2 | DIMENSIONAMENTO DAS INSTALAÇÕES DE COLETA PLUVIAL | 68 |
| 3.2.2.1 | Calhas | 68 |

| | | |
|------------|--|------------|
| 3.2.2.2 | Condutores verticais | 69 |
| 3.2.2.3 | Condutores horizontais | 70 |
| 3.2.3 | DIMENSIONAMENTO DO CONJUNTO ELEVATÓRIO | 71 |
| 3.2.4 | DIMENSIONAMENTO DA TUBULAÇÃO DE ABASTECIMENTO AOS PONTOS DE CONSUMO | 72 |
| 3.3 | VIABILIDADE ECONÔMICA | 73 |
| 3.3.1 | ESTIMATIVA DE CUSTO DE IMPLANTAÇÃO | 73 |
| 3.3.2 | ESTIMATIVA DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA | 73 |
| 3.3.3 | POTENCIAL DE ECONOMIA DE ÁGUA POTÁVEL | 74 |
| 3.3.3.1 | Taxa mensal de água | 74 |
| 3.3.4 | CÁLCULO DO PERÍODO DE RETORNO DO INVESTIMENTO | 75 |
| 4 | RESULTADOS | 76 |
| 4.1 | DIMENSIONAMENTOS | 76 |
| 4.1.1 | DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO | 76 |
| 4.1.1.1 | Dados pluviométricos | 76 |
| 4.1.1.2 | Demanda de água da escola | 77 |
| 4.1.1.3 | Dimensionamento do reservatório pelos métodos sugeridos pela NBR 15527 | 87 |
| 4.1.2 | DIMENSIONAMENTO DAS INSTALAÇÕES DE COLETA PLUVIAL | 94 |
| 4.1.2.1 | Calhas | 94 |
| 4.1.2.2 | Condutores verticais | 99 |
| 4.1.2.3 | Condutores horizontais | 100 |
| 4.1.3 | DIMENSIONAMENTO DO CONJUNTO ELEVATÓRIO | 100 |
| 4.1.4 | DIMENSIONAMENTO DA TUBULAÇÃO DE ABASTECIMENTO AOS PONTOS DE CONSUMO | 105 |
| 4.2 | VIABILIDADE ECONÔMICA | 105 |
| 4.2.1 | ESTIMATIVA DE CUSTO DE IMPLANTAÇÃO | 105 |
| 4.2.2 | ESTIMATIVA DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA | 106 |
| 4.2.3 | POTENCIAL DE ECONOMIA DE ÁGUA POTÁVEL | 107 |
| 4.2.4 | CÁLCULO DO PERÍODO DE RETORNO DO INVESTIMENTO | 108 |
| 5 | CONCLUSÃO | 110 |
| 5.1 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 110 |
| 5.2 | LIMITAÇÕES DESTE TRABALHO | 111 |
| 5.3 | SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS | 112 |
| | REFERÊNCIAS | 114 |
| | ANEXO I - Volumes mensais de precipitação | 120 |
| | APÊNDICE I - Questionários aplicados para investigações de usos finais do consumo de água | 121 |
| | APÊNDICE II - Fluxos de caixa de acordo com o método do <i>payback</i> descontado | 124 |
| | APÊNDICE II - Tabelas de dimensionamento das tubulações de abastecimento | 126 |
| | APÊNDICE IV - Pranchas do projeto de captação e abastecimento de água pluvial | 131 |

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A edição de 2018 do *Relatório Mundial das Nações Unidas Sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos* informa que atualmente mais de 2 bilhões de pessoas não têm acesso à água potável (UNESCO, 2018). O consumo mundial de água subiu mais de seis vezes nos últimos cem anos, enquanto a população aumentou 4,8 vezes. Este panorama se agrava ainda mais se considerada a previsão de incremento do consumo previsto para os setores agrícola, industrial e doméstico (WADA *et al.*, 2016). Considerando as projeções da UNESCO (2018), a demanda por recursos hídricos deve subir ainda cerca de um terço até 2050.

É mais do que nunca necessário que os tomadores de decisão compreendam a necessidade global de focarem seus esforços em buscar, dentre as soluções possíveis para o problema da água, aquelas que caminhem junto à natureza. Trabalhar em consonância com os ciclos naturais da água melhora a gestão dos recursos hídricos, ajuda a alcançar a segurança de fornecimento para todos, e apoia o desenvolvimento sustentável (UNESCO, 2018).

Dentre as soluções, baseadas na natureza, citadas nos últimos relatórios da UNESCO, consta de forma contundente o uso da água de chuva. O aproveitamento pluvial é uma tecnologia eficiente, barata, flexível e de impacto ambiental baixíssimo que visa a atender à demanda crescente de recursos hídricos (CAIN, 2014).

A tecnologia de captação da água de chuva para consumo é extremamente familiar à humanidade, de forma que a história dos dispositivos de captação e aproveitamento caminha juntamente com a história da própria humanidade. Há registros de reservatórios escavados em rochas datados de 3000 a.C., na Ilha de Creta, além dos doze reservatórios de Monturque, Roma, que eram utilizados pelos mesopotâmios em 2750 a.C. (TOMAZ, 2015). Hoje, resgatados como ferramenta no combate à crise hídrica, os sistemas de aproveitamento pluvial encontram-se em operação em edificações contemporâneas de variadas magnitudes.

A universidade de Darmstadt, na Alemanha, por exemplo, utiliza hoje apenas 20% da água potável que era necessária antes de o sistema ser instalado em 1993, gerando uma economia anual de 80.000m³ de água potável. Índices similares são encontrados em Singapura, outro país reconhecido pela liderança no uso da tecnologia de aproveitamento pluvial. O aeroporto de Changi hoje consome de 28% a 33% da água do fornecimento público que utilizava antes da captação pluvial ser instalada, resultando em uma economia

aproximada de S\$ 390.000,00 (US\$ 283.062,00) por ano (RAINWATERHARVESTING.ORG, 2001).

Além de prover água para diferentes tipos de consumo, os reservatórios de água pluvial construídos de forma individual nas edificações são uma ferramenta eficaz de controle de enchentes em grandes centros urbanos (BRAGA *et al.*, 2018) e um instrumento educativo que, quando aplicado em pequena escala nas comunidades, aumenta a consciência de seus utilizadores acerca do regime local de chuvas e do manejo otimizado dos recursos hídricos (FUENTES-GALVÁN; MEDEL; HERNÁNDES, 2018). Dornelles (2012) elenca mais alguns dos efeitos positivos gerados pela implantação de sistemas de captação pluvial para consumo:

Ao ser utilizado na irrigação, recarrega os aquíferos e pereniza os cursos d'água; ao reduzir os volumes captados dos mananciais superficiais, a maior disponibilidade nestes acaba por propiciar maior capacidade de manutenção da biota e de diluição de contaminantes; reduz o consumo de energia para bombeamento de água em análise global e desperta a consciência ambiental da população (DORNELLES, 2012).

Os sistemas de coleta de água de chuva encontrados nas regiões rurais, em sua maioria, atendem ao consumo total das edificações para suprir as necessidades básicas, o que compreende fins potáveis e não potáveis. Já nas áreas urbanas, conta-se predominância de sistemas que conduzem a água captada para pontos de consumo suplementar, de forma a cobrir demandas secundárias, não potáveis (GOMES *et al.*, 2014). A norma brasileira que determina os requisitos para a instalação de sistemas de aproveitamento pluvial se aplica a estes usos: os não potáveis (ABNT, 2007).

Os edifícios escolares, por estarem envolvidos de forma direta ou indireta com grande parte das comunidades em que se inserem, figuram como um excelente meio de divulgação dos benefícios da captação pluvial (FASOLA *et al.*, 2011). Também segundo Barnes (2012), os prédios públicos que utilizam estratégias de economia dos recursos naturais podem e devem ser aproveitados como plataforma para familiarizar a comunidade ao uso das práticas sustentáveis na construção.

Além disto, as instituições pertencentes ao setor público são aquelas onde se contabilizam os maiores consumos e desperdícios de água (FASOLA *et al.*, 2011). Assim sendo, o incentivo à conservação de água nesse tipo de edificação representa um peso considerável na economia em relação ao fornecimento de água potável. Este panorama foi confirmado por Teston *et al.* (2018), que, ao estudarem a produção acadêmica nacional sobre o aproveitamento pluvial, concluíram que tanto o potencial de economia de água quanto o

retorno do investimento do sistema de aproveitamento pluvial foram mais significativos em escritórios e prédios públicos.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Dimensionar, a partir dos métodos sugeridos pela NBR 15527, um sistema de aproveitamento pluvial compatível com as características arquitetônicas e de demanda de água não potável da Escola de Ensino Básico Prof^a. Claudete Maria Hoffmann Domingos, localizada no município de Palhoça - SC, e avaliar a viabilidade da implantação desse sistema nesta escola.

1.2.2 Objetivos específicos

- Explorar os estudos disponíveis na literatura acerca da aplicação do sistema de aproveitamento pluvial para consumo em edificações, em especial as escolares;
- Estudar os métodos de dimensionamento de reservatório pluvial sugeridos pela NBR 15527;
- Dimensionar, a partir dos dados pluviométricos, dados de consumo e características arquitetônicas, e o volume ideal do reservatório de água pluvial dentro das especificidades da edificação escolar em estudo;
- Dimensionar as calhas e tubulações de coleta e distribuição da água coletada, bem como estudar a necessidade de dispositivos complementares ao sistema como descarte de primeiras águas, filtragem, freio d'água, ligação com o abastecimento potável, conjunto elevatório e demais estruturas acessórias;
- Levantar o custo de implantação do sistema obtido e determinar o período necessário para que a economia de água proporcionada por esse sistema recupere o investimento inicial dispendido na implantação.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está estruturado em cinco capítulos. No primeiro capítulo é feita a introdução do tema tratado e são apontados o objetivo geral e os objetivos específicos.

No segundo capítulo é apresentada a revisão da bibliografia utilizada para proporcionar o embasamento teórico necessário para projetar e dimensionar o sistema de aproveitamento pluvial.

No terceiro capítulo são elencados os dados de entrada necessários ao dimensionamento do reservatório, bem como a forma de obtenção destes dados. Neste capítulo também são descritos os métodos de dimensionamento das instalações de captação e abastecimento de água pluvial, bem como os métodos de dimensionamento dos dispositivos auxiliares e modo de levantamento do custo de implantação do projeto.

No quarto capítulo são apresentados, relacionados e interpretados os resultados obtidos.

No quinto capítulo são apresentadas as conclusões geradas da interpretação dos resultados obtidos, as limitações do trabalho e dificuldades encontradas, e as sugestões de pontos a serem desenvolvidos em trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo são tratados os conteúdos teóricos cujo entendimento julgou-se necessário para o desenvolvimento deste trabalho.

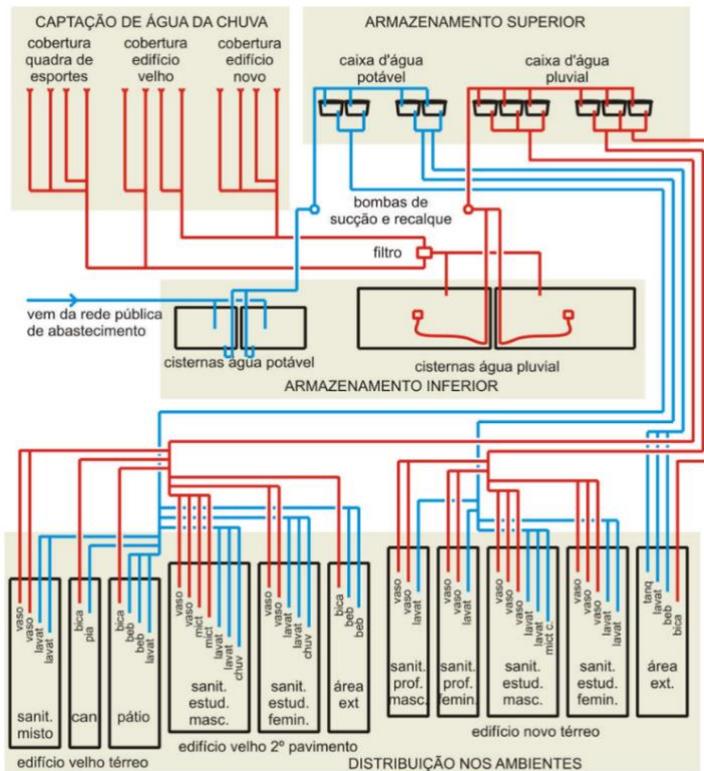
2.1 ESTUDOS DE POTENCIAL DO APROVEITAMENTO PLUVIAL EM ESCOLAS

Nesta seção são apresentados os resultados de estudos sobre o potencial de economia de água atingível pelo aproveitamento pluvial em escolas, universidades e instituições de ensino em geral.

Fasola *et al.* (2011) estudaram o potencial de economia de água por meio de aproveitamento pluvial, aparelhos economizadores e reúso de águas cinzas em duas escolas na cidade de Florianópolis, uma estadual e uma municipal. A escola municipal dispunha de área de captação de 638 m² e era frequentada por 149 pessoas, entre alunos e professores; e a escola estadual dispunha de 800m² de área e 243 frequentadores. Foram usados os dados pluviométricos de Florianópolis dos anos 2000 a 2006 e adotado o coeficiente de *runoff*, de 0,8 (80% de aproveitamento). Os dados de consumo de água mensal e entrevistas com usuários revelaram uma demanda de 901,15 litros de água não potável por dia para a escola municipal e 4.426,47 litros para a estadual. Esta demanda, combinada com os dados pluviométricos resultou no dimensionamento de reservatórios de volumes relativamente altos, de 8m³ para a escola municipal e de 22m³ para a estadual. Em termos de potencial de economia de água a escola municipal poderia economizar 22% do consumo da rede, caso utilizasse a água de chuva, e a estadual, 42,5% (FASOLA *et. al*, 2011).

Werneck (2006) propôs a aplicação de um sistema de aproveitamento pluvial para fins não potáveis em um colégio particular com 850 alunos e 85 funcionários (Figura 2-1). O colégio dispunha de coberturas de fibrocimento e telhas de barro, totalizando uma área de captação de 1.284,68m. O autor explorou os panoramas obtidos com diferentes volumes de reservatório: Para um reservatório de 50 m³, obteve *payback* de 21 anos e meio; e para um de 100 m³, *payback* de 31 anos.

Figura 2-1: Configuração da rede hidráulica proposta pelo autor para o Colégio Cândido Mendes.



Fonte: Werneck (2016).

Marinoski (2007) realizou um estudo de potencial de economia de água potável de um sistema de captação pluvial no Centro de Tecnologia em Automação e Informática do SENAI/SC, em Florianópolis - SC. Para desempenhar a pesquisa, a autora realizou a contagem dos aparelhos hidrossanitários da instalação; aplicou questionários a uma fatia amostral dos frequentadores do centro de ensino; e levantou os dados de precipitações diárias da cidade de Florianópolis dos anos 2000 a 2006, bem como os dados de consumo de água potável mensal da instituição e da área da cobertura utilizada para captação. Desta forma, a autora verificou que o percentual de água potável que pode ser substituído por água pluvial poderia ser de $42,6\text{m}^3$, utilizando um reservatório inferior calculado em 27.000 litros e um reservatório superior calculado em 5.561 litros.

A configuração mais próxima com os volumes utilizados pelo mercado foi de dois reservatórios inferiores de fibra de vidro de 15m^3 cada e dois superiores de 3m^3 cada. O conjunto adotado proporcionou 45,8% de economia de água potável e o período de retorno obtido foi de 4,8 anos (MARINOSKI, 2007).

Lisboa (2008) projetou um sistema de captação pluvial a ser instalado na Escola de Ensino Básico Rosina Nardi, de Seara - SC. Como dados de entrada, foram utilizadas as

faturas de água emitidas pela CASAN entre os períodos de maio de 2006 a setembro de 2008; a contagem de aparelhos hidrossanitários da escola; e a série histórica de precipitações na região (Estação Meteorológica de Concórdia) entre os anos 1955 e 2003. A captação foi projetada para a cobertura de telhas de aço zincado do ginásio da escola, que possui 800m² de área útil. A autora chegou a um reservatório de 80m³ de capacidade, com um potencial de redução de 60% do consumo de água potável e um *payback* do investimento de implantação estimado em 2 a 4 anos, dependendo do material escolhido para o reservatório. Um período de retorno considerado baixo, comparativamente ao período de vida útil da estrutura, estimado em 20 anos (LISBOA, 2008).

2.2 DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE APROVEITAMENTO PLUVIAL

2.2.1 Reservatório

Em geral, o reservatório de armazenamento é o componente mais dispendioso do sistema de aproveitamento de água pluvial (FASOLA *et al.*, 2011; MARINOSKI, 2007; LAGE, 2010; TOMAZ, 2015). Assim, é importante escolher um método de dimensionamento que proporcione maior probabilidade de aproveitamento pleno, ou seja, tenha volume o suficiente para prover a maior parcela possível da demanda, mas não seja exageradamente grande, de forma a se tornar caro e subutilizado.

Segundo Tomaz (2015), no caso de áreas de captação pequenas, ou seja, menores que 200m², as diferenças de volume adotado para o reservatório não representam impacto importante no orçamento. Para ele, todavia, em áreas como 3.000m² o volume do reservatório, juntamente com o valor das calhas e condutores, começa a pesar na análise de custo-benefício.

2.2.1.1 Métodos de dimensionamento do reservatório

Os métodos descritos e trabalhados nesta seção são os sugeridos pela NBR 15527 (ABNT, 2007).

2.2.1.1.1 Método prático inglês

Constitui-se da relação:

$$V = 0,05 \times P \times A \quad (2-1)$$

Onde:

V é o valor numérico do volume de água aproveitável e o volume de água da cisterna, expresso em litros;

P é o valor numérico da precipitação média anual, expresso em milímetros;

A é o valor numérico da área de coleta em projeção, expresso em metros quadrados.

O método prático inglês tem como parâmetros apenas a precipitação anual e a área de captação, não levando em consideração a demanda, as variações pluviométricas e variações no comportamento do nível do reservatório ao longo do tempo. Em edificações de grande demanda de água de chuva localizadas em locais com pouca pluviosidade, ou mesmo distribuição pluviométrica irregular ao longo do ano, o reservatório obtido por este método pode ser insuficiente. Já em prédios de grandes áreas de captação e distribuição pluviométrica regular, o resultado do volume de reservação por esse método pode ser superdimensionado. Lopes e Miranda (2016) recomendam que o uso deste método seja reservado para pré-dimensionamentos de reservatórios que sejam instalados em regiões que apresentem condições pluviométricas similares àquelas a partir das quais os mesmos foram concebidos, ou seja, em regiões de clima temperado, como é o caso da Inglaterra.

2.2.1.1.2 Método prático brasileiro

Este método, conhecido também pelo nome de Método Azevedo Neto, propõe a seguinte relação para obtenção do volume do reservatório:

$$V = 0,042 \times P \times A \times T \quad (2-2)$$

Onde:

P é o valor numérico da precipitação média anual, em milímetros;

T é o valor numérico de meses de pouca chuva ou seca;

A é o valor numérico da área de coleta em projeção, expresso em metros quadrados;

V é o valor numérico do volume de água aproveitável e do volume de água no reservatório, expressos em litros.

Assim como o método prático inglês, o método prático brasileiro tende a fornecer volumes de reservatório relativamente superdimensionados para casos de grandes áreas de captação e distribuição pluviométrica regular, já que o cálculo se baseia apenas a partir dos dados da área de captação e de volume de pluviosidade, não levando em consideração a demanda de água pluvial no edifício. Assim, em edificações com baixa demanda em áreas de alta pluviosidade, o método retornará volumes desnecessariamente grandes. Este método pode ser aplicado principalmente em regiões onde ocorre escassez de água em determinados períodos do ano, como na região Nordeste do Brasil, por exemplo (NICOLAU; DO CARMO, 2017).

2.2.1.1.3 Método prático alemão

$$V_{adotado} = \text{mín}(V, D) \times 0,06 \quad (2-3)$$

Onde:

V é o valor numérico do volume aproveitável de água de chuva anual, expresso em litros;

D é o valor numérico da demanda anual da água não potável, expresso em litros;

V_{adotado} é o valor numérico do volume de água no reservatório, expresso em litros.

Ou seja, o volume adotado é o menor entre o volume anual precipitado aproveitável e o volume anual de consumo.

2.2.1.1.4 Método prático australiano

Para usar este método, em um primeiro momento deve ser obtido o volume de contribuição produzido pela chuva (valor Q) para cada mês da série pluviométrica utilizada. O valor Q é obtido na seguinte relação:

$$Q = A \times C \times (P - I) \quad (2-4)$$

Onde:

C é o coeficiente de escoamento superficial, geralmente 0,80;

P é a precipitação média mensal;

I é a interceptação da água que molha as superfícies e perdas por evaporação;

A é a área de coleta;

Q é o volume mensal produzido pela chuva.

Depois de encontrado o valor Q relativo a cada um dos meses a serem considerados, no segundo momento é calculado o volume do reservatório. Esse cálculo deve ser feito mês a mês, considerando o volume que o reservatório possuía no mês anterior, a contribuição produzida pela chuva no mês em questão e a demanda mensal de água solicitada pela edificação. A seguinte equação relaciona as variáveis:

$$V_{(t)} = V_{(t-1)} + Q_{(t)} - D_{(t)} \quad (2-5)$$

Onde:

$V_{(t)}$ é o volume mensal produzido pela chuva no mês t ;

$V_{(t-1)}$ é o volume de água que está no tanque no início do mês t ;

$Q_{(t)}$ é o volume mensal produzido pela chuva no mês t ;

$D_{(t)}$ é a demanda mensal.

No caso do cálculo de $V_{(t)}$, considera-se $V_{(t-1)} = 0$, ou seja, considera-se que o reservatório inicia vazio.

Esse método funciona com o uso de iterações. É calculado o volume final do reservatório no último mês e testada a confiança do reservatório, que é estimada da seguinte forma:

$$P_r = \frac{N_r}{N} \quad (2-6)$$

Onde:

P_r é a falha;

N_r é o número de meses em que o reservatório não atendeu à demanda;

N é o número de meses considerado no cálculo. Geralmente 12 meses;

Recomenda-se que os valores de confiança estejam entre 90% e 100%, sendo que $\text{confiança} = 1 - P_r$.

2.2.1.1.5 Considerações sobre os métodos práticos

Rocha (2009) considera que, na maioria dos casos, o uso de métodos práticos para dimensionamento do reservatório retorna valores inadequados, pois estes métodos generalizam parâmetros que apresentam grande variabilidade, como a distribuição pluviométrica e a demanda de água não potável.

Dornelles (2012) chegou a uma conclusão similar, alertando que os métodos práticos são aqueles que apresentam as maiores limitações, por utilizarem apenas constantes de proporcionalidade entre tamanho do reservatório e pluviosidade local, desconsiderando a variabilidade da pluviosidade ao longo do ano.

2.2.1.1.6 Método da simulação

Neste método, aplica-se a equação da continuidade em um reservatório finito e utilizam-se duas hipóteses: De que o reservatório começa cheio e de que os dados históricos

são representativos para as condições futuras (ABNT, 2007). Tomaz (2003) considera este o melhor método existente para se avaliar um reservatório, no qual é levado em conta um volume hídrico específico e, a partir deste volume, verifica-se o que ocorre com as quantidades de água: a que sobra e a que falta.

O método da simulação consiste nas seguintes relações:

$$S_{(t)} = Q_{(t)} + S_{(t-1)} - D_{(t)} \quad (2-7)$$

e

$$Q_{(t)} = C \times \text{precipitação da chuva}_{(t)} \times \text{área de captação} \quad (2-8)$$

Sendo que:

$$0 \leq S_{(t)} \leq V$$

Onde:

$S_{(t)}$ é o volume de água no reservatório no tempo t ;

$S_{(t-1)}$ é o volume de água no reservatório no tempo $t - 1$;

$Q_{(t)}$ é o volume de chuva no tempo t ;

$D_{(t)}$ é a demanda ou consumo no tempo t ;

V é o volume do reservatório fixado;

C é o coeficiente e escoamento superficial.

2.2.1.1.7 Método de Rippl

O método de Rippl também é conhecido como Método do Diagrama de Massas e é um dos mais utilizados, devido à sua fácil aplicação. Tem como princípio fundamental a equalização da vazão (GIACCHINI; MARGOLAINE, 2016), ou seja, sua concepção parte da necessidade de equalizar as variações entre a demanda de água e a água disponível. As relações utilizadas são:

$$S_{(t)} = D_{(t)} - Q_{(t)} \quad (2-9)$$

$$Q_{(t)} = C \times \text{precipitação da chuva}_{(t)} \times \text{área de captação}. \quad (2-10)$$

Sendo que:

$$\sum D_{(t)} < \sum Q_{(t)} \quad (2-11)$$

e:

$$V = \sum S_{(t)}, \text{ somente para valores } S_{(t)} > 0.$$

Onde:

$S_{(t)}$ é o volume de água no reservatório no tempo t ;

$Q_{(t)}$ é o volume de chuva aproveitável no tempo t ;

$D_{(t)}$ é a demanda ou consumo no tempo t ;

V é o volume do reservatório;

C é o coeficiente e escoamento superficial.

2.2.1.2 Características de projeto do reservatório

É necessário que o reservatório seja assentado sobre uma camada de, no mínimo, 100mm de areia. A tampa do reservatório deve ter 600mm e estar 200mm acima da superfície superior do reservatório e aba da tampa deve ser de, no mínimo, 50mm (TOMAZ, 2003).

Alguns cuidados especiais devem ser tomados quanto ao reservatório, visando a evitar a proliferação de patógenos. É necessário evitar a entrada de luz do sol, visando a inibir o crescimento de algas; a tampa de inspeção precisa ser hermeticamente fechada e a saída do extravasor deve conter sifonamento, ou outra forma de fecho hídrico, e também conter grades que impeçam a entrada de pequenos animais (TOMAZ, 2003).

O reservatório pode estar apoiado, enterrado ou elevado. Pode ser de concreto armado, alvenaria de tijolos comuns, alvenaria de bloco armado, plásticos ou poliéster (TOMAZ, 2015).

As cisternas enterradas devem ser impermeabilizadas para evitar infiltrações de águas contaminadas, sempre que houver esse risco (ANDRADE NETO, 2003).

É aconselhável que o reservatório de acumulação de águas pluviais seja localizado próximo ao condutor vertical, podendo ele ser elevado, enterrado ou apoiado (MAY, 2009).

2.2.1.3 Demanda de água

De acordo com a NBR 15527, no estudo de implantação de um sistema de aproveitamento pluvial devem constar o alcance do projeto, a população que utiliza a água de chuva e a determinação da demanda a ser definida pelo projetista do sistema (ABNT, 2007).

Esta seção trata dos dados de demanda de água total e de água para fins não potáveis de uma edificação.

2.2.1.3.1 Estudos sobre usos finais da água em edificações

De acordo com a NBR 15527, a demanda de água considerada pelo sistema de aproveitamento pluvial se refere ao consumo médio (mensal ou diário) a ser atendido para fins não potáveis (ABNT, 2007). Este dado é definido a partir de estudos sobre usos finais de água em edificações (GHISI; CORDOVA, 2014). Teston *et al.* (2018), ao estudarem a produção acadêmica brasileira sobre aproveitamento pluvial, concluíram que a demanda de água de chuva foi a variável de maior influência no dimensionamento dos sistemas de aproveitamento pluvial na maioria das cidades analisadas.

Segundo Werneck (2006), uma correta caracterização do consumo de água nas edificações só pode ser feita através da identificação das parcelas correspondentes a cada um dos equipamentos, número de vezes em que são usados e o período de tempo de uso em cada vez.

Bier (2013), ao levantar o consumo de água para fins não potáveis pelos usuários do Centro de Convivência da Universidade de Passo Fundo, utilizou quatro formas diferentes, comparando posteriormente os resultados obtidos por meio de cada forma de coletar os dados. Foram utilizados os seguintes sistemas de levantamento:

- a) **Sistema de medição de usos:** Foi instalada uma chave de fluxo em cada bacia sanitária e uma chave de contato em cada mictório. Estas detectam o momento em que o equipamento sanitário é acionado. Então, o consumo mensal se constitui do produto

entre o número de acionamentos e a vazão de cada equipamento por acionamento. As vazões utilizadas foram: de 6L/descarga em bacias sanitárias e de 3L/descarga em mictórios;

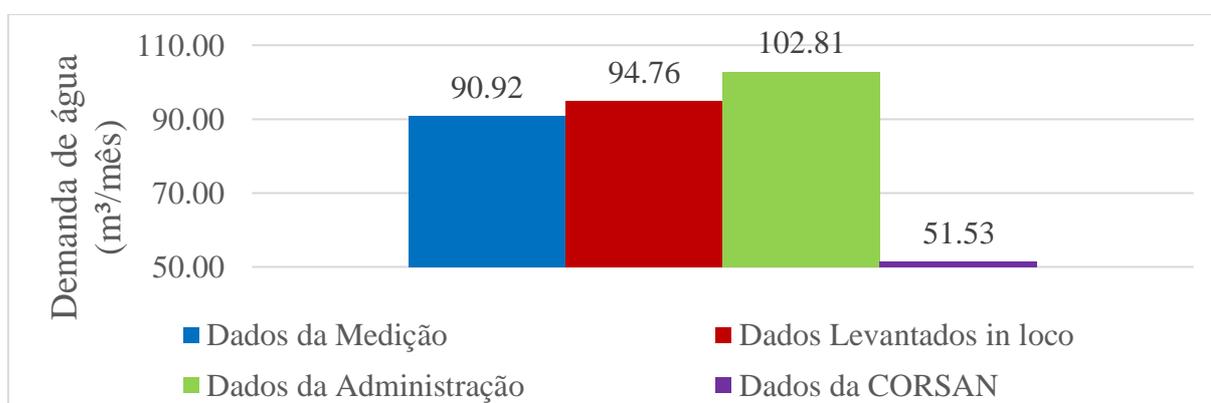
b) **Sistema de levantamento in loco:** foram feitas entrevistas com os donos dos estabelecimentos comerciais do prédio;

c) **Sistema de levantamento junto à administração:** Foram feitas entrevistas com os responsáveis pela administração do prédio;

d) **Sistema de cálculo da concessionária local:** Foi realizado o cálculo de previsão de consumo recomendado pela concessionária local, a Companhia Riograndense de Saneamento - CORSAN, que consiste na multiplicação da taxa de consumo de 50L por dia por 7m² de área útil.

Os resultados encontrados pela autora podem ser verificados no Gráfico 2-1. Bier constatou que os dados coletados em entrevistas com a Administração do prédio, os dados coletados *in loco* (entrevistas com os donos dos estabelecimentos) e aqueles provenientes das medições dos acionamentos dos aparelhos sanitários chegam a valores de consumo semelhantes entre si. Em contrapartida, o consumo obtido a partir dos cálculos recomendados pela CORSAN retornou um volume substancialmente menor do que os demais. A autora atribuiu esta diferença ao fato de que o número obtido pelos cálculos se refere ao consumo de água não potável previsto para a metragem do empreendimento, e não à população usuária do sistema de aproveitamento pluvial.

Gráfico 2-1 Volumes de consumo encontrados pela autora por meio de cada um dos sistemas de levantamento.



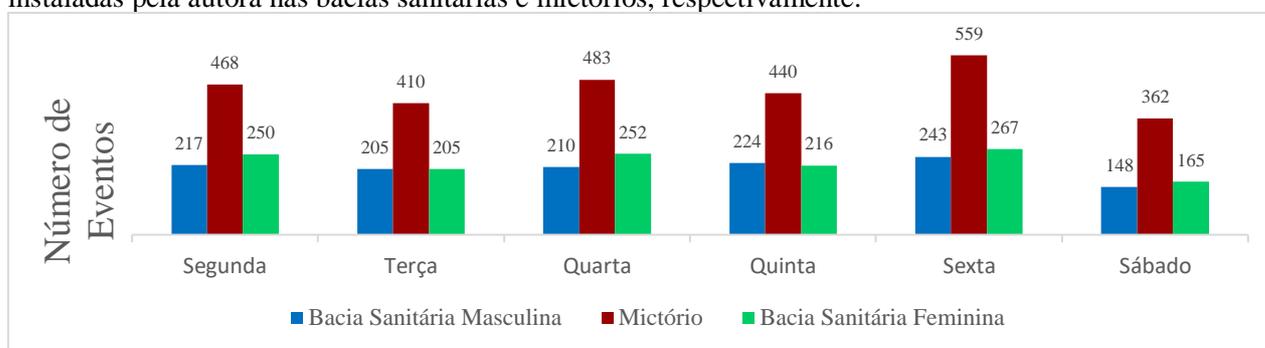
Fonte: (BIER, 2013).

Em relação ao sistema de medição de usos, a autora também comparou o número de acionamentos dos aparelhos sanitários de acordo com o tipo de aparelho (Gráfico 2-2). Com

isso, ela observou que o mictório foi o aparelho com o maior número de eventos, sendo acionado praticamente o dobro de vezes em relação às bacias sanitárias. Como o acionamento de um mictório libera a metade de água em relação ao acionamento da bacia sanitária, a autora concluiu que, apesar de os mictórios terem sido acionados o dobro de vezes, ambos os tipos de aparelho consomem volumes comparativamente similares.

Ainda em relação ao sistema de medição de usos, a autora concluiu que o uso dos aparelhos sanitários é relativamente homogêneo durante a semana, com exceção de sábado, em que há uma queda, pois neste dia o funcionamento do prédio ocorre apenas no período da manhã.

Gráfico 2-2 Média dos eventos registrados na semana pelas chaves de fluxo e chaves de contato instaladas pela autora nas bacias sanitárias e mictórios, respectivamente.



Fonte: (BIER, 2013).

Nascimento e Sant'ana (2014) investigaram os usos finais da água no setor de hotelaria de Brasília - DF. A metodologia de coleta de dados utilizada por eles consistiu em técnicas de auditoria do consumo de água, coleta de informações relacionadas à lavagem de pisos e irrigação, aos hábitos do consumo de água dos hóspedes nos quartos, e dos funcionários tanto nos processos relativos à limpeza, manutenção de jardins e preparo de alimentos, como nos seus próprios hábitos de higiene pessoal. Foram realizadas observações da forma como ocorrem os serviços de limpeza e manutenção de jardins, aplicações de questionários referentes ao uso da água e vistoria hidráulica. Foi feita também uma análise documental das contas de água dos hotéis, as quais forneceram dados referentes ao histórico de consumo de água da edificação.

Os pesquisadores concluíram que as edificações que se enquadram na tipologia denominada "B" (que possuem maior área construída e que oferecem serviços como salas para eventos, lojas, áreas de lazer com piscina, sauna, restaurantes abertos ao público e lavanderia) têm um consumo de água maior, quando comparadas com aquelas enquadradas na

tipologia de hotel que não possui essas atividades. Quanto aos usos finais, foi constatado nos hotéis da tipologia A que pelo menos 80% dos usos finais correspondem a fins potáveis (Tabela 2-1); e nos hotéis da tipologia B os fins potáveis são de pelo menos 55%.

Tabela 2-1: Distribuição dos usos finais para cada tipologia de hotéis.

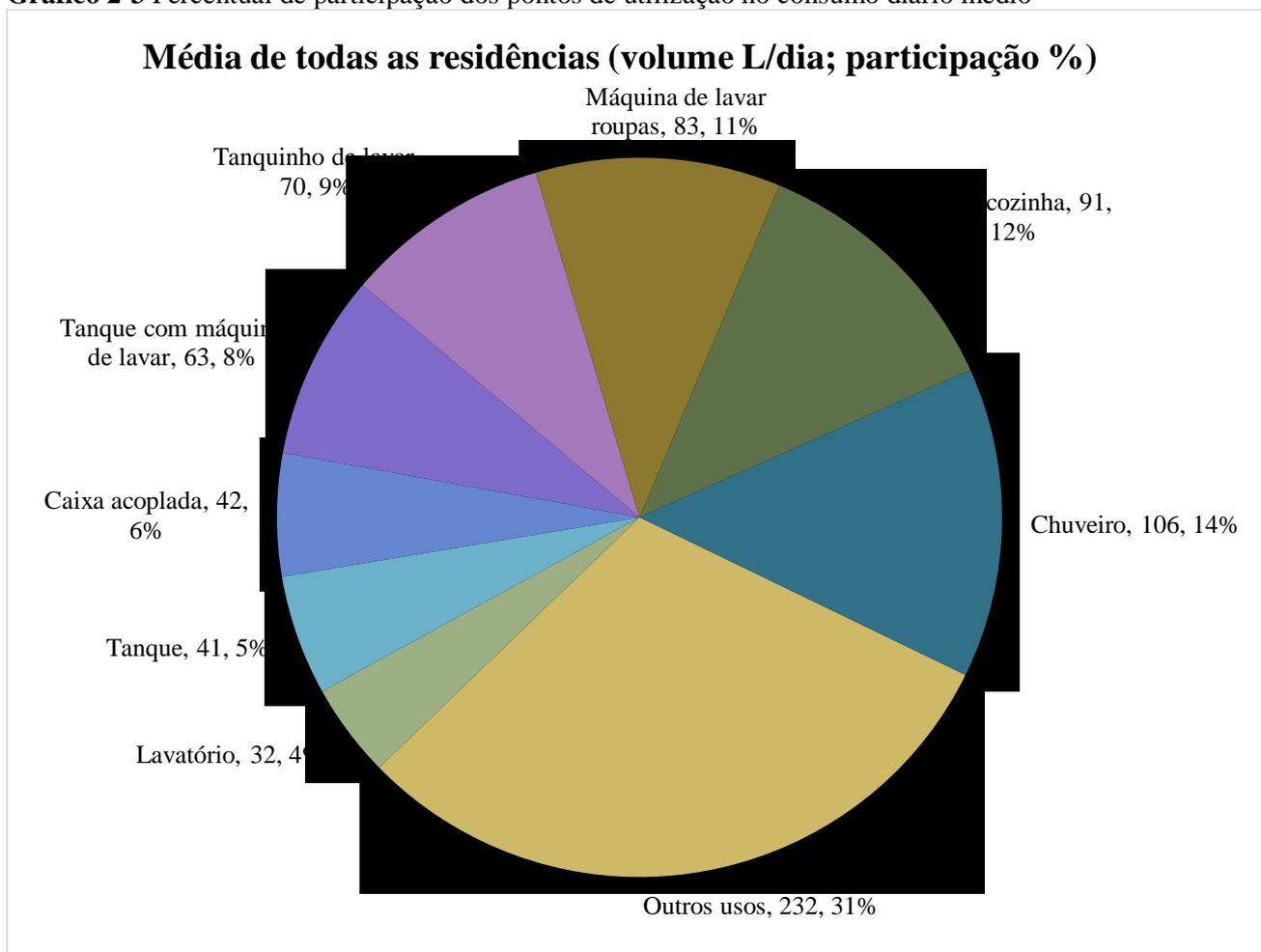
| Tipologia A | | Tipologia B | |
|------------------------|--------|---------------------|--------|
| Funcionários | 8,00% | Funcionários | 26,00% |
| Limpeza | 4,00% | Limpeza | 12,00% |
| Cozinha | 7,00% | Cozinha | 5,00% |
| Irrigação | 2,00% | Irrigação | 1,00% |
| Descarga | 4,03% | Lavanderia | 7,00% |
| Lavatório | 3,48% | Descarga | 4,26% |
| Chuveiro | 71,34% | Lavatório | 4,21% |
| Ducha Higiênica | 0,16% | Chuveiro | 38,71% |
| | | Banheira | 1,57% |
| | | Ducha | 0,05% |
| | | Pia cozinha | 0,25% |

Fonte: Nascimento e Sant'ana (2014).

Barreto (2008) estudou os usos finais da água consumida em um grupo de sete residências da zona oeste da cidade de São Paulo, escolhidas por apresentarem um consumo de água constante, na faixa de 15 a 20 m³/mês. A coleta de dados se constituiu de instalação de equipamentos de monitoração. No cavalete de entrada das residências foi instalado um hidrômetro associado a um *data-logger*. Além disto, em oito pontos de consumo preestabelecidos pelo autor (caixa acoplada, lavatório, chuveiro, torneira da cozinha, tanque e máquina de lavar, ou tanquinho) foram instalados hidrômetros especialmente construídos e calibrados para a pesquisa, associados a um mini *data-logger*. Complementarmente à instalação dos equipamentos de monitoramento, foram aplicados questionários de caracterização do imóvel e do perfil socioeconômico das pessoas que moram nas residências estudadas.

Dentre os pontos monitorados, o chuveiro apresentou o maior consumo, com 14%. O segundo aparelho com maior consumo foi a pia da cozinha, responsável por uma média de 12,0% do consumo total de água mensal nas residências. A relação completa de consumo nos pontos monitorados pelo autor está expressa no Gráfico 2-3.

Gráfico 2-3 Percentual de participação dos pontos de utilização no consumo diário médio



Fonte: (BARRETO, 2008).

Kammers (2004) levantou os usos finais da água em 10 edifícios públicos na cidade de Florianópolis - SC. Como método de levantamento, a autora realizou medições de vazão dos aparelhos sanitários existentes e analisou faturas de consumos de água. Complementarmente, realizou entrevistas com usuários dos grupos de amostra para mensurar a frequência e o tempo médio de utilização dos pontos de consumo de água, assim como quais são as principais atividades que consomem água.

Os usos finais encontrados variaram entre os 10 edifícios, sendo que em seis deles o vaso sanitário foi verificado como o ponto de maior consumo (variando entre 23,0% a 78,8%); e nos demais o equipamento que registrou maior consumo foi o mictório, variando de 14,3% a 47,0%. As torneiras contabilizaram um consumo variando de 5,5% a 31,2%.

2.2.1.3.2 Estudos sobre os usos finais da água em escolas

As instituições de ensino não seguem um padrão comum de consumo de água (FASOLA *et al.*, 2011). Os volumes consumidos variam com os tipos de áreas que as compõem, como lanchonetes, laboratórios e ginásios, bem como dos tipos de aparelhos sanitários instalados nestas áreas. Segundo Gonçalves *et al.* (2006), existe uma série de fatores que determinam o consumo de água, como o clima da região, renda familiar, desperdício, características culturais e valores das tarifas.

Fasola *et al.* (2011) realizaram entrevistas com alunos, professores e funcionários de duas escolas em Florianópolis buscando identificar os usos finais de água, considerando o uso dos bebedouros, torneiras, bacias sanitárias, mictórios, a preparação de refeições e a limpeza. Cruzando estes dados com o consumo total de água mensal das escolas foram obtidos os dados de consumo de 28,8 litros/dia por pessoa, sendo 26% deste total destinados a usos não potáveis para a escola municipal, e 25,3 litros/dia por pessoa com 74,38% de usos não potáveis para a escola municipal. O vaso sanitário foi um dos responsáveis pelos maiores consumos de água, com 19,60% e 29,79% dos usos totais, respectivamente, nas escolas Municipal e Estadual.

Ywashima (2005) avaliou o consumo típico de água pelos usuários de 122 escolas das redes, municipal e estadual na cidade de Campinas, São Paulo. A investigação da equipe da pesquisadora consistiu em visitas às escolas selecionadas, para a aplicação de questionários, respondidos por um total de 1.376 usuários das escolas entre alunos, professores e funcionários, bem como para o preenchimento de planilhas de levantamento.

A pesquisadora encontrou diferentes padrões de consumo entre as escolas, que foram agrupadas em três tipologias diferentes:

- Centro Educacional de Educação Infantil - CEMEI, que atende a crianças de 3 meses a 4 anos, em período integral;
- Escola Municipal de Educação Infantil - EMEI, que atende a crianças de 4 a 6 anos em período parcial (matutino e vespertino);
- Escola Municipal de Ensino Fundamental - EMEF, que atende a alunos de 6 a 14 anos, divididos em três períodos: matutino (7h às 11h), intermediários (11h às 15h) e vespertino (15h às 19h).

A tipologia com maior consumo diário de água em litros por dia foi a das escolas que atendem ao ensino fundamental, que também é a tipologia que mais consome água para os

fins consideráveis como não potáveis (bacias sanitárias, mictórios e torneiras de serviço). A relação completa entre o consumo e a taxa destinada a fins não potáveis para cada tipologia está disponível na Tabela 2-2.

Tabela 2-2: Consumo diário estimado das escolas da rede pública da cidade de Campinas.

| Tipologia da escola | Consumo diário estimado (L) | % do consumo destinado a fins não potáveis |
|----------------------------|--|---|
| CEMEI | 4.320 | 29,56% |
| EMEI | 3.450 | 68,46% |
| EMEF | 13.238 | 82,69% |

Fonte: (YWASHIMA, 2005).

Marinoski (2007) estudou os usos finais da água no Centro de Tecnologia em Automação e Informática do SENAI/SC. A autora realizou medições de vazão dos aparelhos existentes e avaliou as faturas de consumos de água. Foram feitas também entrevistas com usuários dos grupos de amostra para verificar a frequência e tempo médio de utilização dos aparelhos, e identificar as atividades que apresentam maior consumo de água

A autora chegou a um consumo médio total de 50% para os vasos sanitários, 9,3% para mictórios, 0,4% para irrigação, 1,7% para lavação de carros e calçadas, e 4% para limpeza, contabilizando 65% da água consumida destinada a fins não potáveis.

Werneck (2006), ao pesquisar o volume de água consumido pelas Instituições de Ensino do município Barra do Piraí – RJ no ano de 2004, encontrou dificuldades para ter acesso a estes dados, que muitas vezes não eram registrados. O autor encontrou as medições de volume mensal consumido em apenas 30 das 77 IE do município. As 47 IE que não possuíam dados são casos de IE que consomem água não tratada; uma instituição que consome água fornecida pelo município vizinho; IE com fornecimento por pena d'água, não tendo seus consumos mensurados; e IE cujos registros de consumo não foram encontrados no sistema informatizado da Prefeitura (Tabela 2-3).

O autor identificou que a maior carência de dados correspondia às instituições municipais, atribuindo esta situação a problemas administrativos que levam os registros a não serem feitos ou a se perderem, enfatizando que esta falta de controle sobre o consumo pode ser responsável por grandes desperdícios de água no município (WERNECK, 2006).

Tabela 2-3 Situação das Instituições de Ensino de Barra do Piraí - RJ quanto ao consumo de água no ano de 2004.

| Instituições de ensino | Municipais | Estaduais | Particulares | Totais |
|-----------------------------------|-------------------|------------------|---------------------|---------------|
| Medição de consumo por hidrômetro | 3 | 17 | 10 | 30 |
| Fornecimento por pena d'água | 6 | 1 | 6 | 13 |
| Não pagam pela água consumida | 10 | 2 | - | 12 |
| Consumo independente da SMAE | 3 | - | 1 | 4 |
| Total de registros | 22 | 20 | 17 | 59 |
| Instituições sem registro | 14 | 1 | 3 | 18 |
| Total de instituições | 36 | 21 | 20 | 77 |

Fonte: (WERNECK, 2006), com dados da SMAE de Barra do Piraí (RJ).

O autor não considerou possível identificar um padrão de consumo a partir dos dados obtidos, pois os dados não seguiam qualquer padrão, havendo ocorrências de 0,09 litro/aluno/mês até 170,60 litro/aluno/mês (Tabela 2-4). O autor (2006) concluiu que para ser possível conseguir uma comparação adequada do consumo de água potável entre as escolas, seria necessário levantar mais alguns dados das edificações e instalações hidráulicas, como número de funcionários, de alunos alocados, caráter do público (ensino infantil, fundamental ou médio) e especificidades de algumas instituições, como as religiosas, que também servem de residência a pessoas vinculadas. Ele sugeriu mensurar, ainda, a quantidade de áreas verdes e a existência de piscinas, além de tabular os equipamentos hidrossanitários.

Tabela 2-4: Relação entre o número de alunos das escolas e o consumo de água, em 2004.

| INSTITUIÇÕES DE ENSINO | NÚMERO DE ALUNOS | CONSUMO MÉDIO DE ÁGUA (m³/mês) | MÉDIA PER CAPITA (litros/aluno/dia) |
|----------------------------------|-------------------------|--|--|
| MUNICIPAIS | | | |
| CIEP428 - Profa. Mariana Coelho | 800 | 193,83 | 11,01 |
| E. M. Gervásio Alves Pereira | 218 | 34,5 | 7,19 |
| J. I. Profa. Miretta B. E. Souza | 132 | 11 | 3,79 |
| ESTADUAIS | | | |
| C. E. Adelino Terra | 787 | 89,17 | 5,15 |
| C. E. Barão do Rio Bonito | 1.726 | 285 | 7,5 |
| C. E. Nilo Peçanha | 2.439 | 5 | 0,09 |

| INSTITUIÇÕES DE ENSINO | NÚMERO DE ALUNOS | CONSUMO MÉDIO DE ÁGUA (m³/mês) | MÉDIA PER CAPITA (litros/aluno/dia) |
|---|-------------------------|--|--|
| CIEP 287 Angelina T. N. Sym | 821 | 210,33 | 11,64 |
| CIEP 310 Profa. Alice Aiex | 979 | 248,92 | 11,56 |
| E. E. Dr. Alvaro Rocha | 517 | 85,25 | 7,49 |
| E. E. Helio Cruz de Oliveira | 147 | 47,66 | 14,74 |
| E. E. Isa Fernandes | 499 | 49,67 | 4,52 |
| E. E. Joaquim de Macedo | 1.533 | 61 | 1,81 |
| E. E. Marieta V. C. Coelho | 371 | 5 | 0,61 |
| E. E. Padre Antonio Pinto | 243 | 90,25 | 16,88 |
| E. E. Paulo Fernandes | 504 | 56,33 | 5,08 |
| E. E. Profa. M ^a . Nazareth S. Silva | 448 | 5 | 0,51 |
| E. E. Prof. Imar de Carvalho | 431 | 52,25 | 5,51 |
| E. E. Prof. Jehovah Santos | 221 | 23,58 | 4,85 |
| E. E. Prof. José Antonio M. Vinagre | 303 | 121,5 | 18,23 |
| J. I. Prof. Murilo Braga | 250 | 66,75 | 12,14 |
| PARTICULARES | | | |
| Cent. de Ativ. Manoel de C. - SESI | 131 | 491,67 | 170,6 |
| Colégio Lápis de Cor | 176 | 40 | 10,33 |
| Jardim E. Rosângela Silveira | 99 | 5 | 2,29 |
| Centro E. Delphim Nogueira | 162 | 15,83 | 4,44 |
| Colégio C. Cândido Mendes | 699 | 130,92 | 8,51 |
| Instituto de E. N. S. Medianeira | 595 | 350,33 | 26,76 |
| Centro E. Chalet Aquarela | 115 | 5 | 1,97 |
| Cent. de E. e A. Leonardo de Vinci | 52 | 16,58 | 14,49 |

Fonte: (WERNECK, 2006), com dados da SMAE de Barra do Pirai (RJ).

2.2.1.4 Dados pluviométricos

Consta na NBR 15527 que *“Incluem-se na concepção os estudos das séries históricas e sintéticas das precipitações da região onde ser feito o projeto de aproveitamento de água de* (ABNT, 2007).

Lopes *et al.*, (2016) atentam para o fato de que a regularidade das precipitações interfere no tamanho do reservatório mais adequado. Cidades em que o provimento de chuvas tende a ser uniforme ao longo do ano retornam para os mesmos dados de demanda, volumes ideais de reservatório menores do que cidades com provimento de chuvas irregular. Isto acontece porque no caso de localidades com períodos de estiagem relativamente grandes é

necessário um maior volume de reservação para estocar água entre uma chuva e outra (LOPES; MIRANDA, 2016).

Segundo Werneck (2006), é melhor trabalhar com registros diários de volume de chuva precipitada, pois isto traz maior precisão na análise. A simulação diária de contribuição para o reservatório abre a possibilidade de avaliar o quanto de água foi armazenada e o quanto foi utilizado por dia.

De acordo com Mitchell (2008), é preferível utilizar séries longas de precipitação. Isto é por conta do padrão irregular de períodos chuvosos e secos dentro de um intervalo temporal. O tamanho do registro de precipitação ainda é significativo, mesmo que a precipitação média anual seja constante para os diferentes períodos de simulação.

2.2.1.5 Coeficiente de *runoff*

O coeficiente de *runoff* é aquele que representa a relação entre o volume total de escoamento superficial e o volume total precipitado, variando conforme a superfície (ABNT, 2007).

Muito tem sido estudado sobre este coeficiente de aproveitamento. Tomaz (2003) encontrou em suas pesquisas coeficientes de *runoff* que vão de 0,67 a 0,95, variando com a localidade, como pode ser observado no Quadro 2-2:

Quadro 2-1: Coeficientes de *runoff* adotados para aproveitamento de águas de chuvas em diferentes localidades.

| | |
|------------------------------|------|
| Flórida | 0,67 |
| Alemanha | 0,75 |
| Austrália | 0,80 |
| Arnold Pacey e Adrian Cullis | 0,80 |
| Ilhas Virgem | 0,05 |

Fonte: Tomaz (2003).

O material com o qual é confeccionada a superfície de escoamento também afeta a forma como a água corre, alterando a taxa de *runoff*. Tomaz (2015) sugere a adoção dos coeficientes apresentados no Quadro 2-3 para diferentes tipos de material de cobertura.

Quadro 2-2: Coeficientes de *runoff* a serem adotados em superfícies de materiais variados

| | |
|----------------------------|------------|
| Telhas cerâmicas | 0,8 a 0,9 |
| Telhas esmaltadas | 0.9 a 0.95 |
| Telhas corrugadas de metal | 0,8 a 0,9 |
| Cimento amianto | 0,8 a 0,9 |
| Plástico | 0,9 a 0,95 |

Fonte: Tomaz (2015).

Não existe, todavia, consenso entre todos os autores na determinação desse coeficiente de escoamento. Ele é geralmente obtido por estimativas disponíveis na bibliografia. Estas estimativas geralmente constituem-se de uma faixa de variação para cada tipo de material e um valor mais provável (DORNELLES, 2012).

Dornelles (2012) levantou as faixas de coeficiente de *runoff* estimadas por diferentes autores. Este levantamento está no Quadro 2-4.

Quadro 2-3: Faixas de coeficiente de *runoff* estimadas por diferentes autores.

| | |
|-------------------------------------|-------------------|
| Urbonas e Stahre, 1993 ¹ | Entre 0,85 e 0,95 |
| Hari, 2005 ² | Entre 0,75 e 0,90 |
| Tomaz, 2003 ³ | 0,80 |
| Waterfall, 1998 ⁴ | Entre 0,90 e 0,95 |

Fonte: Dornelles (2012).

Dada a variabilidade do coeficiente, cabe ao projetista ponderar qual coeficiente é o mais adequado em função dos fatores de risco. Para o aproveitamento da água para consumo, por exemplo, o valor a favor da segurança deve ser o mais baixo, e para atuar como um

¹ Urbonas, B.; Stahre, P., 1993, Stormwater Best Management Practices and Detention. PrenticeHall, Englewood Cliffs, New Jersey, 450p.

² Hari J.; Krishna, P. E., The Texas Manual on Rainwater Harvesting, Texas Water Development Board, ed.3a, Austin/Texas – Estados Unidos, 2005.

³ Tomaz, P., Aproveitamento de Água de Chuva: para áreas urbanas e fins não potáveis. São Paulo, Ed. Navegar, 2a Edição, 180 p., 2003.

⁴ Waterfall, P. H., Harvesting Rainwater for Landscape Use, University Arizona Cooperative, 1998. Disponível em: <http://www.azwater.gov> – Acessado em: 20/07/2010.

dispositivo de redução de alagamentos, por exemplo, o valor a favor da segurança é o mais alto (DORNELLES, 2012).

2.2.1.6 Superfície de captação

A área de captação trata-se da área em metros quadrados projetada na horizontal da superfície impermeável da cobertura onde a água é captada (ABNT, 2007).

Áreas maiores fornecem uma maior proporção de volume coletado por ocorrência de precipitação. Isto significa que nos sistemas com áreas maiores, é maior a probabilidade de que uma única chuva consiga armazenar um estoque suficiente para prover água até a chuva seguinte, sendo necessários menores volumes de reserva. Este fator se torna tão relevante quanto maiores forem os períodos de retorno na localidade de interesse (WERNECK, 2006).

Quanto maior é a área do telhado e a demanda diária de água da chuva, maior é o potencial de economia de água potável. Para grandes áreas de coleta, a relação entre o aumento da demanda de água de chuva e o aumento do volume do reservatório ideal não é linear (LOPES; MIRANDA, 2016).

A qualidade da água captada é determinada pela área de coleta (GROUP RAINDROPS, 2002), então o fim a que se destina o aproveitamento está condicionado ao grau de contaminação que a área de captação oferece. Coberturas frequentadas por animais e pessoas, ou locadas próximas a árvores decíduas terão grau de contaminação maior que coberturas que não são expostas a estas fontes de agentes contaminantes. Estão apresentadas no Quadro 2-5 algumas áreas de captação possíveis, bem como a utilização recomendada pelo autor para o destino da água advinda de cada uma delas.

Quadro 2-5: Variação da qualidade da água da chuva devido à área de coleta.

| Grau de Pureza | Área de coleta das águas pluviais | Utilização das águas pluviais |
|-----------------------|---|--|
| A | Telhado (Locais não frequentados por pessoas e animais) | Vaso sanitário, regar plantas e, se purificadas, são potáveis para o consumo |
| B | Telhado (Locais frequentados por pessoas ou animais) | Vaso sanitário e regar plantas. Não própria para consumo |
| C | Jardins artificiais, estacionamentos | Necessário tratamento |

| | | |
|---|---|-----------------------|
| D | Estradas, viadutos, ferrovias e rodovias elevadas | Necessário tratamento |
|---|---|-----------------------|

Fonte: Group Raindrops (2002).

É essencial que a superfície não seja fabricada com material tóxico, nem revestida com pinturas à base de cromo ou chumbo (PMF, 2018).

2.2.2 Dispositivos de aprimoramento da qualidade da água de chuva captada

A qualidade requerida da água de chuva varia conforme sua finalidade. As águas captadas nos telhados dos edifícios de áreas urbanas devem ser aproveitadas para fins não potáveis, como 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, 2007).

Os elementos químicos presentes na água da chuva variam de acordo com a localização geográfica, vegetação e proximidade de fontes poluidoras. Nas regiões próximas ao oceano, a chuva tende a conter sódio, magnésio, cloro e cálcio, por exemplo. Já nas áreas distantes do litoral, é possível encontrar na chuva partículas de sílica, alumínio, ferro e elementos de origem biológica como nitrogênio, fósforo e enxofre. Em áreas rurais, os pesticidas e produtos químicos podem causar contaminação da água de chuva enquanto esta atravessa a atmosfera (TOMAZ, 2003). A contaminação microbiológica da água de chuva advinda diretamente da atmosfera é muito rara (ANDRADE NETO, 2003).

A qualidade e a segurança sanitária das águas de cisternas de aproveitamento pluvial dependem, principalmente, das condições da superfície de captação e da proteção sanitária do tanque (ANDRADE NETO, 2003). Tomaz (2015) salienta o fato de que na atualidade ainda há conhecimento limitado sobre acúmulo de contaminantes e poluentes em telhados.

Segundo May (2009), o principal requisito para a segurança no uso de um sistema de aproveitamento pluvial seria a determinação de padrões mínimos de qualidade da água para fins não potáveis.

Todavia, hoje não existe um padrão de qualidade brasileiro que determine especificamente os parâmetros requeridos para cada finalidade, individualmente (TESTON *et al.*, 2018). A portaria n. 2914/2011, do Ministério da Saúde, determina os padrões de qualidade para a água potável; e a NBR 5227 apresenta parâmetros de qualidade para água de chuva coletada de telhados para usos não potáveis em geral. Estes parâmetros estão no Quadro 2-5:

Quadro 2-4: Parâmetros de qualidade de água de chuva para usos restritivos não potáveis.

| Parâmetro | Análise | Valor |
|---|-----------|--|
| Coliformes totais | Semestral | Ausência em 100mL |
| Coliformes termotolerantes | Semestral | Ausência em 100mL |
| Cloro residual livre ^a | Mensal | 0,5 a 3,0mg/L |
| Turbidez | Mensal | <2,0uT ^b , para usos menos restritivos |
| | | <5,0uT |
| Cor aparente (caso não seja utilizado nenhum corante, ou antes da sua utilização) | Mensal | <15uH ^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 | | |

Fonte: ABNT (2007).

Vem crescendo no mercado nos últimos anos a diversidade de dispositivos que têm como finalidade diminuir os agentes poluentes e contaminantes que atingem a água de chuva durante o processo de coleta e armazenamento.

Os primeiros dispositivos disponíveis no mercado nacional, e que ainda hoje representam uma fatia representativa neste mercado, são os de importação alemã. Isso porque aquele país possui um destacado estágio de desenvolvimento no manejo da água pluvial. Os dispositivos alemães básicos são: filtro, freio de água, extravasor e boia de sucção. Os maiores fabricantes alemães são dois: *3P Technik* e *Wisy* (TOMAZ, 2015).

Com a crescente popularização das práticas sustentáveis na construção no Brasil, algumas empresas nacionais especializadas em instalações hidrossanitárias criaram linhas específicas para tratamento de água de chuva, dentre as quais pode-se citar a *Ciclodaágua*, *Fibratec* e *ChoveChuva*

Além disso é possível, inclusive, utilizar filtros, freios d'água e dispositivos de descarte das primeiras águas (*first flush*), confeccionados *in loco* com insumos comuns de

construção (concreto, reservatórios de PVC e tubos e conexões simples de água fria) (VACARI, 2005; MAY, 2009; TESTON, 2012).

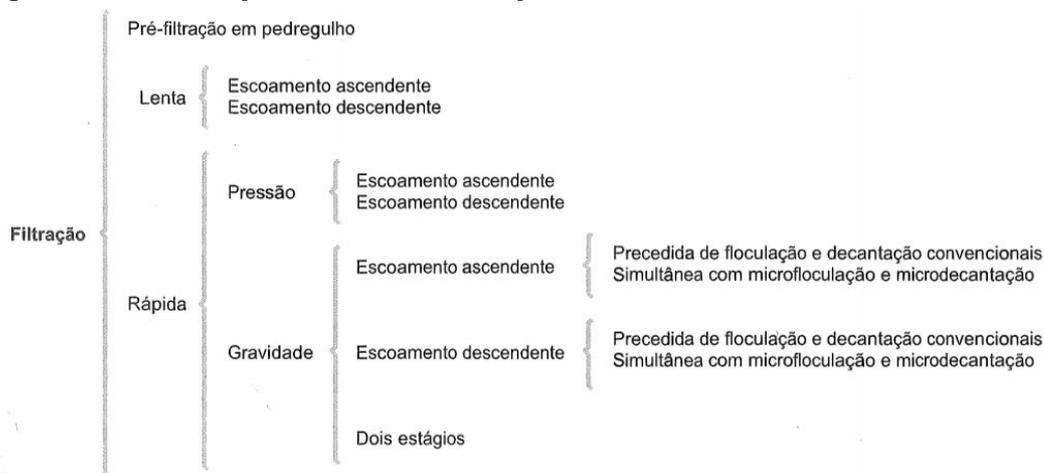
2.2.2.1 Dispositivos de eliminação de materiais sólidos

A água da chuva, ao atravessar a superfície de captação e alcançar as calhas, carrega consigo uma série de materiais sólidos que haviam se depositado nesta superfície durante o período entre duas chuvas consecutivas. Para evitar que estes sólidos comprometam a qualidade da água, pode-se lançar mão de dispositivos como filtros, telas, grades e peneiras.

Um filtro de águas pluviais destinadas ao aproveitamento não potável pode ser de construção caseira em alvenaria, PVC ou fibra de vidro, composto de material inerte de granulometria diferente, desde o mais fino até o mais grosso (EMBRAPA ¹, 2008 *apud* LISBOA, 2008).

Segundo Libânio (2010), a função primordial da filtração é remover as partículas responsáveis pela turbidez, cuja presença reduz a eficácia da inativação dos microrganismos patogênicos. Existem diversas formas de filtros que cumprem esta função, que o autor classifica de acordo com a Figura 2-2.

Figura 2-2: Classificação dos modos de filtração.



Fonte: Libânio (2010).

Segundo Tomaz (2015), os modos de filtração rápidos são mais complexos e frequentemente mais dispendiosos, sendo utilizados tipicamente em estações de tratamento e fornecimento de água potável. Ele aponta ainda que, para filtragem de água de chuva para fins

¹ EMBRAPA (2008). Disponível em: < <http://www.embrapa.br/> > Acesso em: 3 de setembro de 2008.

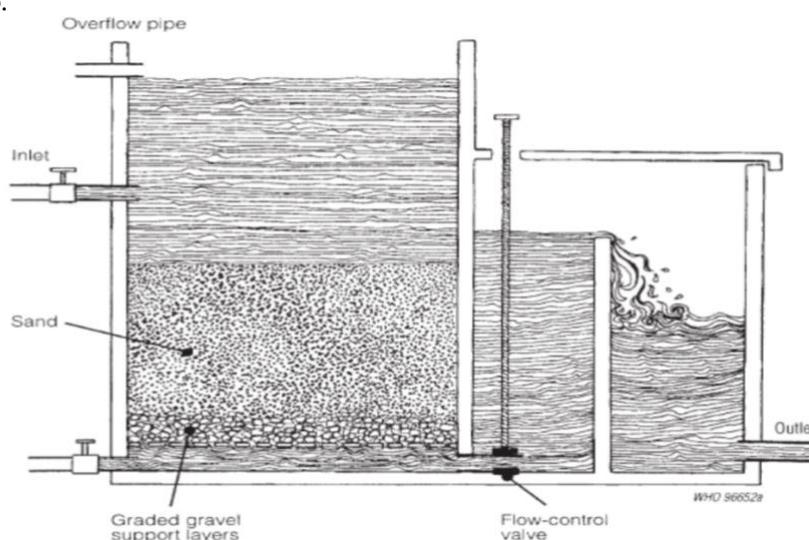
não potáveis, os filtros lentos de areia apresentam bons resultados. A Figura 2-3 contém um esquema do funcionamento de um filtro lento de areia.

As principais vantagens dos filtros lentos de areia são a remoção de bactérias do grupo coliforme em graus maiores que 3log, ou seja, mais de 99%; a remoção de parte da turbidez; o baixo custo de construção, nos casos em que o dimensionamento resulta em uma área pequena; a simplicidade de operação, não exigindo adição de produtos pré-tratamento; o fato de não apresentarem problemas em trabalhar sob fluxo intermitente; e o fato de que um caso de falha não acarreta em perda da qualidade da água tratada, apenas uma diminuição da produção e também uma boa remoção de microrganismos do reino dos protozoários (TOMAZ, 2015).

Em casos de maior exigência de qualidade da água não potável é possível a utilização do biofiltro, que se trata de um filtro lento de areia com a adição de cultura de bactérias que melhoram o grau de eliminação de turbidez e odor. Segundo Tomaz (2015), para ocorrer o correto funcionamento do filtro, sempre deverá haver uma lâmina de, no mínimo, 5cm de água sobre a areia, para que não se percam ou morram as bactérias.

As maiores desvantagens dos filtros lentos são a limitação da diminuição da turbidez da água bruta, que não é eliminada completamente, e a baixa taxa de filtração por unidade de tempo, que faz com que, em alguns casos, o filtro precise ocupar grandes áreas, nem sempre disponíveis (TOMAZ, 2015).

Figura 2-3: Esquema do funcionamento de um filtro típico lento de areia descendente com regime contínuo.



Fonte: Tomaz (2015).

Outra peculiaridade muitas vezes problemática na operação de filtros lentos de areia é que estes costumam apresentar problemas de manutenção (TOMAZ, 2003). Para Andrade

Neto (2003), os filtros de areia externos ou internos não são muito eficientes, a não ser que sejam razoavelmente grandes, porque não removem as sujeiras da linha de fluxo e requerem limpezas periódicas.

Tomaz (2003) sugere que para casos menos exigentes no que tange à qualidade da água de chuva fornecida, é possível melhorar a qualidade da água reservada com filtros de polietileno de 5 μ m de diâmetro, por exemplo. Existem filtros volumétricos autolimpantes que eliminam constantemente a sujeira da água coletada. A água limpa segue para o reservatório e a sujeira é conduzida diretamente para a rede pluvial (TOMAZ, 2003).

Segundo Andrade Neto (2003), é possível também utilizar grades ou peneiras autolimpantes, que removem as sujeiras mais grosseiras sem desperdício de água. Todavia estas são relativamente caras e requerem manutenção.

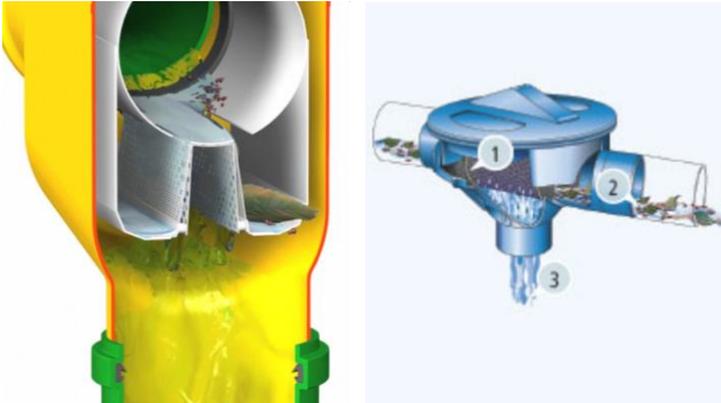
A maioria dos filtros disponíveis comercialmente segue o modelo que consiste em uma malha ou gradeado pelo qual a água captada passa e segue para o reservatório, e as sujeiras mais “grosseiras”, como penas de aves, folhas, galhos e lixo, são retidas e encaminhadas para a rede pluvial ou para um reservatório de detritos que precisa ser esvaziado periodicamente. A seguir são apresentados alguns modelos destes filtros.

Filtros lineares

Filtros lineares (Figura 2-4) são idealizados para serem embutidos em calhas e tubulações horizontais de captação. Funcionam por meio de uma malha: a água atravessa e desce para o reservatório e os detritos são retidos e seguem para a rede pluvial. Esses tipos de filtro necessitam de manutenção periódica, pois as malhas posicionadas na horizontal ficam obstruídas com mais facilidade (3P Technik, 2019).

Os fabricantes recomendam que seja feita a escovação nas malhas filtrantes, inclusive para desengordurar a trama no caso de regiões com muita incidência de pólen, já que este tende a engordurar e colmatar os orifícios da trama (WISY, 2019).

Figura 2-4: Princípio de funcionamento de filtros lineares.



Fonte: Wisy (2019) (à esquerda) e 3PTechnik (2019) (à direita).

Filtros de descida

Filtros de descida são idealizados para serem embutidos na tubulação vertical que conduz a água captada nas calhas (Figura 2-5). Podem funcionar por meio de vários princípios, como, por exemplo, o de peneiramento simples, o de adesão às paredes internas (em que a água, que tende a descer aderida às paredes da tubulação, adentra pelas camadas de malhas drenantes enquanto os detritos descem direto para a rede pluvial ou caixa de limpeza), o de cascata (em que a água passa por uma série de gradeamentos, acabando por atravessá-los enquanto os detritos passam diretamente para a rede pluvial ou caixa de limpeza).

Figura 2-5: Filtros por adesão às paredes internas (à esquerda), por malha de peneiramento (ao centro) e de cascata (à direita).

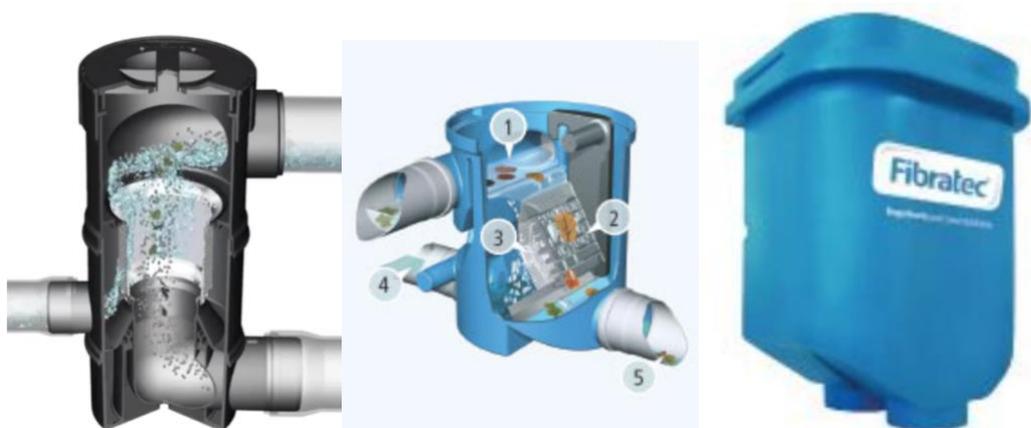


Fonte: Wisy (2019) (à esquerda), ChoveChuva (2019) (ao centro) e 3P Technik (2019) (à direita).

Filtros enterráveis

São filtros com maior capacidade que os anteriores e que podem filtrar áreas de até 500m². Devem ser posicionados entre a captação e tanques de descarte de primeiras chuvas, ou diretamente no reservatório (Figura 2-6). Podem funcionar pelo princípio de adesão às paredes internas, de cascata, ou com cesta de armazenamento de detritos, a qual deve ser esvaziada e limpa periodicamente (3P Technik, 2019).

Figura 2-6: Filtros de folhas enterráveis.

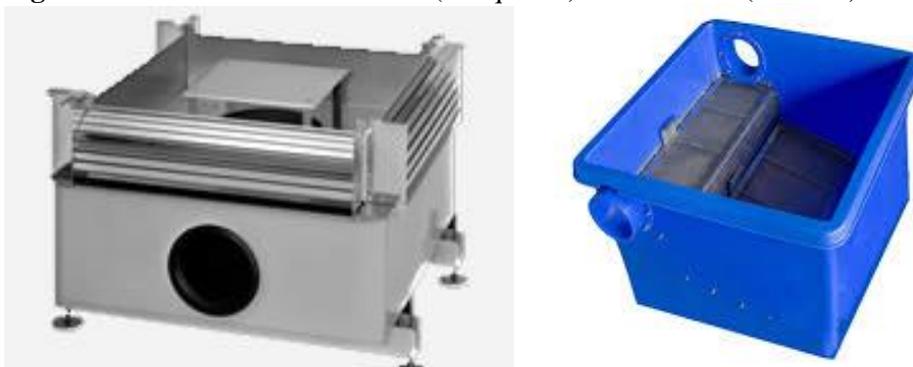


Fonte: Wisy (2019) (à esquerda), 3P Technik (2019) (ao centro) e Fibratex (2019) (à direita).

Filtros industriais

Existem também filtros especiais para áreas de captação maiores de 1.000m² podendo atingir até 5.000m² (Figura 2-7). Estes filtros são maiores e mais onerosos e, em alguns casos, precisam de instalações especiais para visita e inspeção (3P Technik, 2019).

Figura 2-7 Filtros industriais VF12 (à esquerda) e Ciclo 3000 (à direita)



Fonte: 3P Technik (2019) (à esquerda) e Ciclodáguas (2019) (à direita).

É importante observar que, apesar de os fabricantes destes dispositivos os denominarem como “filtros”, alguns autores consideram como “filtragem” apenas os

processos de remoção de sólidos desempenhados por filtros granulométricos, de forma que os processos por meio de gradeamento ou malha são por estes autores denominados como “peneiramento”, e não “filtração” (TOMAZ, 2015).

Vaccari (2005), em seu estudo da caracterização da água de chuva em Vitória - ES, montou um sistema de coleta e aproveitamento de água de chuva experimental utilizando como dispositivo de retenção de materiais sólidos duas telas: uma tela autolimpante, instalada no tubo de queda, e uma tela em Nylon (marca Tenil, malha 40/100 e fio 0,10) posicionada entre o reservatório de descarte de primeiras águas e o reservatório final. Os dispositivos utilizados pela autora são os da Figura 2-8.

A autora obteve com esse sistema resultados satisfatórios na qualidade da água, concluindo que, combinando o tratamento de eliminação de sólidos com o de eliminação de 1mm das primeiras águas, a mesma apresenta qualidade compatível para ser aproveitada para fins não potáveis (VACCARI, 2005).

Figura 2-8: Dispositivos de retenção de materiais sólidos.

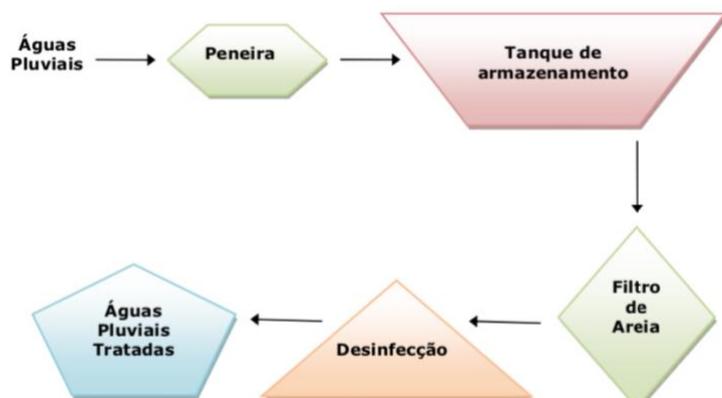


Fonte: Vaccari (2005).

May (2009), em seu estudo de caracterização e tratamento de águas pluviais para consumo não potável em edificações, construiu um sistema experimental de coleta, no qual utilizou uma peneira de malha de 0,28mm (produzida pela 3P Technik) e um filtro rápido de pressão de escoamento descendente (filtro de piscina da marca Jacuzzi, apresentado na Figura 2-10). Os motivos da escolha desse filtro, segundo a autora, foram a rápida instalação, custo

relativamente baixo, fácil operação e possível reaproveitamento futuro. O esquema de tratamento de água pluvial por ela concebido está na Figura 2-9.

Figura 2-9: Esquema do sistema experimental de coleta montado por May (2009).



Fonte: May (2009).

A autora não utilizou em seu sistema experimental um reservatório de descarte das primeiras águas e incluiu a desinfecção com hipoclorito de sódio no final do tratamento da água.

Figura 2-10: Filtro utilizado no sistema de coleta experimental.



Fonte: May (2009).

May (2005) constatou a presença de coliformes termotolerantes na amostra coletada no ponto do sistema após passar pelo peneiramento na malha de 0,28mm, concluindo que a

água proveniente apenas de peneiramento não atende aos requisitos da NBR 15527 (ABNT, 2007), que exige ausência de coliformes.

A presença de coliformes, porém, não foi detectada nas amostras coletadas no estágio final do tratamento. A turbidez da água também diminuiu entre o peneiramento e o tratamento completo, apresentando 3,3 unidades nefelométricas de turbidez (UNT) após peneiramento e 0,8 UNT após todo o tratamento. Não se pode atribuir a remoção dos coliformes e diminuição da turbidez apenas à filtração, já que não foram analisadas amostras no estágio após a filtração e antes da desinfecção com hipoclorito de sódio (MAY, 2009).

2.2.2.2 Descarte do escoamento inicial

De acordo com a NBR 15527, escoamento inicial é a água proveniente da área de captação suficiente para carregar a poeira, fuligem, folhas, galhos e detritos (ABNT, 2007).

De modo geral as partículas possuem diâmetro que variam de 3 μ m a 250 μ m, sendo 90% menores que 45 μ m. Devido a esse fato, os dispositivos atualmente vendidos no Brasil não retêm o *first flush*, pois a malha mais fina tem 270 μ m (0,27mm) (TOMAZ, 2015).

Para Tomaz (2015), há um acordo universal de que esta água inicial (denominada também como *first flush* ou carga de lavagem ou primeira água) deva ser jogada fora. O desacordo, segundo o autor, está em determinar qual é o volume ideal de água que deve ser jogado fora para que a qualidade da água atenda aos requisitos de qualidade para os usos não potáveis.

O Estado do Texas (EUA) recomenda que o *first flush* seja de 0,4mm a 0,8mm, ou seja, 0,4 litros/m² de telhado a 0,8 litros/m² de telhado. Na Flórida (EUA) usa-se comumente 0,4 litros/m² (TOMAZ, 2015). Para Jaques (2005), devem ser descartados os primeiros 10 minutos da água de chuva a fim de diminuir a concentração de partículas e elementos poluidores localizados nos telhados que podem prejudicar a qualidade da água.

Pela NBR 15527, na falta de dados, recomenda-se o descarte de 2mm da precipitação inicial. A norma recomenda que, caso seja instalado no sistema de aproveitamento pluvial, tal dispositivo deve ser automático (ABNT, 2007).

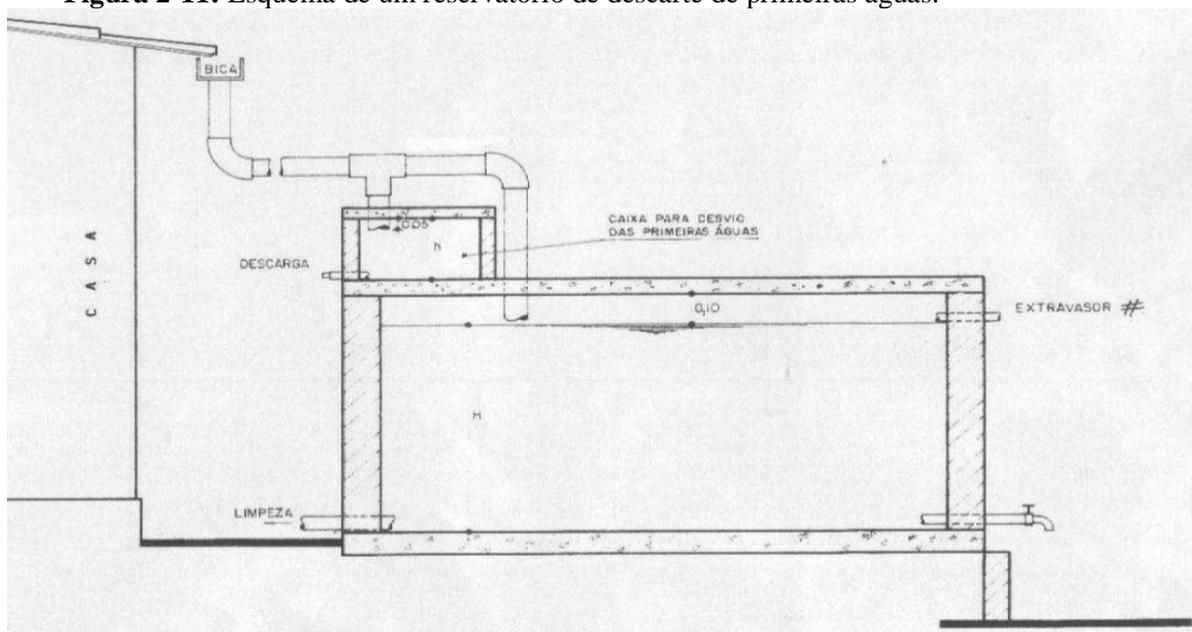
A alternativa de sistema para descartar essas primeiras águas apresentada na Figura 2-11 foi apontada por Andrade Neto (2003) como um dos dispositivos mais simples, baratos e eficazes. Trata-se de um tanque dimensionado com o volume que se deseja descartar posicionado acima da cisterna de acumulação. O princípio do dispositivo é a tubulação em

“T”, que conduz as primeiras águas para este pequeno tanque (caixa), até que este esteja totalmente cheio, e então a mesma tubulação em “T” conduz as próximas águas diretamente para o reservatório definitivo.

Segundo o autor, este “T” exerce a função de fecho hídrico, dispensando boias ou outros artifícios. É preciso que no nível inferior deste pequeno reservatório de descarte haja uma torneira, pois, após cessar a chuva, e conseqüentemente a entrada de água na cisterna, é necessário descartar esta água para que o tanque esteja vazio na próxima chuva (ANDRADE NETO, 2003).

Existe também o dispositivo com torneira de boia e o sistema de bola flutuante (LISBOA, 2008). Ambos seguem o mesmo princípio: as águas captadas seguem para um primeiro tanque dimensionado com o volume de águas que se deseja descartar, com a diferença de que este contém um elemento flutuante dentro.

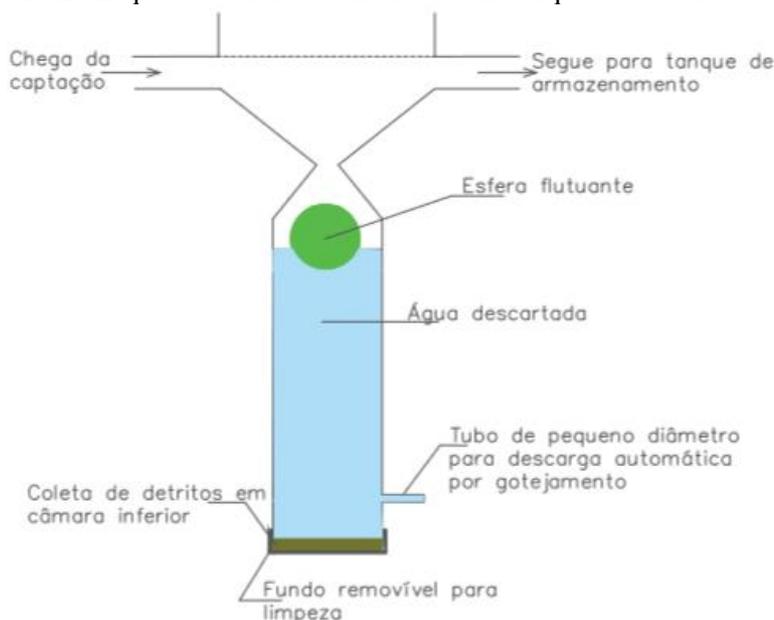
Figura 2-11: Esquema de um reservatório de descarte de primeiras águas.



Fonte: (ANDRADE NETO, 2003).

Assim, quando este tanque de descarte encher, o elemento flutuante deve obstruir a entrada de água, de forma que toda a água a entrar no dispositivo após ele encher será conduzida para o reservatório de acumulação (LISBOA, 2008). Na Figura 2-12 pode se verificar um exemplo de tanque de descarte com bola flutuante, com os elementos que o compõem.

Figura 2-12: Esquema de funcionamento de um tanque de descarte com bola flutuante.



Fonte: Adaptado de Lanka Rainwater Harvesting Forum (1998 *apud* TOMAZ, 2015).

Vaccari (2005) utilizou um reservatório com princípio de bola flutuante em sua análise dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água de chuva após eliminar os primeiros 0,5mm (40L), 1,0mm (80L) e 1,5mm (120L) de primeira chuva, respectivamente (Figura 2-13).

Figura 2-13: Tanque de descarte de primeiras águas.



Fonte: Vaccari (2005).

Segundo a autora, o peneiramento da água captada com malhas, combinado com a remoção de, pelo menos, 1,0mm de chuva, é suficiente para proporcionar à água qualidade compatível para ser aproveitada para fins não potáveis, atendendo inclusive à maioria dos

parâmetros estabelecidos em padrões de balneabilidade da Resolução CONAMA N. 357/05 para corpos de água doce (VACCARI, 2005).

May (2009) caracterizou amostras de águas pluviais coletadas no sistema de coleta e aproveitamento de águas pluviais do CIRRA - Centro Internacional de Referência em Reúso de Água, da Escola Politécnica da USP. Este sistema possui um reservatório de autolimpeza para o descarte de 900L (3,5mm) das primeiras chuvas (Figura 2-14).

Figura 2-14: Sistema experimental de coleta de águas pluviais.



Fonte: May (2009).

A autora coletou 30 séries de amostras entre janeiro e junho de 2006, encontrando parâmetros de cor aparente, turbidez, pH e teor de coliformes termotolerantes inteiramente dentro dos padrões da NBR 15527 (Tabela 2-5).

Tabela 2-5: Média dos resultados obtidos com as amostras de água.

| Parâmetros Analisados | Águas pluviais coletadas | | ABNT 15527/2007 |
|---|---------------------------------|----------------------|----------------------------|
| | Média | Desvio Padrão | |
| Cor Aparente (uC) | 3 | 1 | <15 |
| Turbidez (UNT) | 0,8 | 0,4 | <2 |
| pH | 6,1 | 0,5 | 6,0 a 8,0 |
| Coliformes termotolerantes (NMP/100mL) | Ausentes | - | Ausentes |
| Coliformes totais (NMP/100mL) | Ausentes | - | Ausentes |

Fonte: Adaptado de May (2009).

A autora ressalta, todavia, que o motivo da ausência de coliformes pode não ser necessariamente o descarte das primeiras águas, mas também o fato de a superfície de coleta ser uma cobertura de zinco. O zinco, sob o sol, pode chegar a elevadas temperaturas, levando à morte os microrganismos que eventualmente pudessem estar depositados sobre a cobertura. Assim, a autora recomenda que as águas coletadas de qualquer sistema de captação sejam caracterizadas antes de disponibilizar o seu consumo aos usuários.

2.2.2.3 Freio d'água

Com o tempo de operação do sistema de aproveitamento pluvial, partículas finas o suficiente para atravessar o peneiramento e/ou filtração se depositam no fundo dos reservatórios, formando uma lama fina, característica da decantação destes sedimentos (TOMAZ, 2003).

No fundo do reservatório, na extremidade da tubulação que vem das calhas, deverá existir um dispositivo que evite a turbulência das águas de chegada, de forma a não agitar o material sedimentado no fundo do reservatório para que este não se misture com a água a ser puxada para o abastecimento da edificação (MAY, 2009).

O freio d'água é um dispositivo que visa a desempenhar esta função (Figura 2-15). O princípio de seu funcionamento é basicamente redirecionar o fluxo, de forma que a água que chega da captação seja conduzida para o meio do reservatório, de forma a não movimentar as partículas assentadas no fundo (Figura 2-17). O diâmetro na saída do freio pode ser maior que o diâmetro na entrada, de forma a diminuir a velocidade da água que chega e, também, diminuir a agitação das partículas assentadas no fundo do reservatório. É possível, em

alternativa aos filtros comerciais, confeccionar um freio d'água utilizando tubos e conexões (Figura 2-16).

Figuras 2-15: Modelos comerciais de freio d'água.



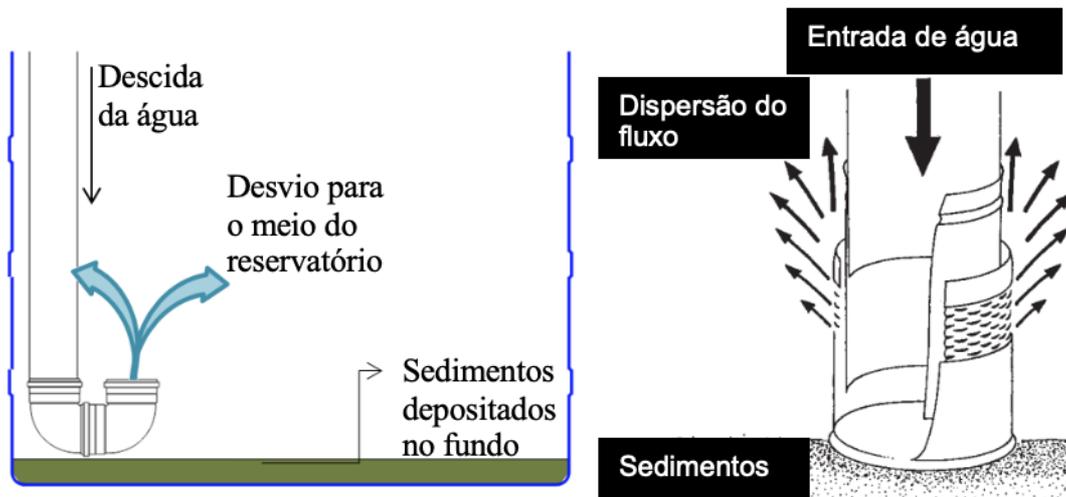
Fontes: 3PTechnik (2019) (à esquerda) e Wisy (2019) (à direita).

Figura 2-16: Freio d'água confeccionado *in loco* com tubos e conexões em PVC.



Fonte: GSD Engenharia.

Figura 2-17: Esquemas de funcionamento dos freios d'água.



Fontes: Elaboração própria (à esquerda) e adaptado de Wisy (2019) (à direita).

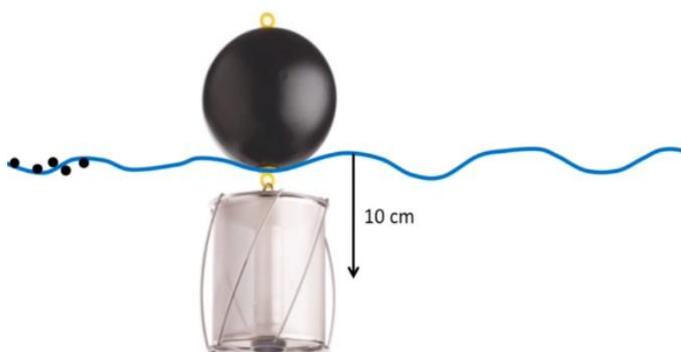
2.2.2.4 Boia para sucção

É conveniente que a água retirada do reservatório de acumulação para o consumo seja retirada de um nível cerca de, ao menos, 10 centímetros abaixo da superfície, pois assim a água coletada conterá menos sólidos em suspensão do que conteria caso fosse retirada do nível mais alto, e apresentará mais oxigenação do que teria se fosse retirada de níveis mais baixos (TOMAZ, 2015). A NBR 15527 (ABNT, 2007). Recomenda-se que a retirada seja feita a 15cm da superfície.

Para atender a esta condição, geralmente é usada uma mangueira de sucção presa a uma boia, de forma que esta acompanhe o nível da água e garanta que a água para consumo seja extraída sempre à mesma distância da superfície (Figura 2-18).

Existem dispositivos que possuem uma malha embutida no tubo de sucção, de forma a reter partículas que tenham chegado ao reservatório de acumulação, para que estas não sejam encaminhadas aos pontos de consumo (WISY, 2019).

Figura 2-18: Esquema de funcionamento de uma boia de sucção.



Fonte: Wisy (2019).

2.2.2.5 Cloração, ultravioleta e demais formas de tratamento de água pluvial

De acordo com a NBR 15527, para desinfecção da água pluvial, a critério do projetista, pode-se utilizar derivado clorado, raios ultravioleta, ozônio e outros. A norma também sugere que pode ser instalado, junto à bomba centrífuga, um dosador automático de derivado clorado, o qual convém ser enviado a um reservatório intermediário para que haja tempo de contato de, no mínimo, 30 minutos (ABNT, 2007).

Em aplicações onde seja necessário um residual desinfetante, deve ser usado derivado clorado. Quando utilizado o cloro residual livre, este deve estar entre 0,5mg/L e 3,0mg/L (ABNT, 2007).

Para Tomaz (2003), além dos peneiramentos, filtração e descarte inicial, um tratamento extra pode ser requerido em casos em que se deseje dar à água captada destinos mais nobres, o que não é normal (TOMAZ, 2003).

Para Jaques (2005), nas atividades em que a água tem apenas a finalidade de uso em descargas sanitárias, por exemplo, sua utilização pode ser feita, neste caso necessitando-se apenas de dispositivo para retirada de sólidos grosseiros que poderiam dificultar o funcionamento do sistema.

Para May (2009), sempre que um sistema de aproveitamento de águas pluviais for instalado, deve-se averiguar as condições do local de instalação e como estas condições tendem a impactar a qualidade da água coletada. A autora ressalva a necessidade de caracterizar as águas obtidas pela operação do sistema, e de garantir que estas atendam aos padrões mínimos de qualidade exigidos pela ABNT 15527 (2007). A autora ainda acrescenta:

Os dados históricos mostram um decréscimo nos níveis de exigência à medida que se acumula conhecimento sobre o assunto, sem que isso represente um proporcional aumento do risco à saúde de seus

usuários. Para o aproveitamento das águas pluviais é necessário efetuar o tratamento dessas águas e adequá-las aos padrões de qualidade compatíveis aos usos para os quais estas águas se destinarão, visando a diminuição dos riscos de saúde pública, a maior aceitabilidade dos usuários e a viabilidade técnica e econômica do empreendimento (MAY, 2009).

2.2.3 DISPOSITIVOS COMPLEMENTARES

2.2.3.1 Ligação com a rede de fornecimento potável

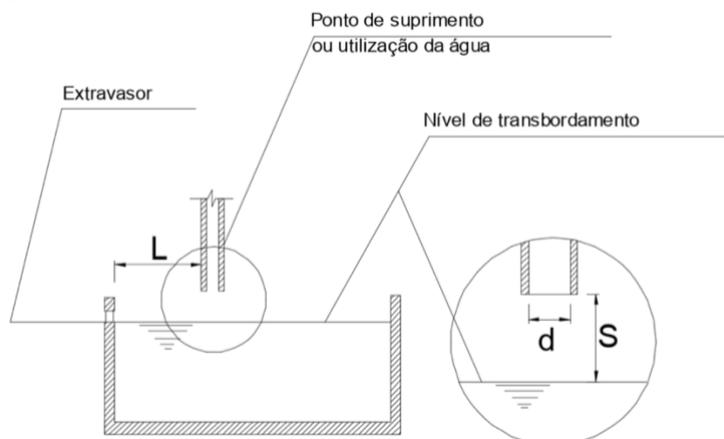
A NBR 15527 orienta que o reservatório, quando alimentado com água de outra fonte de suprimento de água potável, deve possuir dispositivos que impeçam a conexão cruzada (ABNT, 2007).

De acordo com a NBR 5626: Instalação predial de água fria (ABNT, 1998), o conceito de conexão cruzada se refere a: “Qualquer ligação física através de peça, dispositivo ou outro arranjo que conecte duas tubulações das quais uma conduz água potável e a outra água de qualidade desconhecida ou não potável”.

É imprescindível que o sistema utilizado elimine qualquer possibilidade de conexão cruzada entre a água de chuva do reservatório e a água potável da rede de fornecimento municipal, sob pena de contaminação da água potável (TOMAZ, 2003).

Segundo a NBR 5626, a estratégia de prevenção à conexão cruzada mais efetiva é a separação atmosférica padronizada, representada na Figura 2-19:

Figura 2-19 Esquema de separação atmosférica.



Fonte: NBR 5626 (ABNT, 1998).

A relação entre a altura S que separa o nível de transbordamento (o nível de colocação do extravasor) do ponto de suprimento de água potável é a expressa no Quadro 2-6

Quadro 2-5 Altura mínima da separação atmosférica.

| d mm | $S_{mín}$ mm |
|---------------------|-----------------|
| $d \leq 14$ | 20 |
| $14 \leq d \leq 21$ | 25 |
| $21 \leq d \leq 41$ | 70 |
| $41 < d$ | d |

A distância mínima L entre o ponto de suprimento ou de utilização de água e qualquer obstáculo próximo a ele é 3 vezes o diâmetro interno do ponto de suprimento ou de utilização.

Ou seja:

$$L \geq 3d$$

2.2.3.2 Extravasor

A finalidade do extravasor no reservatório de água pluvial é análoga àquela do extravasor de um reservatório de água potável: a de conduzir o excesso de água além da capacidade do reservatório que, porventura, possa entrar neste reservatório. A diferença essencial entre o extravasor de água potável e o de água pluvial é que, diferentemente do extravasor de água potável, que deve conduzir a água para um local visível, o extravasor do reservatório de água de chuva deve conduzir o excedente de água coletada para a rede pluvial.

Uma estratégia que pode ser utilizada nos extravasores é projetá-los de forma a desempenharem o *skimming effect*, ou “efeito desnatador” (Figura 2-20), que se trata da coleta de eventuais impurezas que, eventualmente, estejam flutuando na água do reservatório e que serão encaminhadas para a rede pluvial (WISY, 2019).

Figura 2-20 Extravasores com efeito “*skimming*” fabricados pela Wisy (à esquerda), Ciclodaágua (ao centro) e 3P Technik (à direita).



Fonte: Wisy (2019) (à esquerda), Ciclodaágua (2019) (ao centro) e 3P Technik (2019) (à direita).

2.3 PERÍODO DE RETORNO DO INVESTIMENTO

Na realidade dos países em desenvolvimento, em que os recursos econômicos são escassos, a viabilidade financeira é um dos fatores mais importantes a serem considerados em qualquer projeto, inclusive para o desenvolvimento de sistemas de aproveitamento de água de chuva (THIESEN, 2004). Assim, a maior parte dos estudos referentes à implantação de um sistema de aproveitamento pluvial realizados em diversas localidades e tipologias prediais envolve a determinação do período de retorno do investimento, ou seja, o período necessário para que o valor gasto inicialmente na implantação do sistema seja recuperado por meio da economia financeira promovida pela diminuição dos valores a pagar nas contas de água.

Anecchini (2005) determinou o potencial do aproveitamento da água de chuva na área urbana de Vitória-ES, com vistas ao seu aproveitamento para fins não potáveis em edifícios residenciais. A autora apresentou uma amortização do investimento em sistemas de aproveitamento de água de chuva que ocorre de forma lenta, num período de 8 a 10 anos para o caso de residências unifamiliares, sobretudo devido ao baixo custo da água potável localmente.

Fernandes *et al.* (2007) estudaram a viabilidade econômica de instalações de sistemas de coleta e aproveitamento de água de chuva no prédio do Laboratório de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental – LARHISA, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Os autores concluíram que é mais viável instalar um sistema de aproveitamento de água da chuva do que continuar adquirindo a água da concessionária.

Bona (2014) avaliou o potencial de utilização do aproveitamento pluvial em uma edificação multifamiliar de área urbana na cidade de Carazinho - RS para uso em vasos

sanitários, torneiras de jardins, lavagem de calçadas e automóveis. A amortização do investimento, segundo a autora, ocorre de forma lenta, num período de 7 a 10 anos.

Gonçalves (2004) realizou, em seu trabalho de conclusão de curso, um estudo de viabilidade econômica relativo à implantação de um sistema de aproveitamento pluvial no prédio de salas de aula do Centro Tecnológico – CTC, UFSC. Em se tratando do tempo de retorno do investimento, todas as alternativas estudadas apresentaram-se bastante semelhantes, com períodos entre 9 e 13 anos.

Marinoski (2007) simulou a instalação de um sistema de aproveitamento pluvial em uma instituição de ensino, o SENAI/Florianópolis. Também foi realizada uma análise de viabilidade econômica da implantação do sistema. Através de uma pesquisa de mercado, a autora chegou a um período de retorno do investimento de 4 anos e 10 meses.

Costa (2015), a fim de analisar a viabilidade econômica de um sistema de aproveitamento pluvial no Colégio Estadual de Campo Mourão, no Paraná, seguiu três perspectivas distintas de previsão de intensidade pluviométrica: otimista, pessimista e moderada. Ao final do estudo, foi comprovado que a implantação é viável se forem considerados todos os fatores envolvidos e a quantidade de água a ser aproveitada; e que haverá retorno financeiro dentro do período de 10 anos.

Júnior *et al.* (2008) estudaram a viabilidade econômica da utilização de um sistema de aproveitamento pluvial em João Pessoa-PB. Foram considerados três tipos padrão de residências, com níveis socioeconômicos distintos: um popular, um médio e um alto. Os autores apresentam que, para o atual cenário de tarifas, o aproveitamento de águas pluviais no âmbito predial é uma alternativa economicamente inviável para residências de padrão popular e médio. Já para o padrão alto, a alternativa se mostra economicamente viável, o que os eles atribuem ao valor mais elevado da tarifa e das quantidades maiores de águas pluviais utilizadas, sendo que o período de retorno encontrado variou entre 8,17 a 10,19 anos.

Lisboa (2008) analisou a viabilidade econômica relativa à implantação de um sistema de aproveitamento de água da chuva em uma instituição de ensino no município de Seara-SC. A autora simulou reservatórios construídos com dois materiais: ardósia e aço galvanizado. Os resultados comprovaram a viabilidade econômica do sistema, visto que foram encontrados períodos de retorno de 2 anos e 4 anos e meio para o reservatório em ardósia e em aço galvanizado, respectivamente.

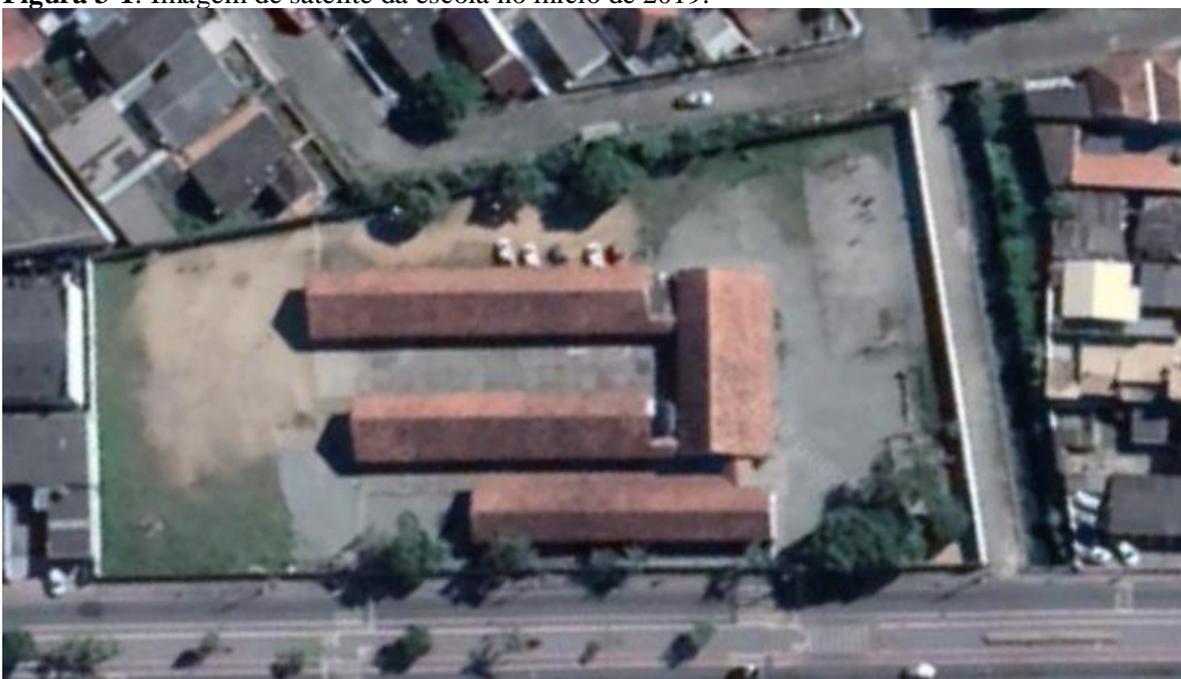
3 MÉTODO

Este capítulo apresenta a forma como foram coletados e utilizados os dados de entrada necessários para o dimensionamento do sistema de aproveitamento pluvial objeto deste estudo, bem como a análise da viabilidade econômica da instalação deste sistema.

3.1 ESCOLA DO ESTUDO

A escola utilizada como objeto deste trabalho é a Escola de Ensino Básico Prof^ª. Claudete Maria Hoffmann Domingos, localizada no bairro Jardim Eucaliptus, na cidade de Palhoça - SC. A instituição atendeu neste primeiro semestre de 2019 a 663 alunos, matriculados em 23 turmas entre o 1º e o 9º ano do Ensino Fundamental. Lá trabalham 45 funcionários, entre eles 34 professores. A Figura 3-1 contém uma imagem aérea da configuração atual da escola.

Figura 3-1: Imagem de satélite da escola no início de 2019.



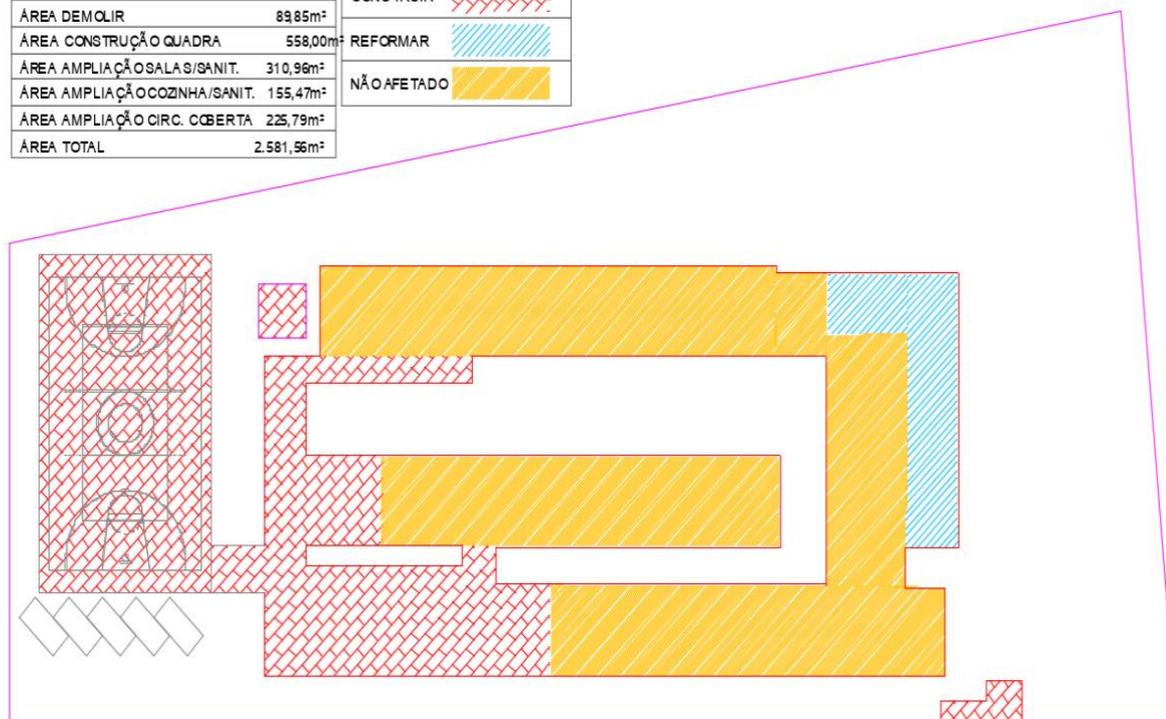
Fonte: Google Earth (2019).

A escola passa atualmente por um processo de reforma e ampliação (Figura 3-2), iniciado em março de 2019. A área construída já existente na escola, obtida em levantamento local, é de 1.418,43m². A área total prevista em projeto após a ampliação é de 2.581,56m².

Figura 3-2: Layout do projeto de reforma e ampliação da EEB Prof^a. Claudete Maria Hoffmann Domingos.

EEB CLAUDETE H DOMINGOS

| QUADRO ÁREAS | | LEGENDA | |
|-------------------------------|------------------------|-------------|---|
| ÁREA EXISTENTE | 1.418,43m ² | CONSTRUIR |  |
| ÁREA DEMOLIR | 89,85m ² | REFORMAR |  |
| ÁREA CONSTRUÇÃO QUADRA | 558,00m ² | NÃO AFETADO |  |
| ÁREA AMPLIAÇÃO SALAS/SANIT. | 310,96m ² | | |
| ÁREA AMPLIAÇÃO COZINHA/SANIT. | 155,47m ² | | |
| ÁREA AMPLIAÇÃO CIRC. COBERTA | 225,79m ² | | |
| ÁREA TOTAL | 2.581,56m ² | | |



Fonte: Secretaria de Estado da Educação de Santa Catarina - Diretoria de Infraestrutura (2018).

A ampliação da escola prevê a construção de uma quadra coberta, três salas de aula adicionais, dois banheiros para os alunos, dois banheiros para os professores, um banheiro para os funcionários e um laboratório, bem como o aumento do banheiro dos alunos já existente.

3.2 DIMENSIONAMENTOS

Nesta seção são apresentados os métodos utilizados neste trabalho para o dimensionamento dos elementos componentes de um sistema de aproveitamento pluvial para a edificação estudada.

3.2.1 Dimensionamento do reservatório

São considerados os dados de entrada necessários para o dimensionamento do reservatório:

- Área e material da superfície de captação;
- Dados Pluviométricos;
- Demanda de água da escola.

São considerados os dados de saída do dimensionamento:

- Potencial de economia de água potável, em m³/mês;
- Volume do reservatório que proporcionou o melhor potencial de economia.

3.2.1.1 Área e material da superfície de captação

A superfície impermeável de captação utilizada neste estudo foi o telhado da escola, juntamente com a cobertura da quadra de esportes a ser construída. Inicialmente, visava-se a utilizar apenas a cobertura da quadra de esportes, cuja projeção totaliza 618,61m². Todavia, ao longo da realização do trabalho esta área se mostrou pequena para atender à demanda de água de chuva, resultando em volumes de reservação relativamente altos e baixo retorno em potencial de economia de água potável. Assim, foi incluída a área da projeção das coberturas de todos os blocos previstos para a escola após a ampliação, que juntos somam aproximadamente 2.080,32m². Especificamente para este trabalho, consideraram-se as seguintes dimensões para a área de cobertura:

- As dimensões das coberturas existentes, medidas *in loco*;
- No caso dos blocos ampliados, que as coberturas mantenham o padrão de beirais e a inclinação das coberturas existentes;
- A cobertura da quadra executada de acordo com o projeto padrão para quadras poliesportivas de 27m x 16m elaborado pelo Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (MEC, 2015).

Tanto a cobertura da escola quanto a da quadra não apresentam ao seu redor quantidade significativa de árvores decíduas ou demais elementos que poderiam obstruir o sistema de drenagem, comprometendo a coleta de água.

3.2.1.1.1 *Coefficiente de runoff*

Como discutido na seção 2.2.1.5 - *Coefficiente de runoff*, não há um consenso a respeito da determinação de um coeficiente ideal de escoamento, sendo este geralmente obtido por estimativas disponíveis na bibliografia. Tais estimativas geralmente constituem-se de uma faixa de variação para cada tipo de material e um valor mais provável (DORNELLES, 2012).

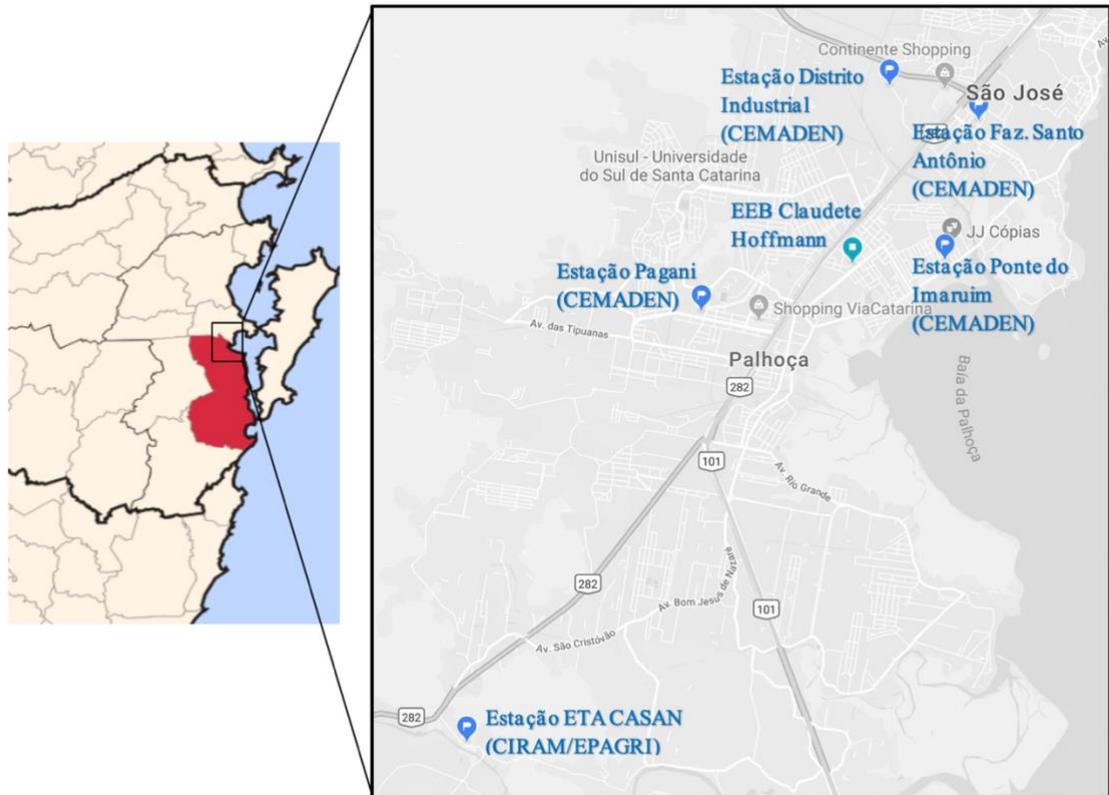
A superfície de captação considerada no presente trabalho constitui-se da cobertura da escola em telhas cerâmicas e da cobertura da quadra esportiva em telhas corrugadas de metal. Tomaz (2015) considera que o melhor valor a ser adotado de forma geral é de 0,8, de modo que o coeficiente utilizado neste dimensionamento será de 0,8.

3.2.1.2 Dados pluviométricos

Dentre os cinco pluviômetros em operação atualmente nas proximidades da escola, quatro são operados pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais - CEMADEN - e um pelo Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina - CIRAM. Os pluviômetros operados pelo CEMADEN, apesar de apresentarem maior proximidade geográfica com a edificação deste estudo, foram instalados recentemente, de modo que as séries registradas por estes contam em até 5 anos.

Como tratado na seção 2.2.1.3 - *Dados pluviométricos*, é preferível utilizar séries de precipitações mais longas. Assim optou-se por utilizar neste trabalho os volumes pluviométricos registrados do pluviômetro pertencente à Estação ETA CASAN Montante, que possui registros a partir de 1989. A Figura 3-3 apresenta a localização geográfica do município de Palhoça, e dentro deste a das estações pluviométricas citadas.

Figura 3-3: Estações pluviométricas próximas à escola.



Fonte: WikiCommons (à esquerda) e autoria própria, com base em dados da CIRAM e CEMADEN (à direita).

3.2.1.3 Demanda de água da escola

A demanda de interesse para o sistema de aproveitamento pluvial é a demanda de água não potável, que consiste em um percentual da demanda total. O valor de demanda não potável utilizado neste trabalho foi obtido, primeiramente, levantando-se junto à concessionária de água local o consumo total da escola em metros cúbicos para os meses de 2018; e sobre este consumo total foi aplicado o percentual estimado por meio de entrevistas aos usuários, referente à parcela do consumo utilizado para fins não potáveis.

3.2.1.3.1 Demanda total

Para levantar este dado, foram utilizadas as medições mensais expressas nas faturas de conta de água da escola, emitidas pela concessionária responsável pelo fornecimento na área, o Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto - SAMAE Palhoça. As faturas foram

acessadas diretamente no *site* da SAMAE com o número de matrícula da escola, fornecido pela diretoria da escola, sob autorização da Secretaria de Estado da Educação.

3.2.1.3.2 Demanda de água não potável

A forma escolhida para a obtenção dos usos finais foi a combinação de caracterização dos aparelhos hidráulicos e de aplicação de questionários sobre o uso da água com os usuários da escola. Este método de coleta é, dentro das opções viáveis, o que proporcionaria resultados mais acurados, de acordo com a literatura consultada. O modelo dos questionários aplicados encontra-se no APÊNDICE I deste trabalho.

Na impossibilidade de entrevistar todos os usuários da escola, já que parcela dos alunos se encontra nos estágios iniciais do Ensino Fundamental, o que poderia comprometer a qualidade das respostas dos questionários, foi utilizada uma amostra, cujo tamanho foi calculado pelo método de amostragem aleatória simples, apresentado por Barbetta (2014):

Inicialmente calcula-se uma primeira aproximação para o tamanho da amostra

$$n_0 = \frac{1}{E_0^2} \quad (3-1)$$

Em que:

n_0 é a primeira aproximação para o tamanho da amostra;

E_0 é o erro amostral tolerável.

Para obter o número de elementos na amostra, utiliza-se a relação:

$$n = \frac{N \times n_0}{N + n_0} \quad (3-2)$$

N é a o número total de elementos da população;

n é o número de elementos a ser usado na amostra

Assim, considerando-se uma população total de 663 alunos e 45 professores, para obter um erro amostral tolerável de 4%, recomendado por Barbetta (2014), a amostra de alunos considerada ideal seria de 322 alunos e 41 professores.

Os aparelhos que abastecem o consumo de água atualmente na escola são:

- 2 torneiras no banheiro dos meninos;
- 2 torneiras no banheiro das meninas;
- 1 torneira no banheiro masculino dos funcionários;
- 1 torneira no banheiro feminino dos funcionários;
- 4 bebedouros elétricos;
- 3 torneiras de serviço utilizadas como bebedouros pelos alunos;
- 2 torneiras de serviço utilizadas pela equipe de limpeza;
- 2 torneiras de cozinha;
- 1 torneira de copa;
- 3 bacias sanitárias no banheiro dos meninos;
- 3 bacias sanitárias no banheiro das meninas;
- 1 bacia sanitária no banheiro masculino dos funcionários;
- 1 bacia sanitária no banheiro feminino dos funcionários;
- 3 mictórios no banheiro dos meninos.

Para estimar a forma como a água é consumida, o consumo da escola foi separado em nove grupos:

- Consumo das torneiras do banheiro dos alunos;
- Consumo das torneiras do banheiro dos funcionários;
- Consumo dos bebedouros;
- Consumo das bacias sanitárias do banheiro dos alunos;
- Consumo das bacias sanitárias do banheiro dos funcionários;
- Consumo dos mictórios;
- Consumo na cozinha;
- Consumo com limpeza - áreas cobertas;
- Consumo com limpeza - áreas descobertas.

Apesar de o consumo de água potável não poder ser substituído por água pluvial – razão pela qual a água usada para fins potáveis não é o foco de interesse deste estudo –, este consumo também será estimado, para que a contabilização dos consumos potável + não potável = consumo total seja depois confrontada com o consumo total expresso nas faturas de

água, e assim se possa verificar a validade da estimativa realizada por meio dos questionários e medição de vazões.

Consumo estimado das torneiras do banheiro dos alunos e dos funcionários

O consumo das torneiras foi contabilizado de forma separada para o banheiro dos alunos e dos funcionários porque os modelos das torneiras em cada tipo de banheiro diferem entre si, de forma que suas vazões também diferem.

Para estimar o consumo das torneiras, foi solicitado aos usuários da escola que estimassem quantas vezes utilizam a torneira por semana e quanto tempo em média mantêm a torneira aberta a cada uso.

Assim, o cálculo utilizado para levantar o consumo de água nas torneiras dos alunos foi:

$$V_{torneiras} = Q \times t \quad (3-3)$$

Onde:

$V_{torneiras}$ é o volume mensal estimado de consumo pelas torneiras;

Q é a vazão média das torneiras, medida in loco;

t é o tempo mensal total em que a torneira fica aberta.

O tempo mensal total em que a torneira fica aberta t é calculado por:

$$t = \left(\frac{\sum(t_n \times n)}{N_a} \right) N_p \quad (3-4)$$

Onde:

t é o tempo mensal em que a torneira fica aberta;

n é o número de vezes que cada indivíduo da amostra usa a torneira no mês (dado obtido no questionário);

t_n é o tempo que o indivíduo da amostra mantém a torneira aberta por uso (dado obtido no questionário);

N_a é o número de indivíduos da amostra;

N_p é a população total.

Consumo estimado dos bebedouros

Há na escola um total de quatro bebedouros. Visando a obter o volume de consumo, foi solicitado no questionário que os usuários da escola estimassem quantas vezes por semana utilizam o bebedouro e quantos copos bebem por vez.

Assim o consumo total mensal proveniente dos bebedouros é:

$$V_{bebedouros} = \left(\frac{\sum V_{amostra}}{N_a} \right) N_p \quad (3-5)$$

Onde:

$V_{bebedouros}$ é o volume mensal de água consumida dos bebedouros da escola;

$\sum V_{amostra}$ é somatório dos volumes que cada indivíduo da amostra bebe ao mês (dado obtido no questionário);

N_a é o número de indivíduos da amostra;

N_p é a população total.

Consumo estimado das bacias sanitárias e mictórios

Visando a levantar o consumo das bacias sanitárias e mictórios, foi perguntado aos indivíduos da amostra quantas vezes por semana utilizam estes aparelhos. Como há modelos diferentes de bacias sanitárias nos banheiros, foi considerado um volume médio de água liberado a cada descarga.

Assim, o consumo estimado nos aparelhos sanitários é:

$$V_{vaso\ sanitário} = \left(\frac{\sum (Q_{vaso\ sanitário} \times n)}{N_a} \right) N_p \quad (3-6)$$

Onde:

$V_{vaso\ sanitário}$ é o volume mensal consumido nos vasos sanitários;

$Q_{vaso\ sanitário}$ é o consumo médio por descarga;

n é o número de vezes em que cada indivíduo da amostra usa o vaso sanitário no mês (dado obtido no questionário);

N_a é o número de indivíduos da amostra;

N_p é a população total.

Consumo estimado na cozinha

Na EEB Prof^a. Claudete Maria Hoffmann Domingos, são servidas as mesmas refeições determinadas para toda a rede estadual de ensino, no total de duas por dia, uma em cada turno (matutino e vespertino). Esta refeição pode se constituir de um lanche (biscoitos, frutas, iogurtes etc.) ou de uma refeição completa (macarronada, risoto, arroz com feijão e carne etc.) alternando-se entre lanche e refeição ao longo dos dias. A estimativa do consumo de água pela torneira da cozinha foi feita por meio de entrevistas com as três colaboradoras responsáveis pela cozinha da escola e pela medição *in loco* da vazão média das duas torneiras ali utilizadas:

$$V_{cozinha} = 4 \times (Q_{torneiras} \times t_{alimentos} \times t_{louça}) \quad (3-7)$$

Onde:

- $V_{cozinha}$ é o volume mensal estimado de consumo das torneiras da cozinha;
- $Q_{torneiras}$ é a vazão média medida nas torneiras da cozinha;
- $t_{alimentos}$ é o tempo estimado em segundos em que a torneira fica aberta por semana para higienização de alimentos;
- $t_{louça}$ é o tempo estimado em segundos em que a torneira fica aberta por semana para lavagem da louça.

O volume semanal estimado é multiplicado por quatro semanas no mês, chegando-se ao volume mensal.

Consumo estimado na limpeza

Há, na escola, três funcionários encarregados da limpeza. O levantamento dos volumes gastos na limpeza das áreas da escola foi feito por meio de entrevistas com estes três funcionários e acompanhamento das suas atividades durante os três dias da visita à escola. Os questionários aplicados aos profissionais de limpeza da escola encontram-se no APÊNDICE I.

3.2.2 Dimensionamento das instalações de coleta pluvial

De acordo com a NBR 15527, a concepção do projeto do sistema de coleta de água de chuva deve atender à norma ABNT NBR 10844 - Instalações prediais de água pluviais, atentando para o cuidado de que não deve ser utilizada caixa de areia, e sim caixa de inspeção. Assim, o dimensionamento das calhas e condutores de água pluvial neste estudo foi feito de acordo com a prática preconizada por esta norma.

3.2.2.1 Calhas

A norma orienta que a vazão de projeto a ser considerada para dimensionamento das calhas e condutores deve ser obtida pela seguinte relação:

$$Q_1 = \frac{I \times A}{60}$$

Onde:

- Q_1 é a vazão de projeto, em L/min;
 I é a intensidade pluviométrica, em mm/h ;
 A é a área de contribuição, em m².

O projeto de reforma e ampliação da escola disponibilizado pela Diretoria de Infraestrutura da Secretaria de Estado da Educação de Santa Catarina não continha desenho da planta de cobertura, de forma que para este dimensionamento foram medidas *in loco* as inclinações das coberturas existentes e concebida uma planta de cobertura, assumindo-se que:

- As coberturas das novas salas de aula, incluídas pela ampliação da escola, seguirão o mesmo padrão de material e inclinação das coberturas atuais;
- A cobertura da quadra de esportes prevista seguirá o padrão de material e geometria em arco para quadras poliesportivas de dimensões 27m x 16m, elaborado pelo Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (MEC, 2015).

As calhas dimensionadas devem oferecer uma capacidade de vazão maior que a solicitação da vazão de projeto. A seção 5.5.7. da NBR 10844 orienta que o cálculo da capacidade de vazão para as calhas seja feito por meio da fórmula de Manning-Strickler:

$$Q_2 = K \times \frac{S}{n} \times R_H^{2/3} \times i^{1/2}$$

Onde:

Q_2 é a capacidade da calha, em L/min;

S é a área da seção molhada, em m^2 ;

n é o coeficiente de rugosidade;

R_H é o raio hidráulico, em m;

i é o a declividade da calha;

C é o coeficiente e escoamento superficial;

K é o fator de conversão, que vale 60.000;

A é a área de captação.

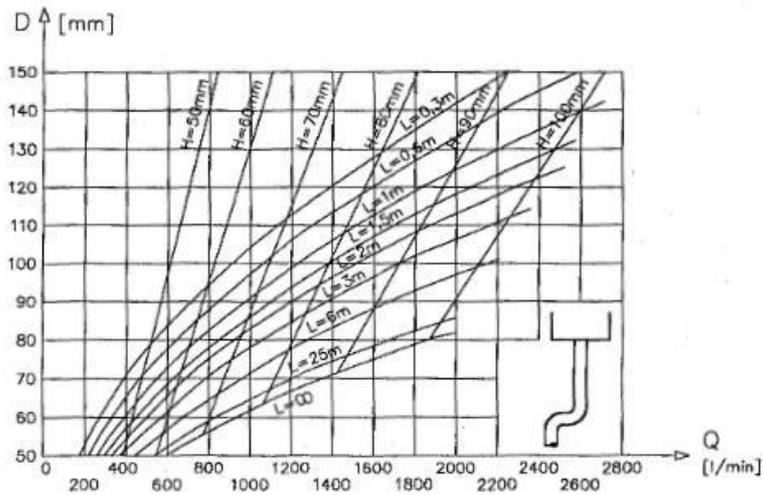
3.2.2.2 Condutores verticais

De acordo com a NBR 10844, 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.

Os diâmetros internos dos condutores verticais são obtidos cruzando-se estes dados nos ábacos presentes na Figura 3 dos anexos da NBR 10844. Um deles, específico para coletores que partem de calhas com saídas de aresta viva, está expresso na Figura 3-4.

Figura 3-4: Ábaco fornecido pela NBR 10844 para dimensionamento dos coletores verticais, considerando calhas com saída em aresta viva.



Fonte: NBR 10844 (ABNT, 1989).

3.2.2.3 Condutores horizontais

Para o dimensionamento da tubulação de condução horizontal, foi considerada a Tabela 3-1, fornecida pela NBR 10844, utilizando-se o coeficiente de rugosidade $n=0,011$ (tubos em PVC e metais não ferrosos).

Tabela 3-1 Capacidade de condutores horizontais de seção circular (vazões em L/min.).

| Diâmetro interno (D) (mm) | $n = 0,011$ | | | |
|------------------------------|-------------|-------|-------|--------|
| | 0,5 % | 1 % | 2 % | 4 % |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 50 | 32 | 45 | 64 | 90 |
| 75 | 95 | 133 | 188 | 267 |
| 100 | 204 | 287 | 405 | 575 |
| 125 | 370 | 521 | 735 | 1.040 |
| 150 | 602 | 847 | 1.190 | 1.690 |
| 200 | 1.300 | 1.820 | 2.570 | 3.650 |
| 250 | 2.350 | 3.310 | 4.660 | 6.620 |
| 300 | 3.820 | 5.380 | 7.590 | 10.800 |

Fonte: NBR 10844 (ABNT, 1989).

Esta tabela trata da aplicação da fórmula de Manning-Strickler em condutores horizontais de seção circular, com diâmetros típicos de mercado, considerando-se a altura de lâmina de água igual a $2/3$ do diâmetro do tubo.

3.2.3 Dimensionamento do conjunto elevatório

A NBR 5626 - Instalação predial de água fria (ABNT, 1998) recomenda o uso da fórmula de Forschheimer para o dimensionamento da tubulação de recalque.

$$D_R = 1,3\sqrt{Q} \times \sqrt[4]{X}$$

Sendo que:

$$X = \frac{h}{24} \text{ horas}$$

Onde:

D_R é o diâmetro do recalque, em metros;

Q é a vazão de recalque, em m^3/s ;

h número de horas de funcionamento da bomba, por dia.

A potência dos motores é determinada pela relação:

$$P = \frac{Q \times H_{MAN}}{75 \times R}$$

Onde:

P é a potência necessária, em C.V.;

Q é a vazão do recalque, em L/s;

R é o rendimento da moto – bomba;

H_{MAN} é altura manométrica, em metros.

A altura manométrica H_{MAN} é dada por:

$$H_{MAN} = H_{MAN(rec)} + H_{MAN(suc)}$$

Onde:

H_{MAN} é a altura manométrica, em metros;

$H_{MAN(rec)}$ é a altura manométrica de recalque, em metros;

$H_{MAN(suc)}$ é a altura manométrica de sucção, em metros.

e:

$$H_{MAN(rec)} = H_{EST(rec)} + J_{(rec)}$$

$$H_{MAN(suc)} = H_{EST(suc)} + J_{(suc)}$$

Onde:

$H_{EST(rec)}$ é o desnível do recalque, em metros;

$H_{EST(suc)}$ é o desnível da sucção, em metros;

$J_{(rec)}$ é a perda de carga no recalque, em metros;

$J_{(suc)}$ é a perda de carga na sucção, em metros;

A perda de carga J , tanto no recalque quanto na sucção, é obtida pela relação:

$$J_{(rec)} = j \times (\text{comprimento real} + \text{comprimento equivalente})$$

Onde j é a perda de carga unitária. A NBR 5626 (ABNT, 1998) estabelece que a perda de carga unitária j na tubulação pode ser obtida por meio da expressão de Fair-Whipple-Hsiao:

$$j = 8,69 \times 10^5 \times Q^{1,88} \times D^{-4,75}$$

Onde:

Q é a vazão estimada na seção considerada, em $\frac{L}{s}$;

D é o diâmetro do tubo, em milímetros;

3.2.4 Dimensionamento da tubulação de abastecimento aos pontos de consumo

O procedimento de cálculo utilizado para o dimensionamento da tubulação da rede de distribuição não potável foi executado por meio da rotina de cálculo expressa na tabela A.5 do Anexo A da NBR 5606 - Instalação predial de água fria (ABNT, 1998). Este procedimento de cálculo é baseado no método da máxima demanda provável.

3.3 VIABILIDADE ECONÔMICA

3.3.1 Estimativa de custo de implantação

Como tratado na seção 2.2 - *Dimensionamento do sistema de aproveitamento pluvial*, o elemento mais dispendioso em um sistema de aproveitamento de águas pluviais é o reservatório (MARINOSKI, 2007; LAGE, 2010; TOMAZ, 2015; FERREIRA, 2005).

De acordo com o Termo Técnico de Referência para Contratação de Projeto referente à reforma e ampliação da EEB Profª. Claudete Maria Hoffmann Domingos (SED-SC, 2018), o projeto existente prevê a reforma completa das instalações hidrossanitárias das áreas molhadas a serem reformadas e a implantação de sistema de drenagem pluvial. Assim, a inclusão de um sistema de aproveitamento pluvial para consumo, objeto deste estudo, caso fosse adotado na escola, não alteraria de forma relevante os custos de execução dos projetos de instalações pluviais e instalações hidráulicas.

Por isso, neste estudo, os custos necessários considerados para inclusão de um sistema de aproveitamento pluvial na reforma e ampliação da escola são:

- Reservatórios;
- Filtro de águas pluviais;
- Motobombas;
- Dispositivos acessórios;
- Mão de obra referente à instalação dos itens acima.

3.3.2 Estimativa de consumo de energia elétrica

É preciso contabilizar o gasto de energia elétrica das motobombas responsáveis por bombear as águas reservadas na cisterna inferior para as caixas d'água superiores, que alimentam os pontos de consumo. Para isto foi utilizada a seguinte relação:

$$\text{Custo de energia elétrica por mês} = C \times P \times t \times d \times n$$

Onde:

C É a taxa de energia cobrada pela CELESC, em kWh;

P É a potência da bomba, em kW;

- t* É o tempo em que a bomba fica ligada por dia, em horas;
- n* É o número de motobombas ativas;
- d* É a quantidade de dias em que a bomba fica ativa ao mês.

3.3.3 Potencial de economia de água potável

O potencial de economia a ser promovido pelo uso do sistema de aproveitamento pluvial corresponde ao volume mensal de água potável que pode ser substituído por água coletada no sistema de aproveitamento pluvial multiplicado pela taxa mensal de água cobrada pela concessionária.

3.3.3.1 Taxa mensal de água

A taxa de água mensal paga pela Escola segue a Tabela 3-2, fornecida pela concessionária responsável pelo abastecimento de água potável no município de Palhoça, Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto - SAMAE.

Tabela 3-2: Estrutura tarifária aplicada no ano de 2019 para imóveis destinados à atividade do setor público no município de Palhoça - SC.

| Categoria de tarifação 2019 | Consumo mensal (m³) | Tarifa de água (R\$/m³) |
|--|---|---|
| Pública | Até 10 | 5,2424 |
| Normal | Maior que 10 | 8,4892 |
| Pública - Público | Até 10 | 1,6582 |
| Especial | Maior que 10 | 2,6808 |

Fonte: (SAMAE, 2018).

A Escola se classifica dentro da categoria “Pública - Normal”. Nas suas faturas de água analisadas não consta a cobrança de taxa de esgoto.

3.3.4 Cálculo do período de retorno do investimento

A avaliação econômica do sistema de aproveitamento pluvial dimensionado neste trabalho foi realizada através do método do Tempo de Recuperação do Capital Descontado, ou *Payback* Descontado.

O *Payback* Descontado é o horizonte de tempo, determinado em número de períodos (semanas, meses, anos etc.) necessário para recuperar o investimento realizado em um projeto, considerando-se o valor do dinheiro ao longo destes períodos e ajustando-se o valor de fluxo de caixa de cada período por meio de uma taxa de desconto. O cálculo do valor presente de um determinado fluxo de caixa no final do seu período, com o desconto determinado pela taxa de desconto, é determinado pela relação:

$$VP_{FC(t)} = \frac{FC_{(t)}}{(1+i)^t}$$

Onde:

- t É o número do período considerado;
- $VP_{FC(n)}$ É o valor presente do fluxo de caixa no período n ;
- $FC_{(n)}$ É o fluxo de caixa no período n ;
- i É a taxa de desconto.

Tendo em mãos a estimativa de custo de implantação do sistema dimensionado e o valor médio mensal a ser economizado pela escola na conta de água, é possível determinar em quantos meses o valor investido será recuperado.

Neste trabalho, devido ao fato de as faturas de água terem periodicidade mensal, o período entre um fluxo de caixa e outro será de um mês. A taxa de desconto considerada neste estudo foi de 1% ao mês, o que corresponde à taxa de juros média de aplicações de renda fixa.

Considerando-se que no Brasil não existe padronização do tempo vida de um sistema de aproveitamento de água de chuva, foi adotado o padrão sugerido por Tomaz (2014), de 20 anos.

4 RESULTADOS

Neste capítulo estão apresentados os resultados do levantamento dos dados de entrada do dimensionamento do reservatório, incluindo os resultados da pesquisa de usos finais da água realizada na escola; os resultados dos cálculos de dimensionamento do volume de reservatório mais adequado para suprir a demanda de água para fins não potáveis; os resultados dos dimensionamentos das demais instalações constituintes do projeto de aproveitamento pluvial para a edificação; e, finalmente, o cálculo do período de retorno do investimento na instalação desse sistema, caso fosse adotado na reforma e ampliação da escola.

4.1 DIMENSIONAMENTOS

4.1.1 Dimensionamento do reservatório

4.1.1.1 Dados pluviométricos

A estação pluviométrica utilizada para a coleta dos dados a seguir apresentados é a ETA CASAN Montante (Código 02748004), operada pelo Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina - CIRAM. Foram utilizados os registros de janeiro de 1989 a setembro de 2018 (A série mensal completa encontra-se no ANEXO I). Na Tabela 4-1 e no Gráfico 4-1 estão apresentados os volumes médios mensais de precipitação.

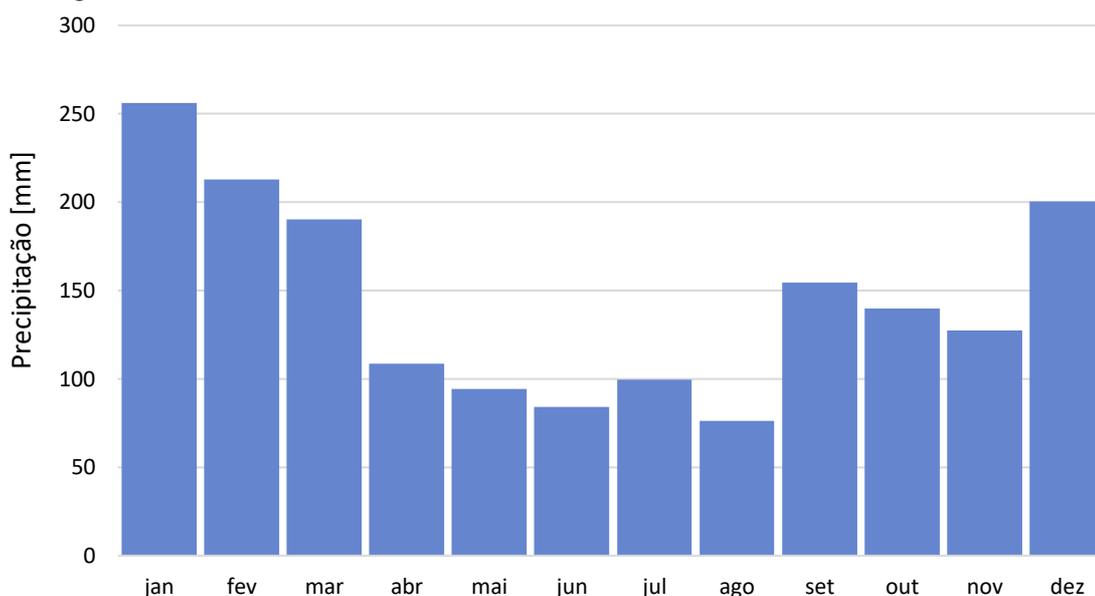
Tabela 4-1: Volumes médios mensais de precipitação registrados pelo pluviômetro da estação meteorológica ETA CASAN – Montante - Período: 1989 a 2018.

| Mês | Precipitação [mm] |
|-------------|--------------------------|
| Jan. | 256,0 |
| Fev. | 213,1 |
| Mar. | 190,4 |
| Abr. | 108,8 |
| Mai. | 94,3 |
| Jun. | 84,2 |
| Jul. | 99,7 |
| Ago. | 76,2 |
| Set. | 154,5 |

| Mês | Precipitação [mm] |
|-------------|--------------------------|
| Out. | 140,0 |
| Nov. | 127,5 |
| Dez. | 200,5 |

Fonte: Elaboração própria, com base em dados do Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina - CIRAM.

Gráfico 4-4-1: Volumes médios mensais de precipitação registrados pelo pluviômetro da estação meteorológica 02748004 - ETA CASAN – Montante - Período: 1989 a 2018.



Fonte: Elaboração própria, com base em dados do Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina - CIRAM.

4.1.1.2 Demanda de água da escola

4.1.1.2.1 Demanda total

O consumo total de água da escola foi estimado por meio da leitura das faturas de água emitidas pelo Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto - SAMAE de Palhoça. Em duas das faturas, dos meses junho e setembro, a leitura apresentada continha dois valores muito divergentes da média anual, que podem ser atribuídos a equívocos na medição ou cobrança mínima devido à medição não ter sido realizada. Na Tabela 4-2 estes valores, referentes aos meses de maio e agosto, estão destacados. Assim, para estimar o valor nestes dois meses, em específico, o consumo faturado pelo SAMAE foi substituído pela interpolação dos consumos do mês seguinte e do mês anterior (Tabela 4-3).

Tabela 4-2: Consumo total de água potável pela EEB Prof^a. Claudete Maria Hoffmann Domingos, de 05/01/2018 a 08/01/2019.

| Período | Consumo (m³) |
|--------------------------------|--------------------------------|
| 05/01/2018 a 06/02/2018 | 165 |
| 06/02/2018 a 06/03/2018 | 108 |
| 06/03/2018 a 05/04/2018 | 121 |
| 05/04/2018 a 07/05/2018 | 116 |
| 07/05/2018 a 06/06/2018 | *414 |
| 06/06/2018 a 05/07/2018 | 263 |
| 05/07/2018 a 06/08/2018 | 197 |
| 06/08/2018 a 05/09/2018 | *10 |
| 05/09/2018 a 05/10/2018 | 130 |
| 05/10/2018 a 07/11/2018 | 188 |
| 07/11/2018 a 06/12/2018 | 200 |
| 06/12/2018 a 08/01/2019 | 164 |

Fonte: Elaboração própria, com base nos dados emitidos pelo SAMAE.

Tabela 4-3: Consumo total de água potável pela EEB Prof^a. Claudete Maria Hoffmann Domingos, de 05/01/2018 a 08/01/2019 – Corrigido.

| Período | Consumo (m³) |
|--------------------------------|--------------------------------|
| 05/01/2018 a 06/02/2018 | 165 |
| 06/02/2018 a 06/03/2018 | 108 |
| 06/03/2018 a 05/04/2018 | 121 |
| 05/04/2018 a 07/05/2018 | 116 |
| 07/05/2018 a 06/06/2018 | 190 |
| 06/06/2018 a 05/07/2018 | 263 |
| 05/07/2018 a 06/08/2018 | 197 |
| 06/08/2018 a 05/09/2018 | 164 |
| 05/09/2018 a 05/10/2018 | 130 |
| 05/10/2018 a 07/11/2018 | 188 |
| 07/11/2018 a 06/12/2018 | 200 |
| 06/12/2018 a 08/01/2019 | 164 |

Fonte: Elaboração própria, com base nos dados emitidos pelo SAMAE.

Percebe-se que, ao contrário do esperado, o consumo dos meses de férias não apresenta diferenças representativas em relação aos dos meses letivos. Isso ocorre porque durante as férias é realizada a lavagem das salas, das paredes internas e externas e das cortinas da escola, de forma que há um consumo de volumes relativamente grandes de água. Esses tipos de atividades de limpeza são realizados de duas a três vezes ao ano.

4.1.1.2.2 Demanda de água não potável

Entre os dias 15 e 17 de abril de 2019 foram realizadas visitas à escola para acompanhar a rotina de limpeza, realizar a medição da vazão média dos equipamentos hidráulicos, bem como fazer as anotações das marcas e modelos dos equipamentos os quais não foi possível medir a vazão de forma direta. Neste período também foram realizadas as entrevistas e aplicados os questionários referentes ao uso de água. Foram aplicados questionários aos alunos das 12 turmas do 6º ao 9º ano da escola, bem como a todos os funcionários que ali estavam durante os três dias de pesquisa e que se dispuseram a participar dela. O número de questionários aplicados não alcançou a amostra mínima pretendida, de forma que os dados obtidos terão um erro amostral um pouco mais alto (Tabela 4-4).

Tabela 4-4: Comparação entre as amostras e erros desejáveis e obtidos.

| | População total | Erro calculado | Amostra calculada | Amostra obtida | Erro obtido |
|---------------------|------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------|
| Alunos | 663 | 4% | 322 | 303 | 4,23% |
| Funcionários | 45 | 4% | 42 | 31 | 9,50% |

Fonte: Elaboração própria, com base na metodologia de Barbetta (2014) e em dados obtidos *in loco*.

Consumo estimado das torneiras do banheiro dos alunos e dos funcionários

Para estimar a vazão média das torneiras dos banheiros, tanto dos alunos (Figura 4-2) quanto dos funcionários (Figura 4-1), mediu-se em segundos o tempo levado para encher um recipiente de volume conhecido. As torneiras dos banheiros dos alunos e as dos funcionários apresentaram uma vazão média estimada de 0,05L/s e 0,07L/s, respectivamente.

As respostas dos 303 questionários aplicados aos alunos da escola apresentaram uma média de três usos da torneira por semana, com média de 10 segundos por uso. Todavia, as respostas variaram muito, havendo casos de alunos que responderam nunca usar a torneira da escola e casos em que o aluno respondeu usá-la 20 vezes por semana. O consumo mensal *per*

capita encontrado foi de 14,15 litros por aluno/mês. Assim, o consumo médio mensal estimado para as torneiras dos banheiros dos alunos foi de 9,38m³.

Diferentemente dos alunos, nenhum dos funcionários respondeu que não usava a torneira da escola, de forma que nos 31 questionários as frequências de uso variaram de 1 a 30 usos semanais. A média foi de seis usos por semana, com 10 segundos por uso. O consumo mensal *per capita* encontrado para as torneiras dos banheiros dos funcionários foi de 61,17 litros por mês por funcionário. Assim, o consumo médio mensal estimado para as torneiras dos banheiros dos funcionários foi de 2,75m³.

Figura 4-1: Lavatórios dos banheiros femininos dos professores (à direita) e dos banheiros adaptados para portadores de necessidades especiais (à esquerda).



Fonte: Elaboração própria.

Figura 4-2: Lavatórios do banheiro das alunas.



Fonte: Elaboração própria

Consumo estimado dos bebedouros

Para estimar o consumo dos bebedouros (Figura 4-3), foi perguntado a alunos, professores e funcionários quantas vezes eles consomem a água dos bebedouros da escola por semana, e qual o volume médio da ingestão (medido em unidades de copos de 200ml). A maioria dos usuários, tanto alunos quanto professores respondeu que prefere não consumir a água dos bebedouros, optando por trazer água de casa ou beber água mineral. Como, por outro lado, os usuários que responderam beber a água dos bebedouros informaram grandes volumes de ingestão semanal, a média do consumo estimado *per capita* resultou em 12,26 litros por mês por usuário, totalizando 8,68m³ de água consumida nos bebedouros.

Não foi feita distinção entre consumo por parte dos alunos e dos funcionários, porque ambos fazem uso dos mesmos bebedouros.

Figura 4-3: Bebedouros da escola.



Fonte: Elaboração própria.

Consumo estimado das bacias sanitárias e mictórios

Na escola não há bacias sanitárias com válvula de descarga, apenas caixas elevadas e, no caso dos banheiros adaptados para portadores de necessidades especiais, caixas acopladas (Figuras 4-4 e 4-5). Assim, para estimar o volume mensal consumido por estes aparelhos,

foram identificados os seus modelos para buscar o volume nominal de descarga nas páginas eletrônicas dos respectivos fabricantes. Os volumes por descarga encontrados estão nas Tabelas 4-5 e 4-6. No caso das caixas acopladas modelo Celite, apesar de, na página do fabricante, informar-se que os modelos novos possuem válvula modelo *Ecoflush*, com opção de descarga com 3 ou 6 litros, a válvula da caixa encontrada *in loco* tinha apenas uma opção. Assim, considerou-se que a descarga em questão libera seis litros. Na impossibilidade de medir o consumo dos mictórios, foi considerado o valor de 3,8L/descarga, sugerido por Tomaz (2014).

Tabela 4-5: Modelos das bacias sanitárias encontradas nos banheiros dos alunos.

| Modelo da bacia sanitária | Consumo por descarga [L] |
|-----------------------------------|---------------------------------|
| Caixa Acoplada Celite | 6 |
| Caixa Descarga Elevada C-4 Cipla | 9 |
| Caixa Descarga Elevada C-4 Cipla | 9 |
| Consumo médio por descarga | 8 |

Fonte: Elaboração própria, com base nos dados coletados na EEB Claudete Hoffmann, Cipla (2019) e Celite (2019).

Tabela 4-6: Modelos das bacias sanitárias encontradas nos banheiros dos funcionários

| Modelo da bacia sanitária | Consumo por descarga [L] |
|-----------------------------------|---------------------------------|
| Caixa Descarga Elevada C-4 Cipla | 9 |
| Consumo médio por descarga | 9 |

Fonte: Elaboração própria, com base nos dados coletados na EEB Claudete Hoffmann, Cipla (2019) e Celite (2019).

Para estimar o consumo das bacias sanitárias e mictórios, foi perguntado a alunos, professores e funcionários a frequência semanal em que utilizam estes aparelhos.

Figuras 4-4 e 4-5: Bacia sanitária presente nos banheiros adaptados para portadores de necessidades especiais (à esquerda) e bacia sanitária utilizada nos banheiros dos alunos e nos dos funcionários (à direita).



Fonte: Elaboração própria.

Quanto aos questionários aplicados aos alunos, a frequência média das respostas foi de dois usos por semana, sendo que as respostas variaram de 0 até 20 usos. O consumo mensal *per capita* da bacia sanitária dos alunos foi de 26,43 litros/aluno por semana e o consumo total mensal encontrado foi de 70,09m³.

Quanto aos questionários dos professores e funcionários, a frequência média das respostas foi de seis usos por semana. O consumo mensal *per capita* da bacia sanitária dos funcionários foi de 71,12 litros/funcionário por semana e o consumo mensal total encontrado foi de 12,80m³.

O consumo dos mictórios não foi representativo nesta pesquisa, contabilizando-se um consumo *per capita* de 0,39 litros por pessoa por semana e um consumo total de 1,10m³ por mês.

Consumo estimado na cozinha

Na EEB Prof^a. Claudete Maria Hoffmann Domingos, três colaboradores são responsáveis por preparar e servir as refeições e lavar as louças. Devido ao fato de as refeições variarem entre um lanche e uma refeição completa, os colaboradores declararam dificuldades em mensurar a água utilizada. Há dias em que é necessário lavar vegetais,

descongelar e cozinhar carnes, cozinhar grãos e massas, fazer sucos etc. Por outro lado, há dias em que é servida apenas uma fruta e um iogurte como refeição. Isto faz com que o consumo de água varie muito de um dia para o outro. Assim, foi solicitado que estimassem uma média de minutos semanais em que a torneira fica aberta. As respostas a estas perguntas resultaram no Quadro 4-1. A fotografia das torneiras utilizadas na cozinha é aquela da Figura 4-6.

Quadro 4-1: Cálculo do consumo das torneiras da cozinha.

| | |
|---|--------------------|
| Vazão média | 0,0321L/s |
| Tempo de torneira aberta por semana para lavar louça | 18.000 segundos |
| Tempo de torneira aberta por semana para higienizar alimentos | 12.000 segundos |
| Total de segundos de torneira aberta por mês | 120.000 segundos |
| Consumo mensal | 3,86m ³ |

Fonte: Elaboração própria, com base em dados obtidos *in loco*.

Figura 4-6: Torneiras da cozinha da escola.



Fonte: Elaboração própria.

Consumo estimado na limpeza

Na escola, três colaboradores são responsáveis por manter a limpeza das áreas. Dois deles são encarregados da limpeza das salas e banheiros, que é realizada com balde e pano, e um deles é encarregado da limpeza do refeitório, pátio e corredores, que são as áreas lavadas diariamente com mangueira.

Para estimar o volume consumido com a limpeza com mangueira, foi medida *in loco* a vazão média das três torneiras de serviço utilizadas, que totalizaram uma média 0,12L/s. Esta vazão foi multiplicada pelo tempo diário estimado em que a torneira permanece aberta, coletado em entrevista com o funcionário responsável. O volume encontrado está no Quadro 4-2:

Quadro 4-2 Cálculo do consumo na limpeza com mangueira.

| | |
|--|---------------------|
| Vazão média das torneiras de serviço | 0,12 L/s |
| Tempo de torneira aberta por dia para lavar áreas descobertas e banheiros dos alunos | 2.400 s |
| Total de segundos de torneira aberta por mês | 48.000 s |
| Consumo mensal [m ³] | 5,71 m ³ |

Fonte: Elaboração própria, com base em dados obtidos *in loco*.

Para estimar o volume consumido com a limpeza com balde, foram feitas entrevistas com as duas funcionárias responsáveis. Os baldes da escola têm capacidade de 12 litros, e são cheios até aproximadamente 1/3 da capacidade para a limpeza de cada ambiente, sendo que a água é trocada a cada mudança de ambiente. Assim, o volume diário estimado foi obtido do produto entre o número de ambientes a serem limpos com balde (12 salas de aula, 4 banheiros e 7 áreas diversas ente recepção, biblioteca, direção, depósitos, sala de informática etc.) e o volume de água utilizada em cada ambiente: 1/3 de balde de 12 litros, ou seja, quatro litros. O volume diário, multiplicado por 20 dias de aula por mês, resultou no volume mensal estimado de consumo na limpeza com balde, como ilustrado no quadro Quadro 4-3:

Quadro 4-3: Cálculo do consumo na limpeza com balde e pano.

| | |
|--|---------------------|
| Volume de água consumido em cada ambiente | 4,0 L |
| Total de ambientes limpos diariamente com balde e pano | 23 L |
| Total de litros consumidos por dia | 92 L |
| Consumo mensal | 1,84 m ³ |

Fonte: Elaboração própria, com base em dados obtidos *in loco*.

Valores de consumo obtidos

Depois de finalizados os cálculos de estimativa de consumo, foi realizada a soma dos volumes levantados. No Quadro 4-4 está apresentado o levantamento obtido, constituindo a estimativa total mensal de consumo de água da escola, que totaliza aproximadamente 116 metros cúbicos mensais. Como os consumos mensais do ano de 2018 flutuaram entre 108m³ e 263m³, o volume estimado foi considerado representativo da realidade do consumo de água da escola.

Quadro 4-4: Resumo do consumo mensal estimado.

| Consumo | Volume (m ³) | % |
|--|--------------------------|---------------|
| Consumo das torneiras (alunos) | 9,38 | 8,07 |
| Consumo das torneiras (funcionários) | 2,75 | 2,37 |
| Consumo dos bebedouros (alunos + funcionários) | 8,68 | 7,47 |
| Consumo dos vasos sanitários (alunos) | 70,09 | 60,31 |
| Consumo dos vasos sanitários (funcionários) | 12,80 | 11,02 |
| Consumo dos mictórios (alunos + funcionários) | 1,10 | 0,94 |
| Consumo na cozinha | 3,86 | 3,32 |
| Consumo com limpeza - áreas abertas | 5,71 | 4,91 |
| Consumo com limpeza - áreas fechadas | 1,84 | 1,58 |
| Consumo total | 116,21 | 100,00 |

Fonte: Elaboração própria.

Portanto, de acordo com o presente levantamento, do consumo total de água mensal da escola, 21,23% é destinado a fins potáveis e 78,77%, a fins não potáveis, como ilustrado no Quadro 4-5.

Quadro 4-5: Usos finais da água consumida mensalmente na escola.

| Consumo | Volume (m ³) | % |
|-------------------|--------------------------|--------|
| Consumo total | 116,21 | 100,00 |
| Fins potáveis | 24,68 | 21,23 |
| Fins não potáveis | 91,53 | 78,77 |

Fonte: Elaboração própria.

Assim, a demanda de água considerada para o dimensionamento do reservatório de armazenamento de água pluvial neste trabalho é de 78,77% do consumo total fornecido pela concessionária. A Tabela 4-7 contém a variação de consumo de água extraído das faturas do ano de 2018, juntamente com a porção de 78,77%, relativa aos fins não potáveis.

Tabela 4-7 Consumo mensal da escola destinado aos fins não potáveis.

| Período | Consumo total (m ³) | Consumo não potável (m ³) |
|-------------|---------------------------------|---------------------------------------|
| Jan. | 165 | 129,97 |
| Fev. | 108 | 85,07 |
| Mar. | 121 | 95,31 |
| Abr. | 116 | 91,37 |
| Mai. | 190 | 149,26 |
| Jun. | 263 | 207,16 |

| Período | Consumo total (m³) | Consumo não potável (m³) |
|--------------------------------|--|--|
| Jul. | 197 | 155,17 |
| Ago. | 164 | 128,78 |
| Set. | 130 | 102,40 |
| Out. | 188 | 148,08 |
| Nov. | 200 | 157,54 |
| Dez. | 164 | 129,18 |
| Demanda média anual | 2005 | 1.579,33 |

Fonte: Elaboração própria, com base nos dados emitidos pelo SAMAE.

4.1.1.3 Dimensionamento do reservatório pelos métodos sugeridos pela NBR 15527

Esta seção apresenta o resultado do dimensionamento do reservatório de água pluvial para aproveitamento não potável para a escola em estudo a partir da aplicação dos métodos sugeridos pela NBR 15527 (ABNT, 2007). Os dimensionamentos aqui apresentados foram feitos considerando-se as seguintes premissas:

- Os volumes médios mensais de precipitação obtidos da série histórica de 1989 até 2018 representam os volumes médios mensais de chuva do futuro;
- Os consumos mensais corrigidos de água potável referentes ao ano de 2018 representam o padrão futuro de consumo de água da escola;
- O percentual de água destinada a fins não potáveis obtido na pesquisa *in loco* representa o padrão futuro de consumo da escola.

Método Prático Inglês

Utilizando a equação A.5 da NBR 15527:

$$V_{\text{aproveitável}} = 0,05 \times P \times A$$

Onde:

$V_{\text{aproveitável}}$ é o valor numérico do volume de água aproveitável e o volume de água da cisterna, expresso em litros;

P é o valor numérico da precipitação média anual, expresso em milímetros;

A é o valor numérico da área de coleta em projeção, expresso em metros quadrados.

Então:

$$V_{\text{aproveitável}} = 0,05 \times 1810,3\text{mm anuais} \times 2698,92\text{m}^2 = 244,29\text{m}^3$$

O dimensionamento pelo Método Prático Inglês confirmou o que foi discutido na seção 2.2.1.1 *Métodos de dimensionamento do reservatório*, fornecendo um volume relativamente superdimensionado, pois como este método considera apenas a área de captação e a pluviosidade, ele tende a retornar valores acima do necessário para edificações com grande área de captação situados em localidades de alta pluviosidade.

Método Prático Brasileiro

Utilizando a equação A.3 da NBR 15527:

$$V = 0,042 \times P \times A \times T$$

Onde:

P é o valor numérico da precipitação média anual, em milímetros;

T é o valor numérico de meses de pouca chuva ou seca;

A é o valor numérico da área de coleta em projeção, expresso em metros quadrados;

V é o valor numérico do volume de água aproveitável e o volume de água no reservatório expressos em litros.

Então:

$$V = 0,042 \times 1810,3\text{mm anuais} \times 2698,92\text{m}^2 \times 4 = 820,82\text{m}^3$$

Como a NBR 15527 - Água de chuva - Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis (ABNT, 2007) não especifica uma metodologia para determinar a variável T (número de meses de pouca chuva), foi utilizada a metodologia de Rupp (2011), que considera como “mês de pouca chuva” todos aqueles cujo volume mensal esteja igual ou abaixo a 80% do volume médio anual (RUPP, 2011). No caso do pluviômetro analisado, o volume médio mensal foi de 133,75mm. Logo, 80% do volume médio mensal

equivale a 107mm. De acordo com os registros do pluviômetro, quatro meses apresentaram volume total de chuva menor que 107mm. Assim, o valor T adotado foi 4 (quatro).

O método prático brasileiro retornou um valor ainda maior de volume de reservatório que o método prático inglês, questão que novamente é atribuída ao fato de este método levar em consideração apenas a área e a pluviosidade, que, no caso da edificação deste estudo, são representativamente grandes.

Método Prático Alemão

Utilizando a equação A.4, da NBR 15527:

$$V_{adotado} = \text{mín}(V, D) \times 0,06$$

Onde:

V é o valor numérico do volume aproveitável de água de chuva anual, expresso em litros;

D é o valor numérico da demanda anual da água não potável, expresso em litros;

V_{adotado} é o valor numérico do volume de água no reservatório, expresso em litros.

Então:

$$V_{adotado} = \left(\text{mínimo entre } \begin{cases} 3.908.690 \text{ litros} \\ 1.574.361 \text{ litros} \end{cases} \right) \times 0,06$$

$$V_{adotado} = 1.574.361,5 \text{ litros} \times 0,06 = 94m^3$$

Como aqui a demanda de água pluvial foi considerada, o volume do reservatório fornecido pelo método foi um pouco menor que o fornecido pelos dois métodos anteriores. Todavia, este volume ainda pode ser considerado muito alto para aplicação prática na edificação estudada.

Método da Simulação

Este método consta na seção A.2 dos anexos da NBR 15527. O método, além de levar em consideração tanto os volumes pluviométricos e área de captação quanto a demanda de água de chuva, considera também a variação do nível do reservatório de um mês para o outro,

tendo em conta que no início do primeiro mês o reservatório está cheio e que a distribuição das chuvas no mês acontece de modo uniforme. Neste estudo, isso fez com que o dimensionamento retornasse um valor não tão grande quanto os métodos anteriores. No caso deste estudo, o volume de água pluvial captada foi maior do que a demanda de água não potável em todos os meses, exceto no mês de junho, em que a demanda é $25,36\text{m}^3$, maior que a disponibilidade de água captada. Assim, para atender de forma integral à demanda de água não potável da escola é necessário, por este método, um volume de reservação de $25,36\text{m}^3$, de forma que qualquer valor acima deste é capaz de assegurar o fornecimento em todos os meses do ano sem secar ou necessitar de complemento de fornecimento com água potável da rede. Na Tabela 4-8 apresenta-se a simulação do comportamento do nível de um reservatório de 26m^3 , que atende à demanda e termina todos os meses ainda cheio, com extravasamento de volume excedente, exceto no mês de junho, em que o reservatório atende ao fornecimento solicitado e fecha o mês com $0,63\text{m}^3$ de água reservada.

Tabela 4-8: Dimensionamento do reservatório pelo Método da Simulação considerando-se um reservatório com capacidade de 26m^3 .

| Mês | P [mm] | A [m ²] | C | $Q_{(t)}$ [m ³] | $D_{(t)}$ [m ³] | V [m ³] | $S_{(t-1)}$ [m ³] | $S_{(t)}$ [m ³] |
|-------------|-------------|--------------------------|------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------|----------------------------------|--------------------------------|
| Jan. | 256 | 2698,92 | 0,80 | 552,74 | 129,97 | 26 | 26 | 26 |
| Fev. | 213,05 | 2698,92 | 0,80 | 460,00 | 85,07 | 26 | 26 | 26 |
| Mar. | 190,35 | 2698,92 | 0,80 | 410,99 | 95,31 | 26 | 26 | 26 |
| Abr. | 108,8 | 2698,92 | 0,80 | 234,91 | 91,37 | 26 | 26 | 26 |
| Mai. | 94,3 | 2698,92 | 0,80 | 203,61 | 149,27 | 26 | 26 | 26 |
| Jun. | 84,2 | 2698,92 | 0,80 | 181,80 | 207,17 | 26 | 26 | 0,63 |
| Jul. | 93,95 | 2698,92 | 0,80 | 202,85 | 155,18 | 26 | 0,63 | 26 |
| Ago. | 77,6 | 2698,92 | 0,80 | 167,55 | 128,79 | 26 | 26 | 26 |
| Set. | 154,5 | 2698,92 | 0,80 | 333,59 | 102,40 | 26 | 26 | 26 |
| Out. | 140 | 2698,92 | 0,80 | 302,28 | 148,09 | 26 | 26 | 26 |
| Nov. | 126,05 | 2698,92 | 0,80 | 272,16 | 157,54 | 26 | 26 | 26 |
| Dez. | 196,9 | 2698,92 | 0,80 | 425,13 | 129,18 | 26 | 26 | 26 |

Onde:

$S_{(t)}$ é o volume de água no reservatório no tempo t ;

$S_{(t-1)}$ é o volume de água no reservatório no tempo $t - 1$;

$Q_{(t)}$ é o volume de chuva no tempo t ;

$D_{(t)}$ é a demanda ou consumo no tempo t ;

V é o volume do reservatório fixado;

C é o coeficiente de escoamento superficial;

P é a precipitação média mensal;

A é a área de captação.

Método Prático Australiano

Assim como o Método da Simulação, o Método Australiano, que consta na seção A.6 da NBR 15527, também considera tanto a área de captação e volume médio mensal de chuvas como também a demanda de água não potável, acompanhando o comportamento do reservatório mês a mês e retornando um volume de reservação bastante próximo ao encontrado pelo Método da Simulação. Uma das diferenças entre o Método da Simulação e o Método Australiano é que este considera um coeficiente de perdas I , que corresponde às perdas da chuva por interceptação da água que molha as superfícies e evaporação. A NBR 15527 (ABNT, 2007) aponta que esta variável geralmente assume o valor de dois milímetros ao mês. Então, no caso da edificação em estudo, o método Australiano solicitou um volume um pouco maior de reservação, reflexo da perda de volume de chuva por interceptação. Assim, o volume mínimo para atender a todos os meses sem secar e sem necessitar complemento de fornecimento da rede é de 29,69m³. Na Tabela 4-9 apresenta-se a simulação do comportamento de um reservatório de volume de 30m³, que atende à demanda e termina todos os meses ainda cheio, exceto no mês de junho, em que o reservatório atende ao fornecimento solicitado e fecha o mês com 0,32m³ de água reservada.

Tabela 4-9: Dimensionamento do reservatório pelo Método Prático Australiano considerando-se um reservatório com capacidade de 30m³.

| Mês | P [mm] | I [mm] | A [m ²] | C | Q [m ³] | D [m ³] | V_{t-1} [m ³] | V_t [m ³] |
|-------------|-------------|-------------|--------------------------|-----|--------------------------|--------------------------|--------------------------------|----------------------------|
| Jan. | 256 | 2 | 2698,92 | 0,8 | 548,42 | 129,97 | 0,00 | 30,00 |
| Fev. | 213,05 | 2 | 2698,92 | 0,8 | 455,69 | 85,07 | 30,00 | 30,00 |
| Mar | 190,35 | 2 | 2698,92 | 0,8 | 406,67 | 95,31 | 30,00 | 30,00 |
| Abr. | 108,8 | 2 | 2698,92 | 0,8 | 230,60 | 91,37 | 30,00 | 30,00 |
| Mai. | 94,3 | 2 | 2698,92 | 0,8 | 199,29 | 149,27 | 30,00 | 30,00 |
| Jun. | 84,2 | 2 | 2698,92 | 0,8 | 177,48 | 207,17 | 30,00 | 0,32 |
| Jul. | 99,65 | 2 | 2698,92 | 0,8 | 210,84 | 155,18 | 0,32 | 30,00 |
| Ago. | 76,2 | 2 | 2698,92 | 0,8 | 160,21 | 128,79 | 30,00 | 30,00 |
| Set. | 154,5 | 2 | 2698,92 | 0,8 | 329,27 | 102,40 | 30,00 | 30,00 |
| Out. | 140 | 2 | 2698,92 | 0,8 | 297,96 | 148,09 | 30,00 | 30,00 |
| Nov. | 127,5 | 2 | 2698,92 | 0,8 | 270,97 | 157,54 | 30,00 | 30,00 |
| Dez. | 200,5 | 2 | 2698,92 | 0,8 | 428,59 | 129,18 | 30,00 | 30,00 |

Onde:

C é o coeficiente de escoamento superficial;

D é a demanda de água não potável no mês;

P é a precipitação média mensal;

I é a interceptação da água que molha as superfícies e perdas por evaporação;

A é a área de coleta;

Q é o volume mensal produzido pela chuva;

V_{t-1} é o volume do reservatório no início do mês;

V_t é o volume do reservatório no final do mês.

O Método Prático Australiano permite um índice de falha, ou seja, um dimensionamento que não contemple o fornecimento integral em todos os meses do ano. De acordo com a equação:

$$P_r = \frac{N_r}{N}$$

Em que N_r é o número de meses em que o fornecimento de água não potável não atendeu à demanda, e N é o número total de meses da faixa de tempo analisada.

Como neste dimensionamento o número de meses em que a demanda não é atendida é zero, a taxa de falha também é zero.

$$P_r = \frac{0}{12} = 0$$

Assim, apesar de o método Prático Australiano permitir uma taxa de falha de até 8%, neste dimensionamento foi optado por usar 0% de taxa de falha.

Método de Rippl

Este método consta no item A.1 da NBR 15527 e, assim como os anteriores, leva em consideração a demanda, a precipitação mensal e a área de captação, acompanhando o volume de reservação necessário ao longo dos meses. Novamente, o volume de precipitação

aproveitado é maior que o volume de demanda em todos os meses, exceto no mês de junho. Neste mês a demanda supera o volume de precipitação em $25,37\text{m}^3$ (Tabela 4-10).

Tabela 4-10: Dimensionamento do reservatório pelo Método de Rippl.

| Mês | Precipitação média mensal [mm] | Área de captação [m ²] | Volume mensal de chuva [m ³] | Demanda variável mensal [m ³] | Diferença entre volume de chuva e demanda [m ³] | Diferença acumulada [m ³] |
|------|--------------------------------------|--|---|--|--|---|
| Jan. | 256 | 2698,924 | 552,74 | 129,97 | -422,77 | 0,00 |
| Fev. | 213,05 | 2698,924 | 460,00 | 85,07 | -374,93 | 0,00 |
| Mar. | 190,35 | 2698,924 | 410,99 | 95,31 | -315,68 | 0,00 |
| Abr. | 108,8 | 2698,924 | 234,91 | 91,37 | -143,54 | 0,00 |
| Mai. | 94,3 | 2698,924 | 203,61 | 149,27 | -54,34 | 0,00 |
| Jun. | 84,2 | 2698,924 | 181,80 | 207,17 | 25,37 | 25,37 |
| Jul. | 99,65 | 2698,924 | 215,16 | 155,18 | -59,98 | 0,00 |
| Ago. | 76,2 | 2698,924 | 164,53 | 128,79 | -35,74 | 0,00 |
| Set. | 154,5 | 2698,924 | 333,59 | 102,40 | -231,19 | 0,00 |
| Out. | 140 | 2698,924 | 302,28 | 148,09 | -154,19 | 0,00 |
| Nov. | 127,5 | 2698,924 | 275,29 | 157,54 | -117,75 | 0,00 |
| Dez. | 200,5 | 2698,924 | 432,91 | 129,18 | -303,72 | 0,00 |

Assim, considerando-se os cálculos dos volumes de reservação necessários para atender à demanda de água para fins não potáveis da escola, de acordo com os métodos propostos pela NBR 15527 (Tabela 4-11), o volume de reservatório escolhido para o sistema de aproveitamento pluvial deste trabalho é de $26,00\text{m}^3$. Este volume é relativamente grande e, conseqüentemente, sua aplicação seria consideravelmente dispendiosa, de forma que a viabilidade de sua aplicação deve ser avaliada em relação ao período de retorno do investimento por meio da economia de água potável possibilitada por seu uso.

Tabela 4-11: Volumes de reservatório obtidos pela aplicação dos métodos sugeridos pela NBR 15527.

| Método | Volume de reservatório |
|-----------------------------------|----------------------------------|
| Prático Inglês | 244m^3 |
| Prático Brasileiro (Azevedo Neto) | 857m^3 |
| Prático Alemão | 94m^3 |
| Prático Australiano | 30m^3 |
| Simulação | 26m^3 |
| Rippl | $25,37\text{m}^3$ |
| Volume adotado | 26m^3 |

Devido às descontinuidades das áreas de contribuição de água pluvial, é conveniente dividir o volume de reservação em dois conjuntos compostos de uma cisterna de 10m^3 e um

reservatório superior de 3m^3 , contabilizando 26m^3 . Estes reservatórios foram dispostos considerando-se as áreas desocupadas da escola, tendo em vista que as distâncias a serem vencidas pela água entre a calha e o reservatório sejam as menores possíveis.

Também devido às descontinuidades das áreas de coleta, o reservatório inferior precisaria ser subterrâneo. Este tipo de reservatório possui diversas desvantagens, como a impossibilidade de inserir um registro de descarga de fundo e um tanque de descarte das primeiras águas (*first flush*), o que, comprovadamente, aumentaria a qualidade da água reservada. Tanques enterrados também possuem preço mais elevado em relação às cisternas de fibra de vidro e polietileno comum, pois são confeccionados com polietileno de alta densidade, além da necessidade de providenciar tratamento do reaterro no entorno da cisterna, para contenção do empuxo lateral do solo.

O reservatório escolhido para este estudo, considerando-se as circunstâncias acima colocadas, foi a cisterna subterrânea de 10.000L da marca Acqualimp. O manual do fabricante recomenda que ela seja assentada sobre uma base de concreto de 10cm e que o reaterro seja feito com terra compactada com cimento, respeitando traço 1:15.

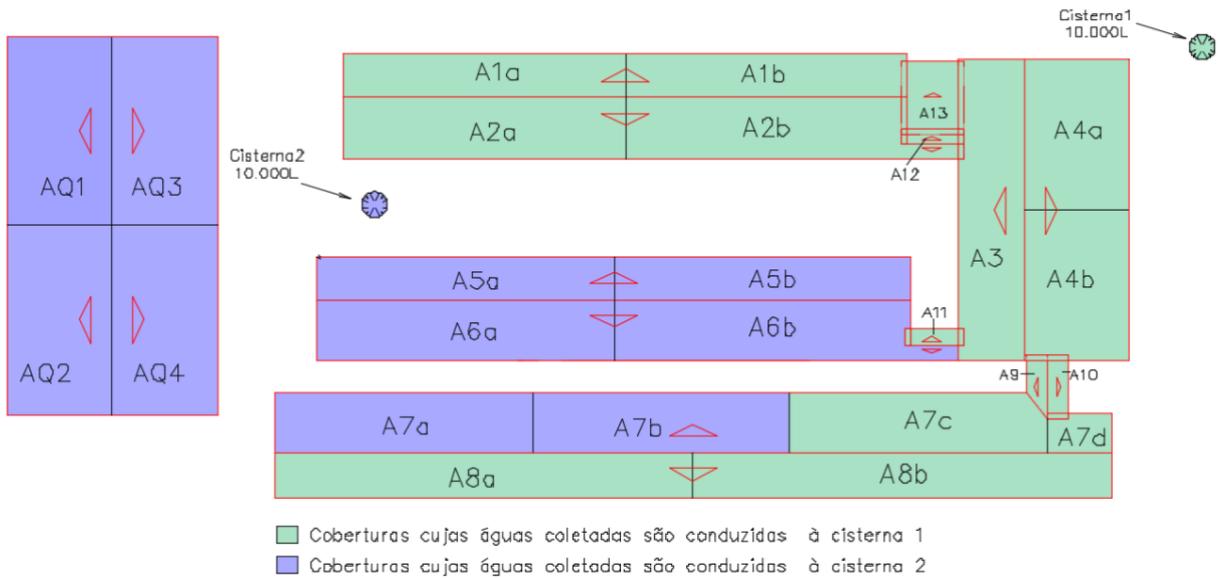
4.1.2 Dimensionamento das instalações de coleta pluvial

4.1.2.1 Calhas

As coberturas atuais e futuras (previstas no projeto de ampliação da escola) possuem áreas de grandes extensões, gerando vazões de projeto relativamente grandes. Assim, estas coberturas foram subdivididas em áreas de contribuição menores (Figura 4-7).

O volume de reservação dimensionado para atender à escola resultou em 26m^3 que, por questões práticas, foi dividido em dois reservatórios subterrâneos, de 10m^3 cada, e mais dois reservatórios elevados de volume de 3m^3 . Logo, as águas coletadas nas coberturas são direcionadas a estas duas cisternas de 10m^3 .

Figura 4-7: Esquema ilustrativo da divisão das áreas de contribuição.

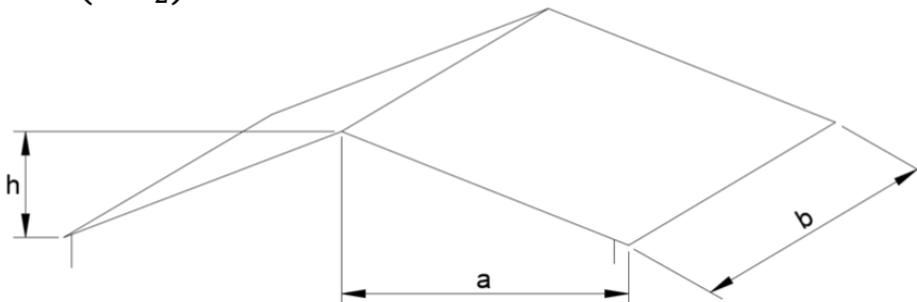


Fonte: Elaboração própria

As coberturas da escola são compostas por várias águas planas com diferentes inclinações e a cobertura da quadra de esportes prevista é constituída por arcos metálicos cobertos por telhas onduladas de aço. Essas superfícies são caracterizadas pela NBR 10844 como sendo do tipo “(b) Superfície inclinada” (Figura 4-8). Assim, as áreas de contribuição foram obtidas com a relação referente a esta tipologia de cobertura, chegando-se às áreas de contribuição expressas na tabela 4-12.

Figura 4-8: Relação sugerida pela NBR 10844 para a obtenção da área de contribuição de uma superfície inclinada.

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



Fonte: NBR 10844 (ABNT, 1989).

A tabela 5 da NBR 10844 traz o volume de chuvas intensas característico para várias cidades do país. No presente dimensionamento foi utilizada a intensidade pluviométrica referente à cidade de Florianópolis-SC, devido à proximidade geográfica desta em relação ao município de estudo, Palhoça-SC. Assim, tem-se como intensidade pluviométrica, para o tempo de retorno de 25 anos, o volume de 144mm/h.

Com os valores das áreas de contribuição e intensidade pluviométricas é possível calcular as vazões de projeto Q_1 , que estão expressas na Tabela 4-12 e na Tabela 4-13.

Tabela 4-12: Vazões de projeto para as áreas de contribuição da cobertura da escola.

| | A | I | Q_1 |
|------------|-----------------------------|----------------------------------|-------------------------|
| | Área de contribuição | Intensidade pluviométrica | Vazão de projeto |
| | [m ²] | [mm/h] | [L/min] |
| A1a | 115,03 | 144 | 276,08 |
| A1b | 115,03 | 144 | 276,08 |
| A2a | 164,28 | 144 | 394,28 |
| A2b | 206,17 | 144 | 494,81 |
| A3 | 186,15 | 144 | 446,76 |
| A4a | 146,52 | 144 | 351,66 |
| A4b | 146,52 | 144 | 351,66 |
| A5a | 121,18 | 144 | 290,84 |
| A5b | 121,18 | 144 | 290,84 |
| A6a | 181,99 | 144 | 436,77 |
| A6b | 200,56 | 144 | 481,33 |
| A7a | 148,65 | 144 | 356,76 |
| A7b | 148,65 | 144 | 356,76 |
| A7c | 148,65 | 144 | 356,76 |
| A7d | 24,36 | 144 | 58,46 |
| A8a | 175,46 | 144 | 421,09 |
| A8b | 175,46 | 144 | 421,09 |
| A9 | 12,20 | 144 | 29,28 |
| A10 | 12,20 | 144 | 29,28 |
| A11 | 8,92 | 144 | 21,42 |
| A12 | 8,86 | 144 | 21,25 |
| A13 | 38,31 | 144 | 91,95 |

Tabela 4-13: Vazões de projeto para as áreas de contribuição da cobertura da quadra.

| | A | I | Q₁ |
|------------|-----------------------------|----------------------------------|-------------------------|
| | Área de contribuição | Intensidade pluviométrica | Vazão de projeto |
| | [m ²] | [mm/h] | [L/min] |
| AQ1 | 191,306 | 144 | 459,1344 |
| AQ2 | 191,306 | 144 | 459,1344 |
| AQ3 | 191,306 | 144 | 459,1344 |
| AQ4 | 191,306 | 144 | 459,1344 |

Para a cobertura da escola, optou-se por calhas em PVC, com seção circular, e para a cobertura da quadra foi adotado o padrão FNDE de calhas em chapas de aço de 40cm de lado. Logo, para todas as superfícies deste dimensionamento, o valor adotado para o coeficiente de rugosidade n é de 0,011 (Quadro 4-6).

Quadro 4-6 Coeficientes de rugosidade para as superfícies de acordo com a NBR 10844.

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

Fonte: ABNT (1989).

Na Tabela 4-14 estão as variáveis relacionadas de forma a oferecer uma capacidade Q_2 maior que a vazão de projeto Q_1 em todas as áreas de contribuição.

Tabela 4-14 - Dimensionamento das calhas de acordo com a rotina de cálculo preconizada pela NBR 10844 - Cobertura da escola.

| | n | D | S | Ph | Rh | Q₂ | Q₁ |
|------------|---------------------------|-------------------|-----------------------|----------------------|-----------------|----------------------|----------------------|
| | Coeficiente de rugosidade | Diâmetro da calha | Área da seção molhada | Perímetro hidráulico | Raio hidráulico | Capacidade da calha | Vazão de projeto |
| | | [m] | [m ²] | [m] | [m] | [L/min] | [L/min] |
| A1a | 0,011 | 0,170 | 0,0113 | 0,2670 | 0,0425 | 533,08 | 276,08 |
| A1b | 0,011 | 0,170 | 0,0113 | 0,2670 | 0,0425 | 533,08 | 276,08 |
| A2a | 0,011 | 0,170 | 0,0113 | 0,2670 | 0,0425 | 533,08 | 394,28 |
| A2b | 0,011 | 0,170 | 0,0113 | 0,2670 | 0,0425 | 533,08 | 494,81 |
| A3 | 0,011 | 0,170 | 0,0113 | 0,2670 | 0,0425 | 533,08 | 446,76 |
| A4a | 0,011 | 0,170 | 0,0113 | 0,2670 | 0,0425 | 533,08 | 351,66 |
| A4b | 0,011 | 0,170 | 0,0113 | 0,2670 | 0,0425 | 533,08 | 351,66 |
| A5a | 0,011 | 0,170 | 0,0113 | 0,2670 | 0,0425 | 533,08 | 290,84 |

| | n | D | S | Ph | Rh | Q2 | Q1 |
|------------|---------------------------|-------------------|-----------------------|----------------------|-----------------|---------------------|------------------|
| | Coeficiente de rugosidade | Diâmetro da calha | Área da seção molhada | Perímetro hidráulico | Raio hidráulico | Capacidade da calha | Vazão de projeto |
| A5b | 0,011 | 0,170 | 0,0113 | 0,2670 | 0,0425 | 533,08 | 290,84 |
| A6a | 0,011 | 0,170 | 0,0113 | 0,2670 | 0,0425 | 533,08 | 436,77 |
| A6b | 0,011 | 0,170 | 0,0113 | 0,2670 | 0,0425 | 533,08 | 481,33 |
| A7a | 0,011 | 0,170 | 0,0113 | 0,2670 | 0,0425 | 533,08 | 356,76 |
| A7b | 0,011 | 0,170 | 0,0113 | 0,2670 | 0,0425 | 533,08 | 356,76 |
| A7c | 0,011 | 0,170 | 0,0113 | 0,2670 | 0,0425 | 533,08 | 356,76 |
| A7d | 0,011 | 0,170 | 0,0113 | 0,2670 | 0,0425 | 533,08 | 58,46 |
| A8a | 0,011 | 0,170 | 0,0113 | 0,2670 | 0,0425 | 533,08 | 421,09 |
| A8b | 0,011 | 0,170 | 0,0113 | 0,2670 | 0,0425 | 533,08 | 421,09 |
| A9 | 0,011 | 0,119 | 0,0056 | 0,1869 | 0,0298 | 205,93 | 29,28 |
| A10 | 0,011 | 0,119 | 0,0056 | 0,1869 | 0,0298 | 205,93 | 29,28 |
| A11 | 0,011 | 0,119 | 0,0056 | 0,1869 | 0,0298 | 205,93 | 21,42 |
| A12 | 0,011 | 0,119 | 0,0056 | 0,1869 | 0,0298 | 205,93 | 21,25 |
| A13 | 0,011 | 0,119 | 0,0056 | 0,1869 | 0,0298 | 205,93 | 91,95 |

Assim temos:

- 170mm de diâmetro, com 0,5% de inclinação nos telhados de maior área de contribuição (A1a a A8b);
- 119mm, com 0,5% de inclinação nos telhados de menor área (A9 a A13).

Para a cobertura da quadra, a capacidade encontrada para as calhas metálicas com lado de 40cm sugerida no projeto padrão do FNDE (13.662,45L/min) foi muito maior que a solicitação da vazão de projeto (459,13L/min), de forma que poderia ser escolhida uma seção de calha menor. Todavia optou-se por manter as dimensões originais do projeto-padrão FNDE. As variáveis relativas ao dimensionamento das calhas da quadra poliesportiva estão na Tabela 4-15.

Tabela 4-15: Dimensionamento das calhas de acordo com a rotina de cálculo preconizada pela NBR 10844 - Cobertura da quadra poliesportiva.

| | n | B | h | S | Ph | Rh | Q2 | Q1 |
|------------|---------------------------|---------------|-------------------------|-----------------------|----------------------|-----------------|---------------------|------------------|
| | Coeficiente de rugosidade | Lado da seção | Altura da lâmina d'água | Área da seção molhada | Perímetro hidráulico | Raio hidráulico | Capacidade da calha | Vazão de projeto |
| | | [m] | [m] | [m ²] | [m] | [m] | [L/min] | [L/min] |
| AQ1 | 0,011 | 0,4 | 0,35 | 0,14 | 1,1 | 0,1273 | 13662,45 | 459,13 |
| AQ2 | 0,011 | 0,4 | 0,35 | 0,14 | 1,1 | 0,1273 | 13662,45 | 459,13 |
| AQ3 | 0,011 | 0,4 | 0,35 | 0,14 | 1,1 | 0,1273 | 13662,45 | 459,13 |
| AQ4 | 0,011 | 0,4 | 0,35 | 0,14 | 1,1 | 0,1273 | 13662,45 | 459,13 |

4.1.2.2 Condutores verticais

Para determinar o comprimento do condutor vertical, considerou-se a medição *in loco* da distância entre cada um dos beirais das coberturas e o nível do piso. Estas medidas estão expressas na Tabela 4-16.

Tabela 4-16 Relação entre a vazão de projeto a ser comportada por cada condutor horizontal, juntamente com seu respectivo comprimento previsto.

| | Vazão de projeto [L/min] | Comprimento do condutor vertical [m] |
|------------|-----------------------------|---|
| A1a | 276,08 | 3,23 |
| A1b | 276,08 | 3,23 |
| A2a | 394,28 | 2,44 |
| A2b | 494,81 | 2,43 |
| A3 | 446,76 | 4,42 |
| A4a | 351,66 | 2,44 |
| A4b | 351,66 | 2,44 |
| A5a | 290,84 | 3,23 |
| A5b | 290,84 | 3,23 |
| A6a | 436,77 | 2,43 |
| A6b | 481,33 | 2,43 |
| A7a | 356,76 | 2,16 |
| A7b | 356,76 | 2,16 |
| A7c | 356,76 | 2,16 |
| A8a | 421,09 | 3,17 |
| A8b | 421,09 | 3,17 |
| A9 | 29,28 | 2,45 |
| A10 | 29,28 | 2,45 |
| A11 | 21,42 | 2,43 |
| A12 | 21,25 | 2,50 |
| A13 | 91,95 | 2,78 |
| AQ1 | 459,13 | 5,51 |
| AQ2 | 459,13 | 5,51 |
| AQ3 | 459,13 | 5,51 |
| AQ4 | 459,13 | 5,51 |

Ao cruzar os dados de vazão de projeto determinados para cada área de contribuição com os dados do comprimento do condutor, para todas as áreas o ábaco retornou valores de diâmetro interno menores que o diâmetro mínimo, de 70mm. Por questões de praticidade e disponibilidade no mercado (os condutores horizontais foram dimensionados com diâmetro

nominal de 150mm e o mercado não dispõe de luvas de redução de 150mm para 70mm) , foram adotados então condutores verticais de 100mm de diâmetro nominal para todas as áreas de contribuição, exceto para a quadra coberta, cujo projeto padrão indica diâmetro nominal de 150mm, o qual será mantido neste dimensionamento.

4.1.2.3 Condutores horizontais

Procurou-se neste dimensionamento utilizar as menores inclinações possíveis para os condutores horizontais, tendo em vista os longos comprimentos que os tubos têm de perfazer, o que conseqüentemente tende a resultar em valas de profundidade impraticável. A inclinação de 0,5% teve preferência, portanto. Ainda assim, devido às altas vazões atingidas na proximidade da cisterna, ultrapassando a escala de 4000L/min, nos tubos próximos à cisterna foi necessário adotar uma inclinação de 2%. O projeto contendo a localização e dimensão destes tubos está no APÊNDICE IV deste trabalho - Projeto de drenagem de águas pluviais.

4.1.3 Dimensionamento do conjunto elevatório

No presente projeto, a demanda de reservação de 26m³ foi dividida em duas cisternas enterradas, de 10m³ cada, mais dois reservatórios superiores de 3m³ cada. Assim, considerando-se um reservatório superior de 3000L e um tempo de 3 horas para encher o reservatório superior obtém-se:

$$Q = \frac{3000 \text{ litros}}{3 \text{ horas}} \times \frac{1}{1000 \times 3600} 0,0002778 \text{ m}^3/\text{s}$$

e

$$X = \frac{3}{24} = 0,125$$

Então, o diâmetro de recalque pela fórmula de Forschheimer é:

$$D_R = 1,3\sqrt{0,0002778} \times \sqrt[4]{0,125} = 0,01288\text{m}$$

→ diâmetro adotado: 20mm

A tubulação de sucção adotada deve ter o diâmetro comercialmente disponível imediatamente maior em relação ao diâmetro de recalque dimensionado, ou seja, $D_S = 25mm$.

A tubulação dos extravasores deve ter o diâmetro comercialmente disponível imediatamente superior ao diâmetro de alimentação. Neste caso, como o diâmetro de entrada de água de chuva na cisterna inferior é de 200mm, o diâmetro do extravasor da cisterna deve ser de 250mm. O extravasor deve ser ligado à rede de galerias pluviais e deve ser instalado numa cota de, no mínimo, 70mm abaixo da chegada da tubulação de fornecimento potável, de forma a garantir a separação atmosférica da rede potável. Quanto ao extravasor do reservatório superior, este assume o diâmetro imediatamente superior ao de recalque, ou seja, 25mm.

Para obter os comprimentos e desníveis necessários para a determinação da altura manométrica do conjunto elevatório, de forma a determinar a potência necessária para o bombeamento, é conveniente utilizar o esquema vertical do conjunto elevatório, o que pode ser feito conforme a Figura 4-9

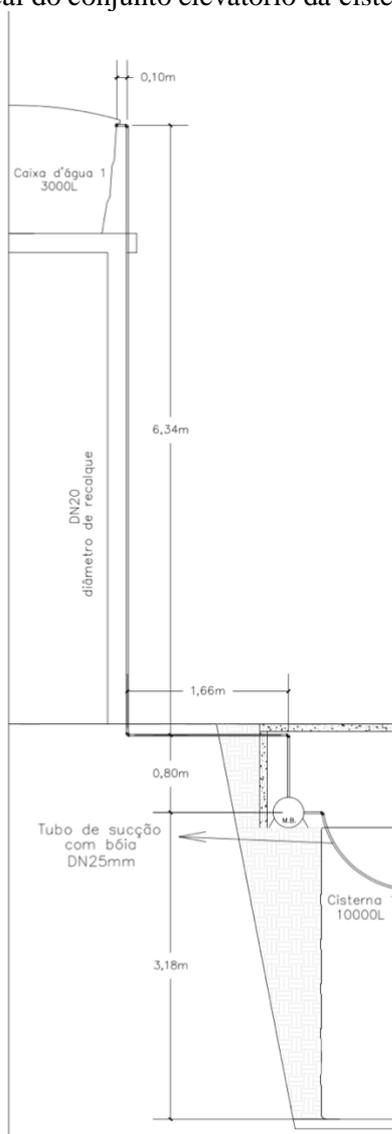
Com a obtenção da altura manométrica, é possível calcular a potência da bomba. Para bombas com potência menor de 2C.V., o rendimento usual é de 40% a 60%. Como provavelmente a potência da bomba não será maior de 1C.V., o rendimento adotado neste dimensionamento é de 50%.

$$P = \frac{Q \times 10,27m}{75 \times 0,5}$$

$$P = \frac{0,2778L/s \times 10,27m}{75 \times 0,5} = 0,076 C.V.$$

Assim, a potência utilizada no conjunto elevatório da cisterna 1 será de 1/2C.V., a potência mínima.

Os dois conjuntos de cisterna de 10.000L e reservatório superior de 3.000L possuem configuração bastante semelhante entre si, de forma que os valores para a potência requerida para abastecer o reservatório superior também se assemelham entre si. As tabelas 4-17 e 4-18 contêm os dados de dimensionamento do conjunto elevatório para as caixas d'água 1 e 2, respectivamente. As representações esquemáticas dos dois conjuntos elevatórios estão no APENDICE IV - Detalhes isométricos e representação esquemática dos barriletes.

Figura 4-9: Esquema vertical do conjunto elevatório da cisterna 1

Fonte: Elaboração própria

Tabela 4-17 Dados de dimensionamento do conjunto elevatório referente à caixa d'água 1.

| | | | |
|-----------------------------|-------------------------------------|-------------|-----------------------------------|
| | Capacidade do tanque de cima | 3.000 | L |
| | Tempo de enchimento | 3 | h |
| Q | Vazão | 0,000277778 | m ³ /s = 0,2777778 L/s |
| Dr | Diâmetro de recalque | 0,012883077 | m → 20 mm |
| Ds | Diâmetro de sucção | | 25 mm |
| H_{EST(rec)} | Desnível de recalque | 7,14 | m |
| H_{EST(suc)} | Desnível de sucção | 3,18 | m |
| j rec | Perda de carga unitária de recalque | 0,06 | |

| | | |
|-----------------------------|-----------------------------------|-------------|
| j suc | Perda de carga unitária da sucção | 0,02 |
| | Comprimento real do recalque | 8,90 |
| | Comprimento real da sucção | 3,68 |
| | Comp. equivalente do recalque | 7,70 |
| | Comp. equivalente da sucção | 14,80 |
| J rec | Perda de carga no recalque | 1,01 |
| J suc | Perda de carga na sucção | 0,39 |
| H_{MAN(rec)} | Altura manométrica de recalque | 8,15 |
| H_{MAN(suc)} | Altura manométrica de sucção | 3,57 |
| H_{MAN} | Altura manométrica total | 11,72 |
| R | Rendimento | 0,50 |
| P | Potência | 0,086844783 |

Tabela 4-18 Dados de dimensionamento do conjunto elevatório referente à caixa d'água 2

| | | | |
|-----------------------------|-------------------------------------|-------------|-----------------------------------|
| | Capacidade do tanque de cima | 3.000 | L |
| | Tempo de enchimento | 3 | h |
| Q | Vazão | 0,00027778 | m ³ /s = 0,2777778 L/s |
| Dr | Diâmetro de recalque | 0,01288308 | m → 20 mm |
| Ds | Diâmetro de sucção | | 25 mm |
| H_{EST(rec)} | Desnível de recalque | 6,04 | m |
| H_{EST(suc)} | Desnível de sucção | 3,18 | m |
| j rec | Perda de carga unitária de recalque | 0,06 | |
| j suc | Perda de carga unitária da sucção | 0,02 | |
| | Comprimento real do recalque | 7,80 | |
| | Comprimento real da sucção | 3,68 | |
| | Comp. equivalente do recalque | 7,70 | |
| | Comp. Equivalente da sucção | 14,80 | |
| J rec | Perda de carga no recalque | 0,95 | |
| J suc | Perda de carga na sucção | 0,39 | |
| H_{MAN(rec)} | Altura manométrica de recalque | 6,99 | |
| H_{MAN(suc)} | Altura manométrica de sucção | 3,57 | |
| H_{MAN} | Altura manométrica total | 10,56 | |
| R | Rendimento | 0,50 | |
| P | Potência | 0,078199291 | |

Recomenda-se a associação de duas motobombas para assegurar o provimento de água à edificação no caso de falha de uma das bombas. As motobombas no projeto deste estudo serão alocadas junto à cisterna, no mesmo poço de inspeção relativo à cisterna e ao filtro de sólidos. Neste mesmo poço de inspeção deve ficar o quadro monofásico das bombas, protegido por um disjuntor, e o quadro de controle de chaves de nível, sendo duas instaladas

no reservatório superior e uma no reservatório inferior. As chaves de nível devem ser instaladas de forma a garantir que a motobomba ligue quando o reservatório superior atingir o volume mínimo de 100 litros e desligue quando atingir o volume máximo de 3.000 litros. O eletrônível do reservatório inferior deve ser instalado de forma a garantir que a motobomba não ligue caso o reservatório inferior contenha menos de 100 litros.

Filtro de sólidos

Considerando-se a divisão das áreas de contribuição para alimentação das cisternas 1 e 2 (Figura 4-7), a cisterna 1 receberá água coletada de 1.350,37m² de área de contribuição, e a cisterna 2, de 1.348,56m² de área de contribuição, áreas relativamente grandes. Os filtros disponíveis no mercado que atendem a áreas grandes são os filtros industriais, de forma que para este estudo foi considerado o filtro Ciclo 2000, da Ciclodaágua.

Este filtro possui uma entrada lateral com diâmetro nominal de 250mm, para a água proveniente dos condutores horizontais do sistema de coleta, e uma saída de fundo com diâmetro nominal de 200mm, que conduz a água para o freio d'água, dentro da cisterna.

Neste estudo, o freio d'água considerado é do modelo fabricado *in loco*, com tubos de diâmetro nominal de 200mm e dois joelhos de 90°, bem como o extravasor, que pode ser confeccionado *in loco* com tubos com diâmetro nominal 250mm e um joelho 90° para propiciar o efeito desnatador. É importante que a boca do extravasor esteja numa cota de, no mínimo, 70mm abaixo do abastecimento de água potável, de forma a garantir a separação atmosférica, e que contenha uma malha de nylon que impeça a entrada na cisterna de pequenos animais provenientes da rede pluvial.

Abastecimento de água potável

É importante que a tubulação que conduz para o reservatório a água da rede potável, para os momentos de estiagem em que eventualmente o reservatório não disponha de água de chuva, tenha, além da separação atmosférica, uma válvula de retenção que impeça o refluxo de água da cisterna para a rede de água potável.

Para que a água potável seja utilizada o mínimo possível, pode ser adotada uma válvula solenoide com eletrôníveis. O sistema de eletrôníveis garante que a válvula de entrada de água potável abra apenas quando a cisterna estiver com nível abaixo de 100 litros, e se feche quando o nível atingir 1.000 litros. Isso previne que, no momento em que houver chuva,

esta não extravase, devido ao reservatório estar abastecido de água potável. Assim, busca-se evitar o desperdício.

4.1.4 Dimensionamento da tubulação de abastecimento aos pontos de consumo

As áreas molhadas referentes às instalações de abastecimento de água não potável para a escola objeto deste trabalho são as áreas que serão construídas ou reformadas no projeto de sua reforma e ampliação:

- Sanitário dos alunos (a ser reformado);
- Sanitário da sala dos professores (a ser construído);
- Segundo sanitário dos funcionários (a ser construído);
- Segundo sanitário dos alunos (a ser construído).

As pranchas contendo as plantas baixas e isométricos das instalações de abastecimento de água não potável projetadas para estas áreas estão no APÊNDICE IV - Projeto de instalações de fornecimento de água não potável - Planta baixa, cobertura e isométricos.

Há atualmente na escola um banheiro para uso dos funcionários técnico-administrativos. Esta área molhada não consta na reforma prevista para a escola e, como o consumo referente a ela não apresenta grande impacto no consumo total (5 usuários, de um total de 708), também não será considerada neste estudo.

As tabelas de dimensionamento da tubulação das instalações hidráulicas de acordo com a rotina de cálculo A.5 da NBR 5626 (ABNT, 1998) estão no APÊNDICE III.

4.2 VIABILIDADE ECONÔMICA

4.2.1 Estimativa de custo de implantação

Os custos relativos aos reservatórios superiores e inferiores, bem como filtros e acessórios foram cotados junto a três empresas distribuidoras destes itens, sendo escolhido como custo do item a mediana dos valores cotados, resultando nos preços da Tabela 4-19.

Os custos dos filtros de sólidos encontrados junto aos fornecedores foram bastante altos. Isto se deve ao fato de que as grandes áreas de contribuição deste projeto exigiram o uso de filtros industriais, relativamente onerosos.

De acordo com Ferreira (2005), os custos referentes à mão de obra para implantação de sistemas de aproveitamento pluvial em edificações já existentes, geralmente representam um montante relativamente pequeno em relação ao total do custo de implantação, valor que diminui ainda mais nas obras em fase de projeto.

Os custos relativos à mão de obra necessária para instalação dos reservatórios, bem como os itens necessários para a execução das cisternas enterradas foram obtidas do sistema SINAPI, com mês de referência de junho de 2019, como apresentado na Tabela 4-19.

Os custos para instalação dos sistemas de bombeamento, considerando-se bombas, quadro, chaves de nível, disjuntores, fiação, eletrodutos, mão de obra etc. foram levantados em R\$ 2.000,00 por conjunto elevatório.

Tabela 4-19 Levantamento de preços dos itens considerados para inclusão de aproveitamento pluvial no projeto de reforma e ampliação.

| Item | Unidade | Quantidade | Valor Unitário | Valor Total | Fonte |
|---|----------------|-------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|
| Cisterna subterrânea Acqualimp com capacidade de 10000L | unid. | 2 | R\$ 8.073,55 | R\$ 16.147,10 | Pesquisa de Mercado |
| Caixa d'água em polietileno com capacidade de 3000L | unid. | 2 | R\$ 899,90 | R\$ 1.799,80 | Pesquisa de Mercado |
| Filtro de materiais sólidos Ciclo 2000 | unid. | 2 | R\$ 7.930,00 | R\$ 15.860,00 | Pesquisa de Mercado |
| Sistema de bombeamento | | 2 | R\$ 2.000,00 | R\$ 4.000,00 | Pesquisa de Mercado |
| Realimentador automático com água da rede potável c/ eletrônível | unid. | 2 | R\$ 412,00 | R\$ 824,00 | Pesquisa de Mercado |
| Bóia de sucção com filtro | unid. | 2 | R\$ 230,00 | R\$ 460,00 | Pesquisa de Mercado |
| Escavação mecanizada - material 1ª categoria | m³ | 86,50 | R\$ 7,53 | R\$ 651,33 | SINAPI - 89942 |
| Reaterro manual com cimento traço 1:15 | m³ | 47,07 | R\$ 35,00 | R\$ 1.647,47 | SINAPI - 96995 |
| Cimento para reaterro | kg | 5759,76 | R\$ 0,47 | R\$ 2.707,08 | SINAPI - 34753 |
| Base de concreto | m³ | 1,20 | R\$ 376,63 | R\$ 450,44 | SINAPI - 97094 |
| Poço de visita retangular em blocos de concreto | unid. | 2,00 | R\$ 6.102,41 | R\$ 12.204,82 | SINAPI - 98026 |
| Encanador ou bombeiro hidráulico c/ encargos | h | 40,00 | R\$ 20,11 | R\$ 804,40 | SINAPI - 88267 |
| Total | | | | R\$ 57.556,46 | |

4.2.2 Estimativa de consumo de energia elétrica

Em contato com a Centrais Elétricas de Santa Catarina - CELESC, concessionária responsável pelo fornecimento de energia elétrica à escola, foi levantado que a escola corresponde à categoria B3 (trifásico - demais classes), de forma que a tarifa para ela homologada é de 0,5205R\$/kWh sem os impostos. A tarifa total é calculada com a inclusão dos impostos, de acordo com a relação abaixo:

$$Tarifa\ Final = \frac{Tarifa\ Homologada}{\left[100 - \frac{PIS + COFINS + ICMS}{100}\right]}$$

Da tabela de alíquotas referentes ao mês de junho de 2019, pode-se retirar as alíquotas de 0,84%, 3,89% e 12% para PIS, COFINS e ICMS, respectivamente, de forma que a tarifa estimada para a escola é de R\$0,6245/kWh, ressaltando que esta taxa é a melhor aproximação possível, tendo em consideração as informações disponíveis, mas é apenas uma estimativa, posto que as alíquotas de impostos flutuam mensalmente.

Considerando-se que o dimensionamento do conjunto elevatório resultou em uma motobomba de ½ C.V., ou seja, de 0,7355 kW funcionando três horas por dia, e que cada uma das duas cisternas contará com uma motobomba ativa, então:

$$Custo\ de\ energia\ eletrica\ por\ mês = 0,6245 \frac{R\$}{kWh} \times 0,7355kW \times 3 \frac{horas}{dia} \times 20 \frac{dias}{mês} \times 2bombas$$

$$Custo\ de\ energia\ elétrica\ por\ mês = R\$55,11$$

4.2.3 Potencial de economia de água potável

O consumo mensal de água potável faturado pelo Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto - SAMAE Palhoça para os doze meses do ano de 2018 contabilizou uma média de 168m³ ao mês. A pesquisa de usos finais realizada no presente estudo encontrou um percentual de 78,77% da água potável total utilizada para fins não potáveis (Tabela 4-20).

Tabela 4-20 Consumo médio mensal de água da Escola.

| Período | Consumo total (m ³) | Consumo não potável (m ³) |
|---------|---------------------------------|---------------------------------------|
| Jan. | 165 | 129,97 |
| Fev. | 108 | 85,07 |

| Período | Consumo total (m³) | Consumo não potável (m³) |
|---------------------|--------------------------------------|--|
| Mar. | 121 | 95,31 |
| Abr. | 116 | 91,37 |
| Mai. | 190 | 149,26 |
| Jun. | 263 | 207,16 |
| Jul. | 197 | 155,17 |
| Ago. | 164 | 128,78 |
| Set. | 130 | 102,40 |
| Out. | 188 | 148,08 |
| Nov. | 200 | 157,54 |
| Dez. | 164 | 129,18 |
| Média mensal | 168 | 131,61 |

Assim sendo, utilizando-se 100% de água pluvial para abastecimento de água para fins não potáveis na escola, podem ser substituídos cerca de 131,61m³ de água potável por água pluvial ao mês.

Desse modo, o potencial de economia mensal da escola com substituição de água potável por água pluvial para os fins não potáveis, considerando-se a estrutura tarifária do fornecimento de água no ano de 2019 (Tabela 3-2) é:

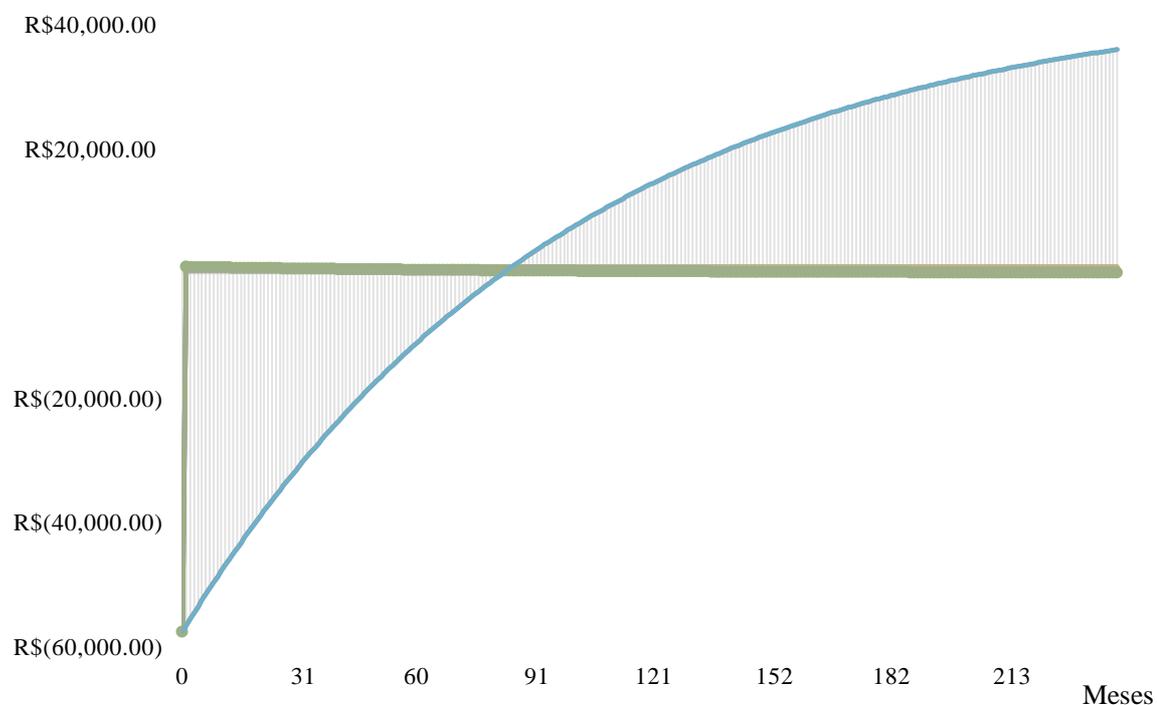
$$\left(5,2424 \frac{R\$}{m^3} \times 10 \frac{m^3}{mês} \right) + \left(8,4892 \frac{R\$}{m^3} \times 121,61 \frac{m^3}{mês} \right) = \frac{R\$1.084,80}{mês}$$

4.2.4 Cálculo do período de retorno do investimento

Considerando-se um investimento inicial de R\$ 57.556,46 referente ao custo de implantação do sistema, uma economia de água mensal de R\$ 1.084,80 ao mês, um custo de R\$55,11 mensais em energia elétrica e uma taxa de juros de 1% ao mês, a inclusão do sistema de aproveitamento pluvial na reforma e ampliação da escola objeto de estudo irá obter pelo método do *Payback* Descontado um período de retorno de 83 meses, o que corresponde a 6 anos e 11 meses (Gráfico 4-2). A tabela completa do fluxo de caixa descontado mensal desde o investimento inicial até o sistema alcançar o período de *payback* está no APÊNDICE II - Fluxo de caixa de acordo com o método do *Payback* Descontado. O período de retorno

encontrado pode ser considerado viável, tendo em vista um tempo de vida útil de um sistema de aproveitamento pluvial de 20 anos.

Gráfico 4-2 - Fluxos de caixa descontados ao longo do período de vida útil do sistema



Fonte: Elaboração própria.

5 CONCLUSÃO

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste trabalho foi dimensionar um sistema de aproveitamento pluvial para usos não potáveis aplicável à realidade da Escola de Ensino Básico Prof^a. Claudete Maria Hoffmann Domingos, localizada no bairro Jardim Eucaliptus, cidade de Palhoça-SC, utilizando os métodos sugeridos pela NBR 15527, bem como estudar o potencial de economia de água e a viabilidade econômica da implantação deste sistema no projeto de reforma e ampliação da escola.

Para isto, foi necessário primeiramente levantar o consumo médio mensal de água da escola por meio da leitura e registro dos consumos medidos pela concessionária de água local, SAMAE Palhoça, nos meses janeiro a dezembro de 2018, sendo que a escola apresentou consumo mensal de água variando entre 108m³ e 263m³, com uma média de 168m³ mensais.

Posteriormente, foi necessário estimar quanto da água consumida mensalmente poderia ser substituída por água pluvial, ou seja, quanto da água consumida pela escola corresponde aos usos não potáveis. Esta estimativa foi realizada por meio de aplicação de questionários a uma amostra da população de usuários da escola, cobrindo alunos, professores e profissionais responsáveis pela limpeza, pela cozinha e pela sua administração. Além dos questionários, foram determinadas as vazões dos equipamentos hidrossanitários por meio de medição direta ou pesquisa nos catálogos digitais dos fabricantes. O resultado deste levantamento foi de 60,31% do consumo de água destinados às bacias sanitárias do banheiro dos alunos, 11,02% destinados às bacias sanitárias do banheiro dos professores e funcionários, 0,94% destinados aos mictórios e 6,49% destinados à limpeza das áreas abertas e fechadas, contabilizando 78,77% do consumo total destinado aos usos para fins não potáveis.

Após levantar a demanda de água da escola que pode ser substituída por fonte pluvial, foi levantada a área de cobertura da escola após a reforma, considerando-se a configuração das coberturas atuais e os projetos padrão do MEC para infraestrutura de áreas escolares. Foram também coletados os dados pluviométricos dos anos de 1989 a 2018 pelo pluviômetro ETA Casan-Montante, operado pela CIRAM/EPAGRI, de forma a completar os dados de entrada necessários para os dimensionamentos de reservatório de água pluvial por meio dos métodos sugeridos pela NBR 15527.

O dimensionamento por estes métodos retornou diferentes valores para o reservatório de água pluvial. Os métodos prático inglês, prático brasileiro e prático alemão retornaram os valores de 244m^3 , 857m^3 e 94m^3 , respectivamente. Ou seja, valores muito altos. Esses métodos não se mostraram viáveis para a realidade da escola objeto de estudo por razões de espaço e de custo. O método prático australiano, o método da análise da simulação e o método de Rippl retornaram valores similares entre si, de 30m^3 , 26m^3 e $25,37\text{m}^3$, respectivamente. Todos estes métodos levam em consideração a demanda de água da edificação e o balanço hídrico dentro do reservatório ao longo dos meses, representando de forma satisfatória a realidade da escola. Assim, foi escolhido o volume de reservatório de 26m^3 , que atende ao método de Rippl e ao método da análise da simulação. Para fins práticos, este volume foi dividido em dois conjuntos formados por uma cisterna de 10.000L mais um reservatório superior de 3.000L. Estes dois conjuntos foram colocados em pontos escolhidos de forma a minimizar a distância percorrida pela água por calhas e condutores e a manter proximidade entre reservatórios e pontos de consumo. O volume escolhido para os dois reservatórios superiores foi de 3.000L para que eles juntos atendam à demanda diária de água não potável levantada para a escola, de $5,81\text{m}^3$.

Este dimensionamento retornou um sistema capaz de atender a toda a demanda mensal estimada de água não potável da escola, segundo os métodos da Simulação e de Rippl, ou seja, 78,77% do consumo total mensal de água ou, de forma simplificada, uma média de 132m^3 ao mês. Para a taxa de água cobrada pela concessionária, a substituição destes 132m^3 de água potável por água de chuva tem potencial de economia de R\$1.084,80 mensais.

Foi estimado um gasto de R\$ 55,11 mensais com o funcionamento das duas moto bombas ativas e um custo de R\$ 57.556,46 para a implantação do sistema, um custo relativamente alto para um sistema de aproveitamento pluvial. Os maiores custos levantados vieram dos reservatórios, filtros e da instalação da cisterna subterrânea. Ainda assim, aplicando os valores de custos e benefícios financeiros mensais no método *payback* descontado, foi obtido um período de retorno de investimento de 6 anos e 11 meses, que se mostrou viável, tendo em vista um tempo de vida útil do sistema de 20 anos.

5.2 LIMITAÇÕES DESTE TRABALHO

- Imprecisão dos dados de consumo mensal de água disponível nos registros da concessionária.

- Incerteza por parte dos entrevistados em estimar a quantidade de água utilizada. Muitos não sabiam, por exemplo, dizer quantas vezes ao dia utilizavam a torneira da escola e quanto tempo a torneira ficava aberta durante o uso, porque estas quantidades e durações de uso não são regulares, variando consideravelmente no dia a dia dos usuários;
- Imprecisão na medição das vazões dos aparelhos hidrossanitários;
- Ausência de levantamento de dados referentes aos possíveis vazamentos não visíveis;
- Utilização de reservatório subterrâneo, ao invés de apoiado sobre o solo, devido à configuração descontínua das áreas de captação, o que inviabilizaria o uso de um reservatório apoiado e de um dispositivo de *first flush*, dificultando a manutenção do sistema, além de elevar muito o custo de instalação;
- Não foi possível ter acesso às pranchas de instalações de água fria e instalações de drenagem pluvial referentes à reforma e ampliação da escola, de forma que não foi possível fazer uma compatibilização destas com as instalações de aproveitamento pluvial deste trabalho.

5.3 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Executar pessoalmente de forma periódica a leitura do hidrômetro da unidade consumidora estudada para coletar o dado do volume mensal de consumo, posto que os volumes emitidos pela concessionária na fatura de água podem não oferecer a precisão necessária para fins de pesquisa.
- No caso de edificações já em uso, instalar instrumentos de medição nos pontos de consumo, como sensores de acionamento ou sensores de vazão associados a *data loggers*, de forma a diminuir as incertezas na estimativa de usos finais.

- Testar o custo e a eficiência de diferentes configurações de peneiramento de sólidos, além do filtro comercial na entrada da cisterna, relativamente oneroso. Sugere-se testar peneiras de calha, peneiras de descida nos condutores verticais e peneiras enterradas de menor capacidade instaladas nas caixas de inspeção. É possível também utilizar filtros caseiros e associações entre estes e diferentes modos de filtragem de sólidos.
- Estudar a elaboração de dispositivos que permitam o *first flush* e a descarga de fundo de forma prática e automática em reservatórios subterrâneos, de modo a proporcionar melhor qualidade da água reservada e melhores condições de manutenção do sistema.
- Estimar os custos anuais provenientes da manutenção de um sistema de aproveitamento pluvial, e incluí-lo na estimativa de tempo de retorno do investimento.
- Comparar custo e desempenho de diferentes formas de reservar a água coletada (tanque de polietileno, concreto armado, placas de ardósia, ferrocimento, aço galvanizado etc.).
- Simular sistemas que atendam não necessariamente a toda a demanda de água pluvial da edificação, mas apenas a uma cota parcial desta demanda, analisando a variação no potencial de economia.
- Estudar sistemas de aproveitamento pluvial em operação atualmente, de forma a avaliar seu desempenho em termos de economia gerada, de qualidade da água captada, de periodicidade de manutenção requerida, de aceitação por parte dos usuários etc.

REFERÊNCIAS

3P TECHNIK. **Acessórios**. Disponível em: <https://www.3ptechnik.de/93-0-Beruhigter-Zulauf-DN150.html>. Acesso em: 09 maio 2019.

ABNT. **NBR 10844**: Instalações prediais de águas pluviais. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1989.

ABNT. **NBR 5626**: Instalação predial de água fria. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1998.

ABNT. **NBR. 15527**. Água de chuva-Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos, Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2007.

ACQUASAVE. **Acessórios do sistema de aproveitamento pluvial**. Disponível em: <https://acquasave.com.br/produtos/aceessorios/>. Acesso em: 09 maio 2019.

ANDRADE NETO, Cícero Onofre. Segurança sanitária das águas de cisternas rurais. **Anais [...]** 4º Simpósio de Captação e Manejo de Água de Chuva, Juazeiro-BA, 2003.

ANNECCHINI, Karla Ponzio Vaccari. **Aproveitamento da água da chuva para fins não potáveis na cidade de Vitória (ES)**. 2005. Dissertação (Mestrado). Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.

BARBETTA, Pedro Alberto. **Estatística aplicada às ciências sociais**. Florianópolis: Ed. UFSC, 2014.

BARNES, L. Green buildings as sustainability education tools. **Library Hi Tech**, v. 30, n. 3, p. 397-407, 2012.

BARRETO, Douglas. Perfil do consumo residencial e usos finais da água. **Ambiente Construído**, v. 8, n. 2, p. 23-40, 2008.

BIER, A. D. **Avaliação Pós-Utilização de um Sistema de Aproveitamento de Água da Chuva**: Estudo de Caso no Centro de Convivência na UPFRS. 2013. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia e Arquitetura - Programa de Pós-graduação em Engenharia. Universidade de Passo Fundo, RS, 2013.

BONA, Berenice de Oliveira. Aproveitamento da água da chuva para fins não potáveis em edificação multifamiliar na cidade de Carazinho (RS). Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Centro de Tecnologia. Universidade Federal de Santa Maria, 2014.

BRAGA, A.; O'GRADY, H.; DABAK, T.; LANE, C. Performance of Two Advanced Rainwater Harvesting Systems in Washington DC. **Water**, n. 10, p. 667, 2018.

CAIN, N. A different path: The global water crisis and rainwater harvesting. **Consilience: The Journal of Sustainable Development**, v. 12, p. 147-157, 2014.

CASA DA CISTERNA. Disponível em: <https://casadacisterna.com.br/loja/acessorios-para-cisternas/freio-dagua-residencial-100mm/>. Acesso em: 09 maio 2019.

CELITE. **Catálogo de produtos**. Disponível em: <https://www.celite.com.br/produtos>. Acesso em: 01 maio 2019.

CHOVECHUVA. **Filtro ChoveChuva**. Disponível em: <https://www.chovechuva.com.br/>. Acesso em: 05 jun. 2019.

CICLODAÁGUA. **Catálogo de produtos**. Disponível em: ciclodagua.com/produto/ciclo-2000/. Acesso em: 05 jun. 2019.

CIPLA. **Catálogo de produtos**. Caixa de descarga. Disponível em: <https://www.cipla.com.br/produtos/linha-construcao/sistemas-de-descarga-39/caixa-de-descarga-externa-c-4-31>. Acesso em: 01 maio 2019.

COSTA, A. C. **Viabilidade de um sistema de aproveitamento de águas pluviais no Colégio Estadual de Campo Mourão**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2015.

DORNELLES, Fernando. **Aproveitamento de água de chuva no meio urbano e seu efeito na drenagem pluvial**. 2012. Tese (Doutorado). Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2012.

FASOLA, Gabriel Balparda *et al.* Potencial de economia de água em duas escolas em Florianópolis, SC. **Ambiente Construído**, v. 11, n. 4, p. 65-78, 2011.

FERNANDES, Diogo Robson Monte; MEDEIROS NETO, Vicente Batista de; MATTOS, KM da C. Viabilidade econômica do uso da água da chuva: um estudo de caso da implantação de cisterna na UFRN/RN. **Anais [...]** XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 2007.

FERREIRA, Daniel Fabrício. **Aproveitamento de águas pluviais e reuso de águas cinzas para fins não potáveis em um condomínio residencial localizado em Florianópolis SC**. 2005. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Faculdade de Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis, 2005.

FIBRATEC. **Filtro de água de chuva**. Disponível em: <http://www.fibratec.com.br/solucoes-para-sustentabilidade/filtro-de-agua-da-chuva>. Acesso em: 05 jun. 2019.

FUENTES-GALVÁN, María; ORTIZ MEDEL, Josefina; ARIAS HERNÁNDEZ, Luz. Roof Rainwater Harvesting in Central Mexico: Uses, Benefits, and Factors of Adoption. **Water**, v. 10, n. 2, p. 116, 2018.

GIACCHINI, MARGOLAINE. O método de Rippl para dimensionamento de reservatórios de sistemas de aproveitamento da água de chuva. **Anais [...]** Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia CONTECC. 2016. p. 681-685.

GOMES, Uende Aparecida Figueiredo *et al.* A captação de água de chuva no Brasil: novos aportes a partir de um olhar internacional. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 1, p. 7-16, 2014.

GONÇALVES, V. B. **Estudo de viabilidade para a implantação de um sistema de captação e aproveitamento da água de chuva no prédio de salas de aula do centro tecnológico-CTC**. 2004. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

GONÇALVES, Ricardo Franci *et al.* Uso racional da água em edificações. **ABES**, Rio de Janeiro, v. 5, p. 352, 2006.

GROUP RAINDROPS. **Reaproveitamento da água da chuva**. Tradução por: Masato Kobiyama, Cláudio Tsuyoshi Ushiwata; Manoela dos Anjos Afonso. Curitiba: Organic Trading, 2002.

GSD Engenharia. **Fre** . Disponível em <http://www.gsdengenharia.com.br/reaproveitamento-de-agua-da-chuva-comece-economizar-ja/freio-agua/>. Acesso em: 10 maio 2019.

JÚNIOR, Gilson Barbosa Athayde; DIAS, Isabelly Cícera Souza; GADELHA, Carmem Lúcia Moreira. Viabilidade econômica e aceitação social do aproveitamento de águas pluviais em residências na cidade de João Pessoa. **Ambiente Construído**, v. 8, n. 2, p. 85-98, 2008.

JAQUES, Reginaldo Campolino *et al.* **Qualidade da água de chuva no município de Florianópolis e sua potencialidade para aproveitamento em edificações**. 2005. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

KAMMERS, Pauline Cristiane. **Usos finais de água em edifícios públicos: Estudo de caso em Florianópolis-SC**. 2004. Relatório Final de Iniciação Científica (Graduação). Faculdade de Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis, 2004.

LAGE, Epaminondas de Souza *et al.* **Aproveitamento de água pluvial em concessionárias de veículos na cidade de Belo Horizonte: potencial de economia de água potável e estudo de viabilidade econômica**. 2012. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

LIBÂNIO, Marcelo. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. Campinas, SP: Átomo, 2010.

LISBOA, Marina Boldo. **Estudo da viabilidade econômica da implantação de um sistema de aproveitamento da água de chuva em uma escola pública no Município de Seara-SC**. 2008. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

LOPES, Ana Paula de Godoy; DE MIRANDA, Daniel Augusto. Análise Crítica de Métodos para Dimensionamento de Reservatórios de Água Pluvial. Estudo Comparativo dos

Municípios de Belo Horizonte (MG), Recife (PE) e Rio Branco (AC). **Scientia cum Industria**, v. 4, n. 2, p. 87-91, 2016.

MARINOSKI, Ana Kelly. **Aproveitamento de Água Pluvial para Fins Não Potáveis em Instituição de Ensino**: Estudo de Caso em Florianópolis-SC. 2007. 107 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

MAY, Simone. **Caracterização, tratamento e reúso de águas cinzas e aproveitamento de águas pluviais em edificações**. 2009. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

MEC - MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO - Fundo Nacional para do Desenvolvimento da Educação. **Projeto de cobertura de quadra escolar pequena - Revisão de 2015**. Disponível em: <https://www.fnde.gov.br/index.php/programas/par/eixos-de-atuacao/infraestrutura-fisica-escolar/item/5960-cobertura-de-quadra-escolar-pequena>. Acesso em: 05 jun. 2019.

MITCHELL, V. G. *et al.* Urban stormwater harvesting—sensitivity of a storage behaviour model. **Environmental Modelling & Software**, v. 23, n. 6, p. 782-793, 2008.

NASCIMENTO, E. A. A.; SANT'ANA, D. Caracterização dos usos-finais do consumo de água em edificações do setor hoteleiro de Brasília [characterization of water end-uses in hotels in Brasília]. **Anais [...]** III Seminário Nacional de Construções Sustentáveis; IMED: Passo Fundo, Brasil, 2014.

NICOLAU, A. P.; DO CARMO, D. F. Comparação entre métodos de Dimensionamento de reservatórios para aproveitamento de águas pluviais. **Anais [...]** 28ª Feira Nacional de Saneamento e Meio Ambiente (p. IX-035). São Paulo: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2017.

PMF. Prefeitura Municipal de Florianópolis. Secretaria Municipal de Saúde. Diretoria de Vigilância em Saúde. **Orientação técnica**: aproveitamento de águas pluviais. Florianópolis, 2018.

RAINWATERHARVESTING.ORG. **Indian Centre for Science and Environment (2001)**. Disponível em: <http://rainwaterharvesting.org>. Acesso em: 10 set. 2018.

ROCHA, V. L. **Validação do Algoritmo do Programa Netuno para Avaliação do Potencial de Economia de Água Potável e Dimensionamento de Reservatórios de Sistemas de Aproveitamento de Água Pluvial em Edificações**. 166 f. 2009. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

RUPP, Ricardo Forgiarini *et al.* Comparação de métodos para dimensionamento de reservatórios de água pluvial. **Ambiente Constru do**, Porto Alegre, v. 11, n. 4, p. 47-64, out./dez. 2011.

SAMAE - Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto - Palhoça. **Quadro de tarifas para o setor público**. Disponível em: <http://www.samaepalhoça.com.br/servico/tarifa-de-agua-e-esgoto>. Acesso em: 17 de set. 2018.

SED-SC. Secretaria de Estado da Educação de Santa Catarina - Gerência de Projetos de Infraestrutura escolar. **Termo Técnico de Referência para Contratação de Projeto - EEB Claudete Domingos**. Florianópolis, 2018

TESTON, Andréa. **Aproveitamento de água da chuva**: um estudo qualitativo entre os principais sistemas. 2012. Monografia (Especialização). Curso de Pós Graduação em Construções Sustentáveis, Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR, 2012.

TESTON, Andrea *et al.* Rainwater harvesting in buildings in Brazil: A literature review. **Water**, v. 10, n. 4, p. 471, 2018.

THIESEN, A. **Viabilidade Econômica do Aproveitamento de águas Pluviais numa Residência Unifamiliar**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Faculdade de Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis, 2004.

TOMAZ, P. **Água de Chuva** - Aproveitamento de Água de Chuva para Áreas Urbanas e Fins não Potáveis. São Paulo: Editora Navegar, 2003.

TOMAZ, P. **Curso de Manejo de águas pluviais** - Capítulo 11 - Bombeamento de águas pluviais. 2010. Livro Digital. Disponível em: <http://www.pliniotomaz.com.br/livros-digitais/>. Acesso em: 01 maio 2019.

TOMAZ, P. (2014). **Água: pague menos**. Disponível em: <http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/192-%20Pe%C3%A7as%20que%20economizam%20%C3%A1gua.pdf>. Acesso em: 01 maio 2019.

TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva em áreas urbanas para fins não potáveis**. 2015. Livro Digital. Disponível em: <http://www.pliniotomaz.com.br/livros-digitais/>. Acesso em: 01 maio 2019.

UNESCO. **The United Nations World Water Development Report 2018**: Nature-Based Solutions for Water. WWAP (United Nations World Water Assessment Programme)/UN-Water, 2018.

VACCARI, K. P **Aproveitamento da Água da Chuva para Fins Não Potáveis na Cidade de Vitória (ES)**. 2005. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Espírito Santo, 2005.

WADA, Y. *et al.* Modeling global water use for the 21st century: Water Futures and Solutions (WFaS) initiative and its approaches. **Geoscientific Model Development**, v. 9, p. 175-222, 2016.

WERNECK, Guilherme Augusto Miguel. **Sistemas de utilização da água da chuva nas edificações**: o estudo de caso da aplicação em escola de Barra do Pirai. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio de Janeiro (FAU/UFRJ). Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Arquitetura da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ, 2006.

WISY. **Smoothing inlet for pre-filtered water**. Disponível em:
<https://wisy.de/content/downloads/3-produkte/zubehoer/einlaufberuhigung-installationsanleitung/einlaufberuhigung-en.pdf>. Acesso em: 10 maio 2019.

YWASHIMA, Laís Aparecida. **Avaliação do uso de água em edifícios escolares públicos e análise de viabilidade econômica da instalação de tecnologias economizadoras nos pontos de consumo**. 2005. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Universidade Estadual de Campinas (FEC/UNICAMP), Campinas, São Paulo, 2005.

ANEXO I - Volumes mensais de precipitação registrados pelo pluviômetro ETA CASAN-MONTANTE de jan/1989 a dez/2018

| | 1989 | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 |
|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Jan | 254,6 | 253,8 | 182,5 | 379,8 | 269,7 | 180,7 | 413,7 | 275,2 | 591,7 | 248,2 | 193,3 | 392,6 | 191,6 | 317,1 | 68,9 | 162,6 | 163 |
| Fev | 168,9 | 207,6 | 101,9 | 131,5 | 360,6 | 325,9 | 257,2 | 217,7 | 302,9 | 257,3 | 133,4 | 281,8 | 341 | 83,8 | 64,3 | 150,9 | 285,2 |
| Mar | 180,7 | 181,1 | 63,7 | 319,7 | 114,4 | 210,5 | 164,3 | 207,9 | 86,2 | 251,1 | 110,1 | 197,3 | 155,1 | 147,2 | 180,5 | 239,5 | 108,5 |
| Abr | 114,8 | 134,6 | 95,9 | 27,7 | 123,9 | 102,8 | 25,8 | 53,2 | 72 | 159,8 | 70,2 | 90,8 | 70,2 | 188,7 | 86,9 | 162 | 145,9 |
| Mai | 149,3 | 67 | 102,1 | 232,6 | 100,9 | 167,1 | 9,1 | 27 | 45,1 | 86,3 | 67,6 | 15,2 | 236,7 | 101,7 | 67 | 158,2 | 200,7 |
| Jun | 32,9 | 67,9 | 81,9 | 85,4 | 46,9 | 65,9 | 92,2 | 144,2 | 45,4 | 91,9 | 91,4 | 85,1 | 107,8 | 69,9 | 80,2 | 83,3 | 34,3 |
| Jul | 72,2 | 156,7 | 10,4 | 144,3 | 210,3 | 97,1 | 55,8 | 113,2 | 88 | 102,2 | 171,3 | 70,6 | 109,7 | 141,6 | 32,9 | 90,8 | 86,6 |
| Ago | 67,5 | 103,1 | 131,9 | 127,3 | 11,2 | 14,7 | 80,6 | 106,2 | 46 | 209,5 | 25,8 | 55,7 | 50 | 70,3 | 10,2 | 16,3 | 150,5 |
| Set | 231,8 | 159,6 | 21,6 | 111,6 | 189,9 | 31,3 | 120 | 254,9 | 135,6 | 219,6 | 78,4 | 178,6 | 128,8 | 90 | 109,5 | 177,5 | 343,8 |
| Out | 70,7 | 184,7 | 172,7 | 31,7 | 111,3 | 113,2 | 133,1 | 132,5 | 372,2 | 146,4 | 211,9 | 178 | 346,3 | 144,5 | 101,5 | 132,4 | 243,5 |
| Nov | 89,2 | 154,1 | 167,4 | 119,1 | 26,9 | 107,2 | 67,1 | 63,8 | 277,2 | 149,6 | 199,3 | 113,9 | 151,2 | 135,6 | 134,2 | 127,5 | 99,9 |
| Dez | 349 | 138,1 | 180,8 | 81,8 | 280 | 200,5 | 184 | 214,5 | 207,7 | 284,3 | 153 | 275,1 | 162,7 | 208,1 | 223,7 | 266 | 115,7 |

| | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 |
|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Jan | 290,7 | 107,2 | 244,5 | 269,5 | 254,1 | 331 | 277,2 | 113,6 | 278,7 | 238 | 297,1 | 257,4 | 454,6 |
| Fev | 300,9 | 119,8 | 400,9 | 208,4 | 180,5 | 271,6 | 96,6 | 148,7 | 251,2 | 254 | 160,3 | 249,8 | 142 |
| Mar | 105,7 | 199,6 | 251,5 | 199,9 | 331,4 | 226,2 | 51,4 | 306,2 | 410,8 | 183,4 | 315,6 | 151,4 | 250,6 |
| Abr | 41,7 | 72,1 | 236,2 | 300,7 | 151 | 53,8 | 150,6 | 228,3 | 102,2 | 125,6 | 176,4 | 163,4 | 74,2 |
| Mai | 28,3 | 133,5 | 88,3 | 62,5 | 398 | 82,2 | 100,3 | 55 | 100,9 | 228 | 76,2 | 275,6 | 83,8 |
| Jun | 53,9 | 25,6 | 43 | 40,7 | 85,2 | 107,5 | 141,9 | 108,4 | 252,8 | 106,6 | 36,6 | 175,6 | 89 |
| Jul | 57,6 | 160,6 | 27,9 | 155,9 | 132,7 | 149,4 | 157,3 | 59,3 | 62,8 | 252,2 | 130,4 | 10,6 | 87,4 |
| Ago | 77,4 | 74,6 | 77,8 | 161,9 | 48,8 | 362,9 | 56,9 | 129,7 | 82 | 75 | 92,6 | 126,6 | 62,5 |
| Set | 40,4 | 156 | 269,7 | 239,5 | 181,3 | 264,9 | 85 | 158,5 | 152,8 | 291 | 91,4 | 88,2 | 153 |
| Out | 83 | 191,9 | 296,8 | 112,6 | 146,3 | 111,7 | 133,9 | 75,8 | 139,4 | 347,6 | 195,8 | 140,6 | - |
| Nov | 161,5 | 85,7 | 869,2 | 246,8 | 264,9 | 115 | 79,5 | 124,6 | 107,8 | 217 | 55 | 199,6 | - |
| Dez | 193,3 | 133,4 | 264,8 | 188,3 | 143,9 | 248,9 | 83,7 | 92,7 | 205,2 | 185,4 | 328,8 | 202,6 | - |

APÊNDICE I - Questionários aplicados para investigações de usos finais do consumo de água.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA – Departamento de Engenharia Civil

Trabalho de Conclusão de Curso - Acadêmica: Camila Ribas

Estudo de viabilidade do uso da água de chuva em escolas - EEB PROF^a CLAUDETE M^a HOFFMANN DOMINGOS

Uso da água

Quantas vezes por semana você usa a torneira da escola? Obs.: para lavar mãos e rosto, escovar dentes e qualquer outro uso.
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 mais de 15_____

Quanto tempo (em segundos) em média a torneira fica aberta por vez?
5s 10s 15s 20s 25s 30s 35s 40s mais de 40s_____

Quantas vezes por semana você bebe água do bebedouro da escola?
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 mais de 15_____

Quantos copos de água em média você bebe a cada vez? (Copo americano/200ml)
1 2 3 4 mais de 4_____

Quantas vezes por semana em média você usa o vaso sanitário da escola?
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 mais de 15_____

Pergunta para usuários do sexo masculino: Quantas vezes por semana em média você usa o mictório da escola?
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 mais de 15_____



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - UFSC - DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA
 CIVIL Trabalho de conclusão de Curso - Acadêmica: Camila Ribas
 Pesquisa: Uso da água de chuva em escolas - EEB PROF.^a CLAUDETE M^a HOFFMANN DOMINGOS

Questionário para os profissionais de manutenção e limpeza da escola

1) Limpeza das áreas cobertas

a) Quantas vezes por semana é feita limpeza das salas (salas de aula, direção, coordenação, sala dos professores, recepção, etc.)? _____

b) A limpeza das salas é feita com balde ou com mangueira? _____

c) Se é usado balde:

Quantos baldes são usados por sala em média?

(Se for usado balde, estimar o volume do balde)

Se é usada mangueira:

Quanto tempo em minutos em média dura a
 limpeza? _____

(Se for usada mangueira, estimar a vazão da
 mangueira em 5 segundos)

d) Quantas vezes por semana é feita limpeza dos banheiros? _____

e) A limpeza dos banheiros é feita com balde ou com mangueira? _____

f) Se é usado balde:

Quantos baldes são usados por banheiro em
 média? _____

(Se for usado balde, estimar o volume do balde)

Se é usada mangueira:

Quanto tempo em minutos em média dura a
 limpeza? _____

(Se for usada mangueira, estimar a vazão da
 mangueira em 5 segundos)

2) Limpeza das áreas descobertas

a) Número de vezes por semana em média em que as áreas externas são lavadas: _____

b) A limpeza das áreas externas é feita com balde ou com mangueira? _____

c) Se é usado balde:

Quantos baldes são usados em média?

(Se for usado balde, estimar o volume do balde)

Se é usada mangueira:

Quanto tempo em minutos em média dura a
 limpeza? _____

(Se for usada mangueira, estimar a vazão da
 mangueira em 5 segundos)

3) Limpeza de panos

a) Número de vezes **por dia** em média em que os panos são lavados: _____

b) Número de litros, em média usados para limpar os panos a cada vez: _____

4) Cozinha

a) São preparadas refeições na escola? _____

b) Quais? _____

c) Quantos litros de água são utilizados em média ao dia para higienizar e preparar alimentos?

d) Quantos litros de café em média são preparados por dia? _____

5) Rega de plantas

a) É realizada rega de plantas na escola? _____

b) Se sim, quantas vezes por semana? _____

c) Se sim, é usado regador ou mangueira? _____

d) Se é usado regador:

Quantos regadores são usados por vez em média?

(Se for usado regador, estimar o volume do regador)

Se é usada mangueira:

Quanto tempo em minutos em média dura a rega? _____

(Se for usada mangueira, estimar a vazão da mangueira em 5 segundos)

6) Outros

a) É utilizada alguma outra forma de água para limpeza que não foi citada (limpeza de paredes, cortinas, tapetes, lavagem de alimentos, etc.)? _____

Qual? _____

b) É utilizada alguma outra forma de água no prédio (ex. chuveiros)? _____

Estimativa do tempo de utilização: _____

APÊNDICE II - Fluxo de caixa de acordo com o método do *Payback* Descontado do início do investimento até o final do período de retorno.

| Mês | Fluxo | Fluxo descontado | Saldo |
|------------|----------------|-------------------------|-----------------------|
| 0 | -R\$ 57.556,46 | R\$ -57.556,46 | -R\$ 57.556,46 |
| 1 | R\$ 1.029,69 | R\$ 1.019,49 | -R\$ 56.536,97 |
| 2 | R\$ 1.029,69 | R\$ 1.009,40 | -R\$ 55.527,58 |
| 3 | R\$ 1.029,69 | R\$ 999,40 | -R\$ 54.528,17 |
| 4 | R\$ 1.029,69 | R\$ 989,51 | -R\$ 53.538,67 |
| 5 | R\$ 1.029,69 | R\$ 979,71 | -R\$ 52.558,95 |
| 6 | R\$ 1.029,69 | R\$ 970,01 | -R\$ 51.588,94 |
| 7 | R\$ 1.029,69 | R\$ 960,41 | -R\$ 50.628,54 |
| 8 | R\$ 1.029,69 | R\$ 950,90 | -R\$ 49.677,64 |
| 9 | R\$ 1.029,69 | R\$ 941,48 | -R\$ 48.736,16 |
| 10 | R\$ 1.029,69 | R\$ 932,16 | -R\$ 47.804,00 |
| 11 | R\$ 1.029,69 | R\$ 922,93 | -R\$ 46.881,07 |
| 12 | R\$ 1.029,69 | R\$ 913,79 | -R\$ 45.967,27 |
| 13 | R\$ 1.029,69 | R\$ 904,75 | -R\$ 45.062,53 |
| 14 | R\$ 1.029,69 | R\$ 895,79 | -R\$ 44.166,74 |
| 15 | R\$ 1.029,69 | R\$ 886,92 | -R\$ 43.279,82 |
| 16 | R\$ 1.029,69 | R\$ 878,14 | -R\$ 42.401,68 |
| 17 | R\$ 1.029,69 | R\$ 869,44 | -R\$ 41.532,24 |
| 18 | R\$ 1.029,69 | R\$ 860,83 | -R\$ 40.671,40 |
| 19 | R\$ 1.029,69 | R\$ 852,31 | -R\$ 39.819,09 |
| 20 | R\$ 1.029,69 | R\$ 843,87 | -R\$ 38.975,22 |
| 21 | R\$ 1.029,69 | R\$ 835,52 | -R\$ 38.139,70 |
| 22 | R\$ 1.029,69 | R\$ 827,25 | -R\$ 37.312,45 |
| 23 | R\$ 1.029,69 | R\$ 819,05 | -R\$ 36.493,40 |
| 24 | R\$ 1.029,69 | R\$ 810,95 | -R\$ 35.682,45 |
| 25 | R\$ 1.029,69 | R\$ 802,92 | -R\$ 34.879,54 |
| 26 | R\$ 1.029,69 | R\$ 794,97 | -R\$ 34.084,57 |
| 27 | R\$ 1.029,69 | R\$ 787,10 | -R\$ 33.297,47 |
| 28 | R\$ 1.029,69 | R\$ 779,30 | -R\$ 32.518,17 |
| 29 | R\$ 1.029,69 | R\$ 771,59 | -R\$ 31.746,58 |
| 30 | R\$ 1.029,69 | R\$ 763,95 | -R\$ 30.982,64 |
| 31 | R\$ 1.029,69 | R\$ 756,38 | -R\$ 30.226,25 |
| 32 | R\$ 1.029,69 | R\$ 748,89 | -R\$ 29.477,36 |
| 33 | R\$ 1.029,69 | R\$ 741,48 | -R\$ 28.735,88 |
| 34 | R\$ 1.029,69 | R\$ 734,14 | -R\$ 28.001,74 |
| 35 | R\$ 1.029,69 | R\$ 726,87 | -R\$ 27.274,87 |
| 36 | R\$ 1.029,69 | R\$ 719,67 | -R\$ 26.555,20 |
| 37 | R\$ 1.029,69 | R\$ 712,55 | -R\$ 25.842,65 |
| 38 | R\$ 1.029,69 | R\$ 705,49 | -R\$ 25.137,16 |
| 39 | R\$ 1.029,69 | R\$ 698,51 | -R\$ 24.438,65 |
| 40 | R\$ 1.029,69 | R\$ 691,59 | -R\$ 23.747,06 |

| Mês | Fluxo | Fluxo descontado | Saldo |
|------------|--------------|-------------------------|----------------|
| 41 | R\$ 1.029,69 | R\$ 684,74 | -R\$ 23.062,32 |
| 42 | R\$ 1.029,69 | R\$ 677,96 | -R\$ 22.384,35 |
| 43 | R\$ 1.029,69 | R\$ 671,25 | -R\$ 21.713,10 |
| 44 | R\$ 1.029,69 | R\$ 664,61 | -R\$ 21.048,49 |
| 45 | R\$ 1.029,69 | R\$ 658,03 | -R\$ 20.390,47 |
| 46 | R\$ 1.029,69 | R\$ 651,51 | -R\$ 19.738,96 |
| 47 | R\$ 1.029,69 | R\$ 645,06 | -R\$ 19.093,90 |
| 48 | R\$ 1.029,69 | R\$ 638,67 | -R\$ 18.455,22 |
| 49 | R\$ 1.029,69 | R\$ 632,35 | -R\$ 17.822,87 |
| 50 | R\$ 1.029,69 | R\$ 626,09 | -R\$ 17.196,78 |
| 51 | R\$ 1.029,69 | R\$ 619,89 | -R\$ 16.576,89 |
| 52 | R\$ 1.029,69 | R\$ 613,75 | -R\$ 15.963,14 |
| 53 | R\$ 1.029,69 | R\$ 607,68 | -R\$ 15.355,47 |
| 54 | R\$ 1.029,69 | R\$ 601,66 | -R\$ 14.753,81 |
| 55 | R\$ 1.029,69 | R\$ 595,70 | -R\$ 14.158,11 |
| 56 | R\$ 1.029,69 | R\$ 589,80 | -R\$ 13.568,30 |
| 57 | R\$ 1.029,69 | R\$ 583,96 | -R\$ 12.984,34 |
| 58 | R\$ 1.029,69 | R\$ 578,18 | -R\$ 12.406,15 |
| 59 | R\$ 1.029,69 | R\$ 572,46 | -R\$ 11.833,70 |
| 60 | R\$ 1.029,69 | R\$ 566,79 | -R\$ 11.266,91 |
| 61 | R\$ 1.029,69 | R\$ 561,18 | -R\$ 10.705,73 |
| 62 | R\$ 1.029,69 | R\$ 555,62 | -R\$ 10.150,11 |
| 63 | R\$ 1.029,69 | R\$ 550,12 | -R\$ 9.599,99 |
| 64 | R\$ 1.029,69 | R\$ 544,67 | -R\$ 9.055,31 |
| 65 | R\$ 1.029,69 | R\$ 539,28 | -R\$ 8.516,03 |
| 66 | R\$ 1.029,69 | R\$ 533,94 | -R\$ 7.982,09 |
| 67 | R\$ 1.029,69 | R\$ 528,66 | -R\$ 7.453,43 |
| 68 | R\$ 1.029,69 | R\$ 523,42 | -R\$ 6.930,01 |
| 69 | R\$ 1.029,69 | R\$ 518,24 | -R\$ 6.411,77 |
| 70 | R\$ 1.029,69 | R\$ 513,11 | -R\$ 5.898,67 |
| 71 | R\$ 1.029,69 | R\$ 508,03 | -R\$ 5.390,64 |
| 72 | R\$ 1.029,69 | R\$ 503,00 | -R\$ 4.887,64 |
| 73 | R\$ 1.029,69 | R\$ 498,02 | -R\$ 4.389,62 |
| 74 | R\$ 1.029,69 | R\$ 493,09 | -R\$ 3.896,54 |
| 75 | R\$ 1.029,69 | R\$ 488,20 | -R\$ 3.408,33 |
| 76 | R\$ 1.029,69 | R\$ 483,37 | -R\$ 2.924,96 |
| 77 | R\$ 1.029,69 | R\$ 478,58 | -R\$ 2.446,38 |
| 78 | R\$ 1.029,69 | R\$ 473,85 | -R\$ 1.972,53 |
| 79 | R\$ 1.029,69 | R\$ 469,15 | -R\$ 1.503,38 |
| 80 | R\$ 1.029,69 | R\$ 464,51 | -R\$ 1.038,87 |
| 81 | R\$ 1.029,69 | R\$ 459,91 | -R\$ 578,96 |
| 82 | R\$ 1.029,69 | R\$ 455,36 | -R\$ 123,60 |
| 83 | R\$ 1.029,69 | R\$ 450,85 | R\$ 327,25 |

APÊNDICE II - Tabelas de dimensionamento das tubulações de abastecimento de água não potável

| Dimensionamento ANPI conforme: NBR 5626:1998 | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|----------------|----------------------|-----------------------|------------------|---------------------------------|-----------------------|--------------------------|----------------------|-----------------------------|----------------------|-----------------------------------|------------------------------------|----------------------------|--------------------------|-------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| Trecho | Soma dos pesos | Vazão estimada [l/s] | Diâmetro interno [mm] | Velocidade [m/s] | Perda de carga unitária [kPa/m] | Diferença de cota [m] | Pressão disponível [kPa] | Comprimento Real [m] | Comprimento Equivalente [m] | Comprimento total[m] | Perda de carga na tubulação [kPa] | Perda de carga nos registros [kPa] | Perda de carga total [kPa] | Pressão disponível [kPa] | Pressão requerida [kPa] |
| A-B | 5,40 | 0,6971 | 21,6 | 1,9025 | 0,2119 | 2,25 | 22,5000 | 4,3400 | 1,2000 | 5,5400 | 5,7519 | 0,0000 | 5,7519 | 16,75 | |
| B-1 | 1,80 | 0,4025 | 17,0 | 1,7732 | 0,2528 | 2,05 | 37,2481 | 0,2600 | 5,3000 | 5,5600 | 5,8128 | 0,0000 | 5,8128 | 31,44 | 10,00 |
| 1-2 | 1,50 | 0,3674 | 17,0 | 1,6187 | 0,2155 | 0,60 | 37,4353 | 1,2700 | 2,0000 | 3,2700 | 3,4855 | 0,0000 | 3,4855 | 33,95 | 5,00 |
| 2-3 | 1,20 | 0,3286 | 17,0 | 1,4479 | 0,1773 | 0,00 | 33,9498 | 1,0500 | 3,2000 | 4,2500 | 4,4273 | 0,0000 | 4,4273 | 29,52 | 5,00 |
| 3-4 | 0,90 | 0,2846 | 17,0 | 1,2539 | 0,1378 | 0,00 | 29,5226 | 0,9500 | 3,2000 | 4,1500 | 4,2878 | 0,0000 | 4,2878 | 25,23 | 5,00 |
| 4-5 | 0,60 | 0,2324 | 17,0 | 1,0238 | 0,0967 | -0,60 | 19,2347 | 1,9200 | 4,4000 | 6,3200 | 6,4167 | 0,0000 | 6,4167 | 12,82 | 10,00 |
| 5-6 | 0,30 | 0,1643 | 17,0 | 0,7239 | 0,0527 | 0,00 | 12,8181 | 0,7100 | 2,0000 | 2,7100 | 2,7627 | 0,0000 | 2,7627 | 10,06 | 10,00 |

Dimensionamento ANP2 conforme: NBR 5626:1998

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|--------|----------------|----------------------|-----------------------|------------------|---------------------------------|-----------------------|--------------------------|----------------------|-----------------------------|----------------------|-----------------------------------|------------------------------------|----------------------------|--------------------------|-------------------------|
| Trecho | Soma dos pesos | Vazão estimada [l/s] | Diâmetro interno [mm] | Velocidade [m/s] | Perda de carga unitária [kPa/m] | Diferença de cota [m] | Pressão disponível [kPa] | Comprimento Real [m] | Comprimento Equivalente [m] | Comprimento total[m] | Perda de carga na tubulação [kPa] | Perda de carga nos registros [kPa] | Perda de carga total [kPa] | Pressão disponível [kPa] | Pressão requerida [kPa] |
| A-B | 5,40 | 0,6971 | 21,6 | 1,9025 | 0,2119 | 2,25 | 22,5000 | 4,3400 | 1,2000 | 5,5400 | 5,7519 | 0,0000 | 5,7519 | 16,75 | |
| B-C | 3,60 | 0,5692 | 17,0 | 2,5078 | 0,4636 | 0,00 | 16,7481 | 6,9100 | 0,8000 | 7,7100 | 8,1736 | 0,0000 | 8,1736 | 8,57 | |
| C-1 | 2,40 | 0,4648 | 17,0 | 2,0476 | 0,3251 | 2,65 | 35,0745 | 2,8700 | 6,5000 | 9,3700 | 9,6951 | 0,0000 | 9,6951 | 25,38 | 5,00 |
| 1-2 | 2,10 | 0,4347 | 17,0 | 1,9153 | 0,2893 | 0,00 | 25,3794 | 0,2700 | 0,8000 | 1,0700 | 1,3593 | 0,0000 | 1,3593 | 24,02 | |
| 2-3 | 0,90 | 0,2846 | 17,0 | 1,2539 | 0,1378 | 0,00 | 24,0201 | 0,6800 | 3,2000 | 3,8800 | 4,0178 | 0,0000 | 4,0178 | 20,00 | 5,00 |
| 3-4 | 0,60 | 0,2324 | 17,0 | 1,0238 | 0,0967 | 0,00 | 20,0023 | 0,9200 | 3,2000 | 4,1200 | 4,2167 | 0,0000 | 4,2167 | 15,79 | 5,00 |
| 4-5 | 0,30 | 0,1643 | 17,0 | 0,7239 | 0,0527 | 0,00 | 15,7857 | 0,9200 | 2,0000 | 2,9200 | 2,9727 | 0,0000 | 2,9727 | 12,81 | 5,00 |
| 2-6 | 1,20 | 0,3286 | 17,0 | 1,4479 | 0,1773 | 0,00 | 24,0201 | 0,0900 | 3,2000 | 3,2900 | 3,4673 | 0,0000 | 3,4673 | 20,55 | 5,00 |
| 6-7 | 0,90 | 0,2846 | 17,0 | 1,2539 | 0,1378 | 0,00 | 20,5529 | 0,9500 | 4,8000 | 5,7500 | 5,8878 | 0,0000 | 5,8878 | 14,67 | 5,00 |
| 7-8 | 0,60 | 0,2324 | 17,0 | 1,0238 | 0,0967 | 0,00 | 14,6650 | 0,9200 | 3,2000 | 4,1200 | 4,2167 | 0,0000 | 4,2167 | 10,45 | 5,00 |
| 8-9 | 0,30 | 0,1643 | 17,0 | 0,7239 | 0,0527 | 0,00 | 10,4484 | 0,9200 | 2,0000 | 2,9200 | 2,9727 | 0,0000 | 2,9727 | 7,48 | 5,00 |

Dimensionamento ANP5 conforme: NBR 5626:1998

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|--------|----------------|----------------------|-----------------------|------------------|---------------------------------|-----------------------|--------------------------|----------------------|-----------------------------|----------------------|-----------------------------------|------------------------------------|----------------------------|--------------------------|-------------------------|
| Trecho | Soma dos pesos | Vazão estimada [l/s] | Diâmetro interno [mm] | Velocidade [m/s] | Perda de carga unitária [kPa/m] | Diferença de cota [m] | Pressão disponível [kPa] | Comprimento Real [m] | Comprimento Equivalente [m] | Comprimento total[m] | Perda de carga na tubulação [kPa] | Perda de carga nos registros [kPa] | Perda de carga total [kPa] | Pressão disponível [kPa] | Pressão requerida [kPa] |
| F-G | 4,40 | 0,6293 | 17,0 | 2,7724 | 0,5525 | 1,15 | 11,5000 | 2,5100 | 0,5000 | 3,0100 | 1,6632 | 0,0000 | 1,6632 | 9,84 | |
| G-1 | 1,60 | 0,3795 | 17,0 | 1,6718 | 0,2280 | 2,35 | 33,3368 | 3,7300 | 5,6000 | 9,3300 | 2,1273 | 0,0000 | 2,1273 | 31,21 | 10,00 |
| 1-2 | 1,20 | 0,3286 | 17,0 | 1,4479 | 0,1773 | 0,30 | 34,2095 | 0,7400 | 4,4000 | 5,1400 | 0,9112 | 0,0000 | 0,9112 | 33,30 | 5,00 |
| 2-3 | 0,90 | 0,2846 | 17,0 | 1,2539 | 0,1378 | 0,00 | 33,2983 | 0,9200 | 3,2000 | 4,1200 | 0,5678 | 0,0000 | 0,5678 | 32,73 | 5,00 |
| 3-4 | 0,60 | 0,2324 | 17,0 | 1,0238 | 0,0967 | 0,00 | 32,7305 | 0,9300 | 3,2000 | 4,1300 | 0,3992 | 0,0000 | 0,3992 | 32,33 | 5,00 |
| 4-5 | 0,30 | 0,1643 | 17,0 | 0,7239 | 0,0527 | 0,00 | 32,3313 | 0,9500 | 2,0000 | 2,9500 | 0,1555 | 0,0000 | 0,1555 | 32,18 | 5,00 |

Dimensionamento ANP6 conforme: NBR 5626:1998

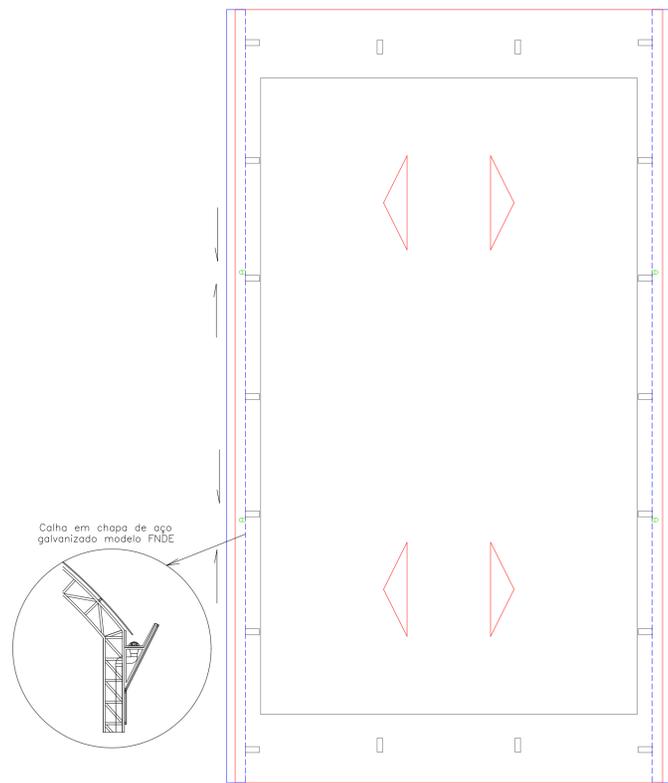
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|--------|----------------|----------------------|-----------------------|------------------|---------------------------------|-----------------------|--------------------------|----------------------|-----------------------------|----------------------|-----------------------------------|------------------------------------|----------------------------|--------------------------|-------------------------|
| Trecho | Soma dos pesos | Vazão estimada [l/s] | Diâmetro interno [mm] | Velocidade [m/s] | Perda de carga unitária [kPa/m] | Diferença de cota [m] | Pressão disponível [kPa] | Comprimento Real [m] | Comprimento Equivalente [m] | Comprimento total[m] | Perda de carga na tubulação [kPa] | Perda de carga nos registros [kPa] | Perda de carga total [kPa] | Pressão disponível [kPa] | Pressão requerida [kPa] |
| F-G | 4,40 | 0,6293 | 17,0 | 2,7724 | 0,5525 | 1,15 | 11,5000 | 2,5100 | 0,5000 | 3,0100 | 1,6632 | 0,0000 | 1,6632 | 9,84 | |
| G-H | 2,80 | 0,5020 | 17,0 | 2,2116 | 0,3721 | 0,00 | 9,8368 | 0,1300 | 0,8000 | 0,9300 | 0,3460 | 0,0000 | 0,3460 | 9,49 | |
| H-1 | 0,30 | 0,1643 | 17,0 | 0,7239 | 0,0527 | 2,65 | 35,9908 | 3,0200 | 4,1000 | 7,1200 | 0,3752 | 0,0000 | 0,3752 | 35,62 | 5,00 |

| Dimensionamento ANP7 conforme: NBR 5626:1998 | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|----------------|----------------------|-----------------------|------------------|---------------------------------|-----------------------|--------------------------|----------------------|-----------------------------|----------------------|-----------------------------------|------------------------------------|----------------------------|--------------------------|-------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| Trecho | Soma dos pesos | Vazão estimada [l/s] | Diâmetro interno [mm] | Velocidade [m/s] | Perda de carga unitária [kPa/m] | Diferença de cota [m] | Pressão disponível [kPa] | Comprimento Real [m] | Comprimento Equivalente [m] | Comprimento total[m] | Perda de carga na tubulação [kPa] | Perda de carga nos registros [kPa] | Perda de carga total [kPa] | Pressão disponível [kPa] | Pressão requerida [kPa] |
| F-G | 4,40 | 0,6293 | 17,0 | 2,7724 | 0,5525 | 1,15 | 11,5000 | 2,5100 | 0,5000 | 3,0100 | 1,6632 | 0,0000 | 1,6632 | 9,84 | |
| G-H | 2,80 | 0,5020 | 17,0 | 2,2116 | 0,3721 | 0,00 | 9,8368 | 0,1300 | 0,8000 | 0,9300 | 0,3460 | 0,0000 | 0,3460 | 9,49 | |
| H-I | 2,50 | 0,4743 | 17,0 | 2,0898 | 0,3369 | 0,00 | 9,4908 | 3,3800 | 0,8000 | 4,1800 | 1,4084 | 0,0000 | 1,4084 | 8,08 | |
| I-1 | 0,60 | 0,2324 | 17,0 | 1,0238 | 0,0967 | 2,65 | 34,5824 | 4,4500 | 2,9000 | 7,3500 | 0,7104 | 0,0000 | 0,7104 | 33,87 | |
| 1-2 | 0,60 | 0,2324 | 17,0 | 1,0238 | 0,0967 | 0,00 | 33,8720 | 0,1500 | 3,6000 | 3,7500 | 0,3625 | 0,0000 | 0,3625 | 33,51 | 5,00 |
| 1-3 | 0,30 | 0,1643 | 17,0 | 0,7239 | 0,0527 | 0,00 | 33,8720 | 0,2700 | 3,6000 | 3,8700 | 0,2040 | 0,0000 | 0,2040 | 33,67 | 5,00 |

| Dimensionamento ANP8 conforme: NBR 5626:1998 | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|----------------|----------------------|-----------------------|------------------|---------------------------------|-----------------------|--------------------------|----------------------|-----------------------------|----------------------|-----------------------------------|------------------------------------|----------------------------|--------------------------|-------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| Trecho | Soma dos pesos | Vazão estimada [l/s] | Diâmetro interno [mm] | Velocidade [m/s] | Perda de carga unitária [kPa/m] | Diferença de cota [m] | Pressão disponível [kPa] | Comprimento Real [m] | Comprimento Equivalente [m] | Comprimento total[m] | Perda de carga na tubulação [kPa] | Perda de carga nos registros [kPa] | Perda de carga total [kPa] | Pressão disponível [kPa] | Pressão requerida [kPa] |
| F-G | 4,40 | 0,6293 | 17,0 | 2,7724 | 0,5525 | 1,15 | 11,5000 | 2,5100 | 0,5000 | 3,0100 | 1,6632 | 0,0000 | 1,6632 | 9,84 | |
| G-H | 2,80 | 0,5020 | 17,0 | 2,2116 | 0,3721 | 0,00 | 9,8368 | 0,1300 | 0,8000 | 0,9300 | 0,3460 | 0,0000 | 0,3460 | 9,49 | |
| H-I | 2,50 | 0,4743 | 17,0 | 2,0898 | 0,3369 | 0,00 | 9,4908 | 3,3800 | 0,8000 | 4,1800 | 1,4084 | 0,0000 | 1,4084 | 8,08 | |
| I-J | 1,90 | 0,4135 | 17,0 | 1,8218 | 0,2650 | 0,00 | 8,0824 | 3,2100 | 0,8000 | 4,0100 | 1,0627 | 0,0000 | 1,0627 | 7,02 | |
| J-1 | 0,30 | 0,1643 | 17,0 | 0,7239 | 0,0527 | 2,65 | 33,5197 | 0,3700 | 4,1000 | 4,4700 | 0,2356 | 0,0000 | 0,2356 | 33,28 | 5,00 |

| Dimensionamento ANP9 conforme: NBR 5626:1998 | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|----------------|----------------------|-----------------------|------------------|---------------------------------|-----------------------|--------------------------|----------------------|-----------------------------|----------------------|-----------------------------------|------------------------------------|----------------------------|--------------------------|-------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| Trecho | Soma dos pesos | Vazão estimada [l/s] | Diâmetro interno [mm] | Velocidade [m/s] | Perda de carga unitária [kPa/m] | Diferença de cota [m] | Pressão disponível [kPa] | Comprimento Real [m] | Comprimento Equivalente [m] | Comprimento total[m] | Perda de carga na tubulação [kPa] | Perda de carga nos registros [kPa] | Perda de carga total [kPa] | Pressão disponível [kPa] | Pressão requerida [kPa] |
| F-G | 4,40 | 0,6293 | 17,0 | 2,7724 | 0,5525 | 1,15 | 11,5000 | 2,5100 | 0,5000 | 3,0100 | 1,6632 | 0,0000 | 1,6632 | 9,84 | |
| G-H | 2,80 | 0,5020 | 17,0 | 2,2116 | 0,3721 | 0,00 | 9,8368 | 0,1300 | 0,8000 | 0,9300 | 0,3460 | 0,0000 | 0,3460 | 9,49 | |
| H-I | 2,50 | 0,4743 | 17,0 | 2,0898 | 0,3369 | 0,00 | 9,4908 | 3,3800 | 0,8000 | 4,1800 | 1,4084 | 0,0000 | 1,4084 | 8,08 | |
| I-J | 1,90 | 0,4135 | 17,0 | 1,8218 | 0,2650 | 0,00 | 8,0824 | 3,2100 | 0,8000 | 4,0100 | 1,0627 | 0,0000 | 1,0627 | 7,02 | |
| J-1 | 1,60 | 0,3795 | 17,0 | 1,6718 | 0,2280 | 2,35 | 30,5197 | 3,8100 | 5,6000 | 9,4100 | 2,1456 | 0,0000 | 2,1456 | 28,37 | 10,00 |
| 1-2 | 1,20 | 0,3286 | 17,0 | 1,4479 | 0,1773 | 0,30 | 31,3742 | 1,0400 | 4,4000 | 5,4400 | 0,9643 | 0,0000 | 0,9643 | 30,41 | 5,00 |
| 2-3 | 0,90 | 0,2846 | 17,0 | 1,2539 | 0,1378 | 0,00 | 30,4098 | 0,8900 | 3,2000 | 4,0900 | 0,5637 | 0,0000 | 0,5637 | 29,85 | 5,00 |
| 3-4 | 0,60 | 0,2324 | 17,0 | 1,0238 | 0,0967 | 0,00 | 29,8461 | 0,9500 | 3,2000 | 4,1500 | 0,4011 | 0,0000 | 0,4011 | 29,45 | 5,00 |
| 4-5 | 0,30 | 0,1643 | 17,0 | 0,7239 | 0,0527 | 0,00 | 29,4450 | 0,9500 | 2,0000 | 2,9500 | 0,1555 | 0,0000 | 0,1555 | 29,29 | 5,00 |

APÊNDICE IV - Pranchas do projeto de captação e abastecimento de água pluvial

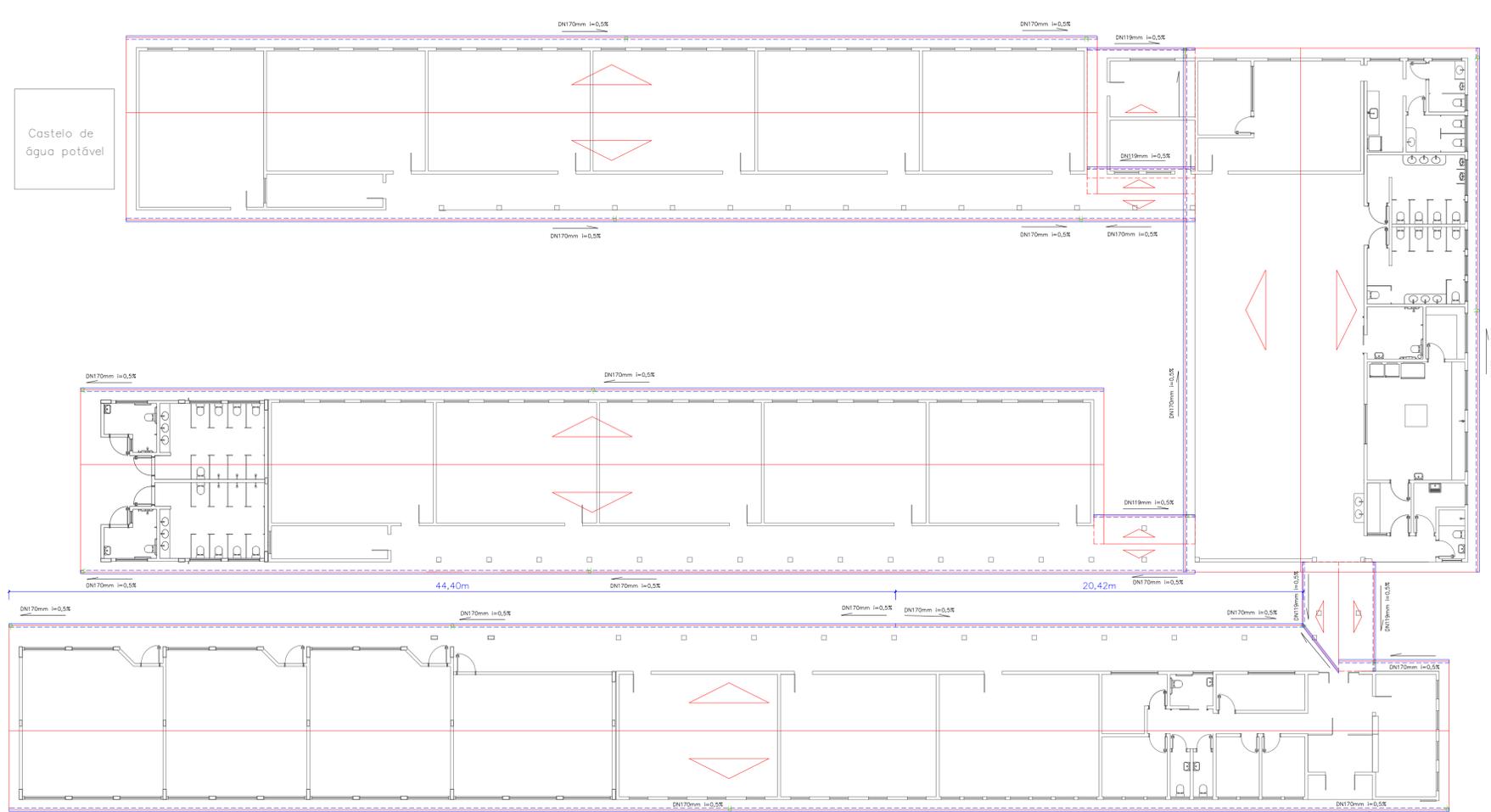
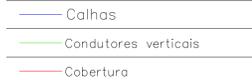


Observações:
Todas as calhas possuem inclinação de 0,5%

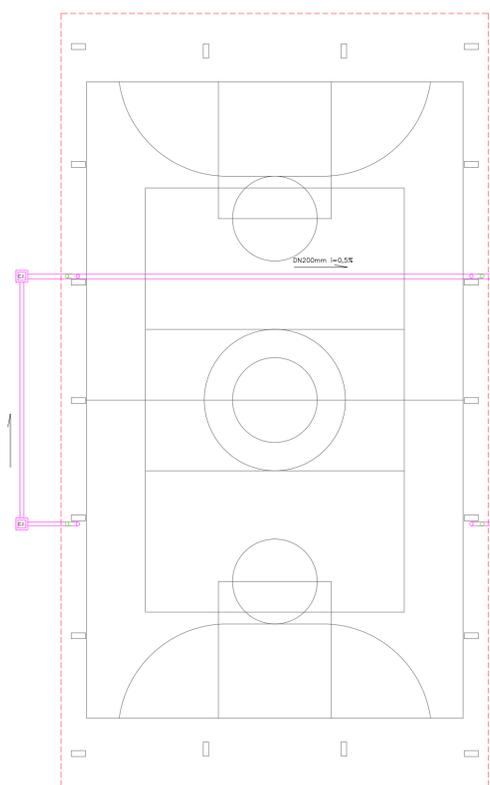
Todas as calhas em PVC rígido, exceto as calhas da quadra poliesportiva, que são em chapa de aço, conforme detalhamento.

Todos os condutores verticais de drenagem pluvial possuem diâmetro de 100mm, exceto os condutores verticais da quadra poliesportiva, que possuem diâmetro de 150mm.

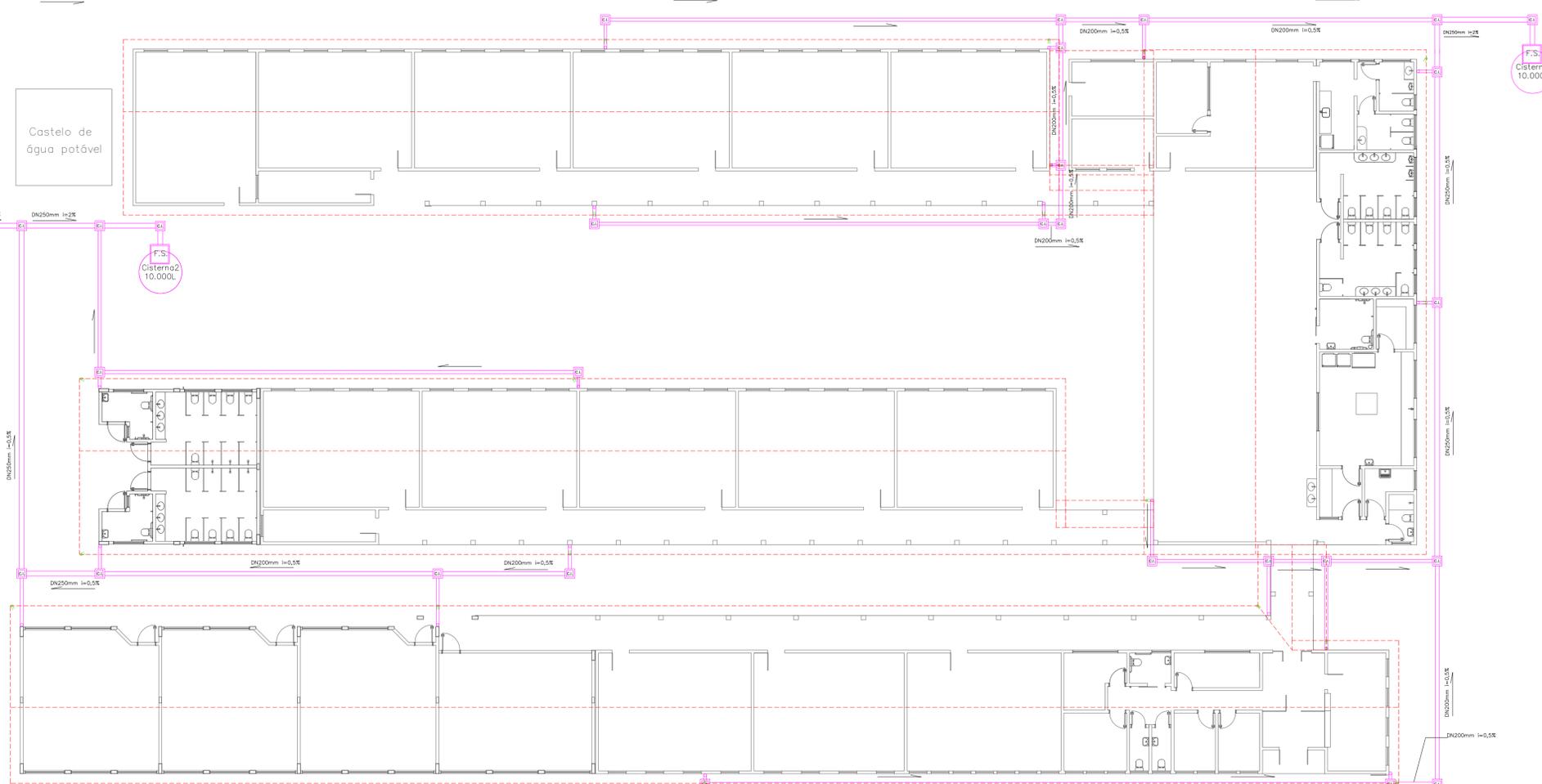
Legenda da Planta de Cobertura



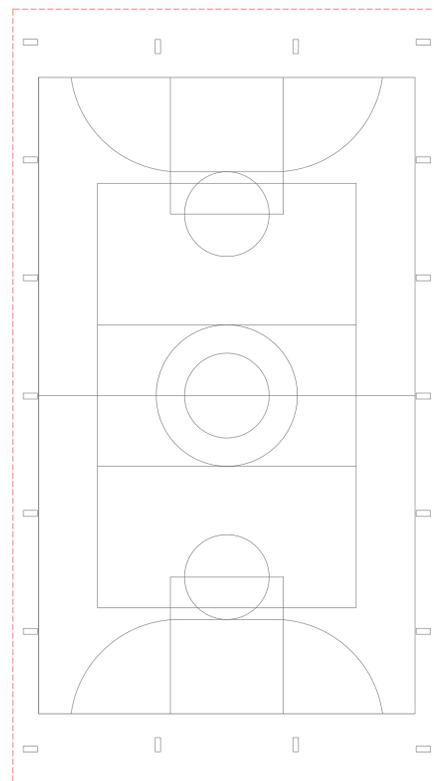
Planta de cobertura



Observação:
Tubulações sem marcação: considerar DN150mm i=0,5%
Legenda da Planta Baixa

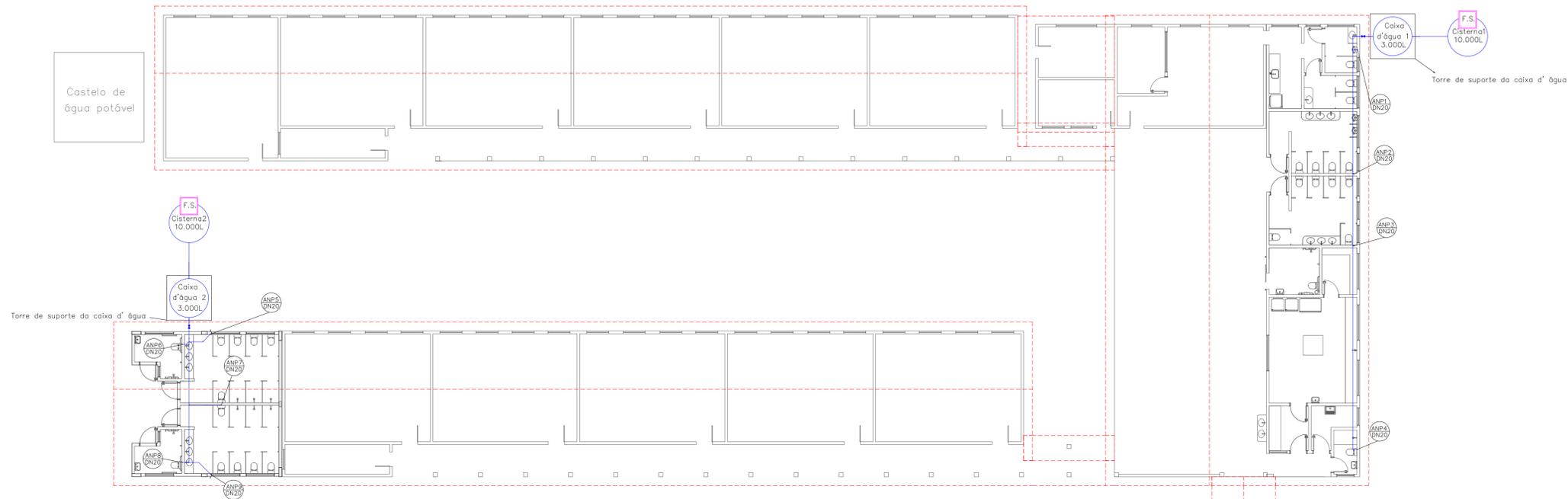


Planta baixa

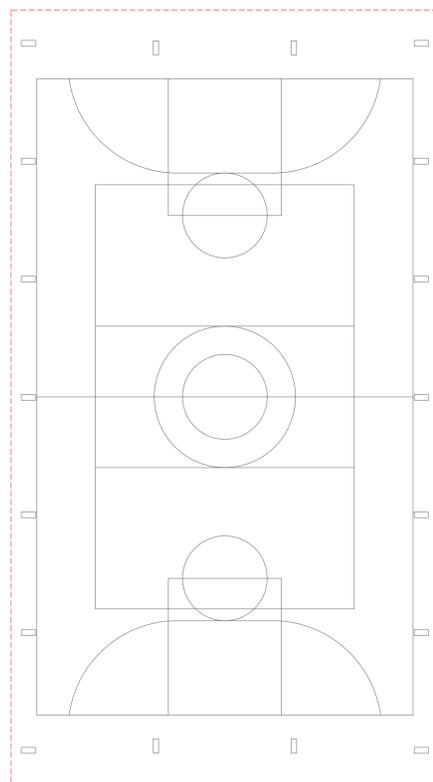


Legenda da Planta de Cobertura

- F.S. Filtro de Sólidos
- Tubulação sobre o forro
- - - Projeção da cobertura

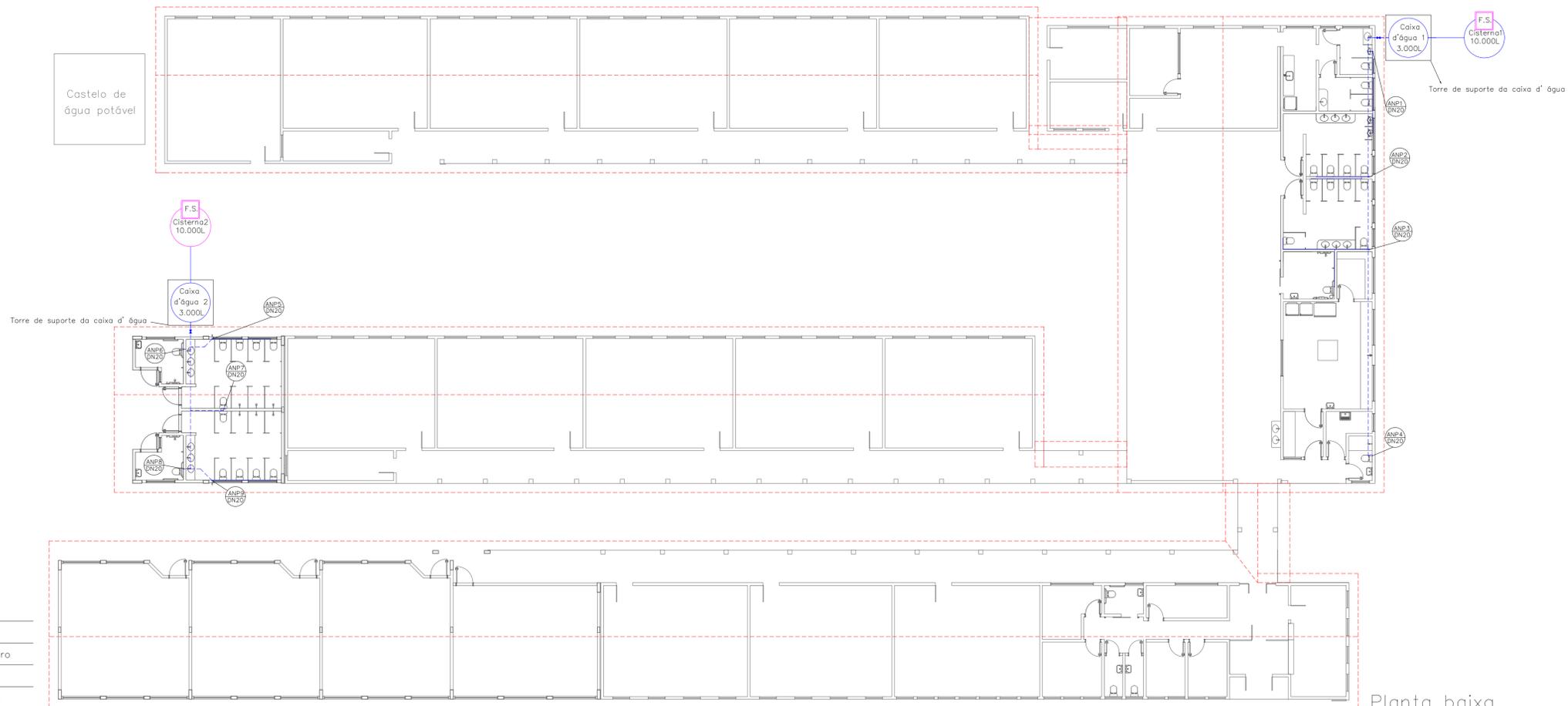


Planta de cobertura

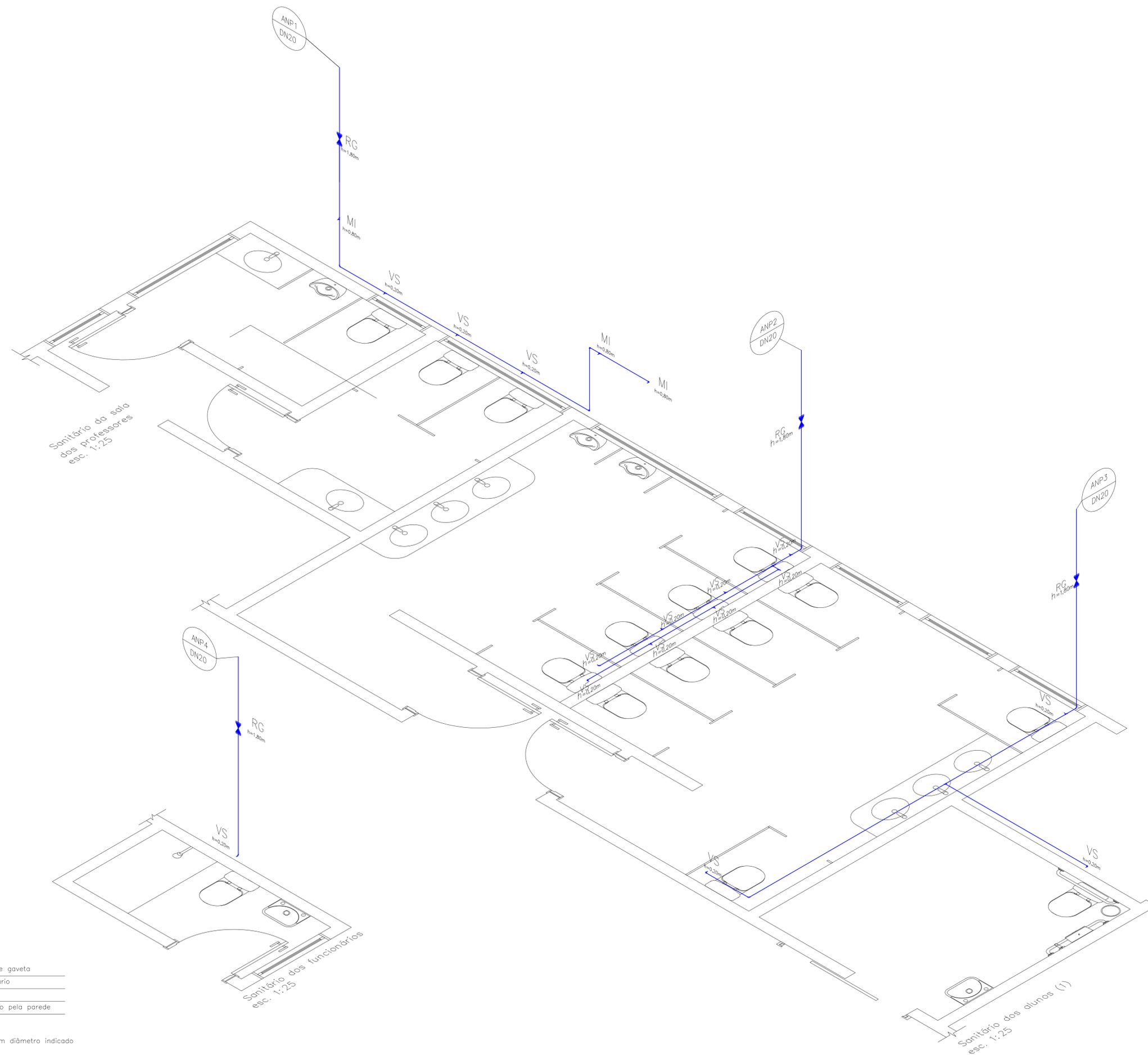


Legenda da Planta Baixa

- F.S. Filtro de Sólidos
- - - Tubulação sobre o forro
- Tubulação na parede
- - - Projeção da cobertura



Planta baixa

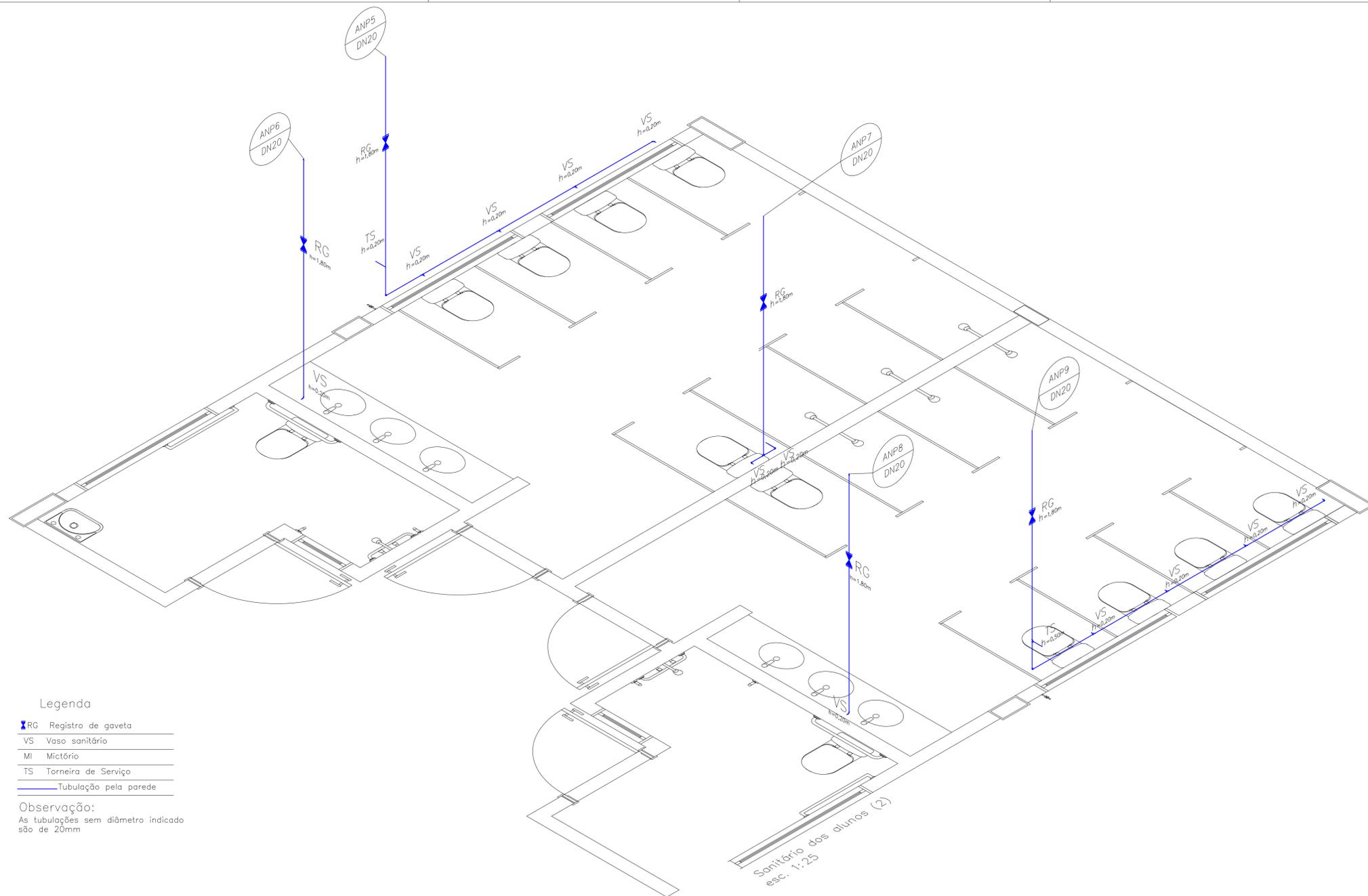


Legenda

- RG Registro de gaveta
- VS Vaso sanitário
- MI Mictório
- Tubulação pela parede

Observação:

As tubulações sem diâmetro indicado são de 20mm

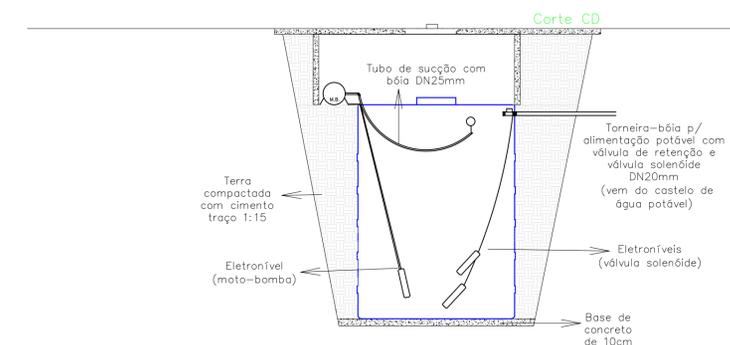
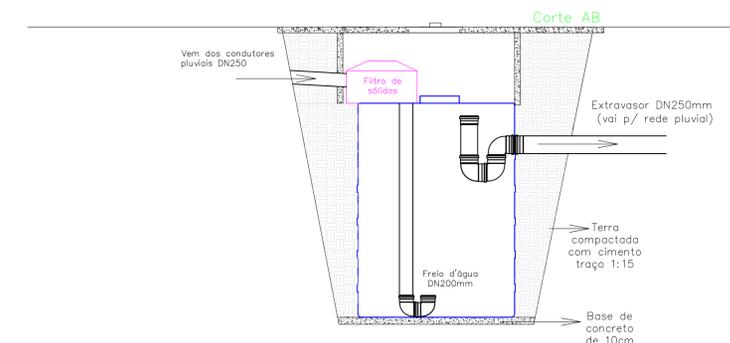
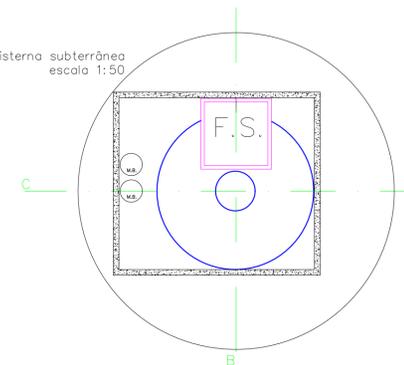


Legenda

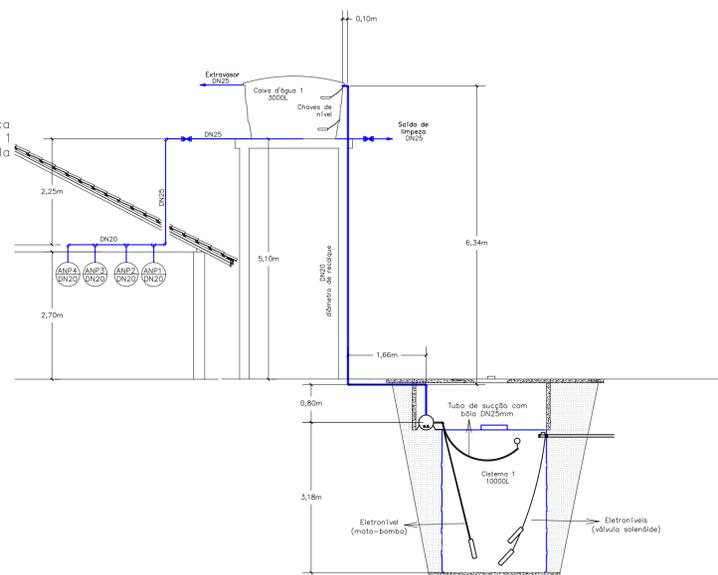
- RG Registro de gaveta
- VS Vaso sanitário
- MI Mictório
- TS Torneira de Serviço
- Tubulação pela parede

Observação:
As tubulações sem diâmetro indicado são de 20mm

Detalhes da cisterna subterrânea
escala 1:50



Representação esquemática do barrilete - Cisterna 1 sem escala



Representação esquemática do barrilete - Cisterna 2 sem escala

