



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

MARIANA RESENDE FRAIZ

**APLICAÇÃO DE SISTEMA NET ZERO ÁGUA EM UMA
INSTITUIÇÃO PÚBLICA DE ENSINO**

MARIANA RESENDE FRAIZ

APLICAÇÃO DE SISTEMA NET ZERO ÁGUA EM UMA INSTITUIÇÃO PÚBLICA DE ENSINO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
à Universidade Estadual de Londrina - UEL,
como requisito parcial para a obtenção do título
de Engenheiro Civil.

Orientadora: Profa. Dra. Camila Gregório Atem

Londrina
2021

MARIANA RESENDE FRAIZ

**APLICAÇÃO DE SISTEMA NET ZERO ÁGUA EM UMA INSTITUIÇÃO
PÚBLICA DE ENSINO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Estadual de
Londrina - UEL, como requisito parcial para
a obtenção do título de Engenheiro Civil.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Profa. Dra. Camila Gregório
Atem
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Membro 2: Profa. Dra. Thalita Gorban
Ferreira Giglio
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Londrina, 22 de janeiro de 2021.

Ao meu avô Nésio, que há muitos anos me contou a história do rio que secou durante o tempo em que os bichos ainda falavam.

AGRADECIMENTOS

À minha família, por me apoiar durante todos os meus anos de estudo e me proporcionar ter chegado até aqui.

Aos amigos que conheci na UEL, aos altos e baixos que passamos, e que fizeram com que este tempo aqui fosse inesquecível.

À professora Camila, pela atenção, carinho e auxílio no desenvolvimento deste trabalho, especialmente em um período tão difícil a todos nós.

À professora Thalita, que me apresentou a área da eficiência energética, pela disponibilidade em adiantar a data da banca e por todos os comentários tão pertinentes para o trabalho.

À Deise, diretora da Escola Estadual Edmundo Odebrecht, por me receber tão bem na escola e me fornecer todas as informações importantes para este trabalho.

À Secretaria de Educação de Londrina, pela disponibilização dos dados utilizados neste estudo.

A todos os professores que tive na graduação, que contribuíram para que eu encontrasse essa área da engenharia da qual gosto tanto.

À todas as pessoas, que de alguma maneira, estiveram envolvidas neste período.

FRAIZ, Mariana Resende. **Aplicação de Sistema Net Zero Água em Instituição Pública de Ensino**. 2021. 127 folhas. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil – Centro de Tecnologia e Urbanismo, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2021.

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo projetar a aplicação de um sistema Net Zero Água em uma instituição de ensino pública na cidade de Londrina, Paraná. A escola escolhida para este estudo foi a Escola Municipal Edmundo Odebrecht, localizada no distrito da Warta, cuja execução foi concluída no ano de 2019. Para este fim, foram analisadas as características construtivas e operacionais da escola por meio de consultas aos projetos e visitas ao local. Foi traçado um panorama de consumo de água das instituições municipais a fim de se observar os padrões de consumo em edificações desta tipologia na cidade, considerando que a escola escolhida permaneceu fechada durante o período de realização deste trabalho. Foi traçado o mapeamento de cada uso da água na instituição a fim de se obter de forma clara todas as entradas de água, calculando-se separadamente seus volumes e qualidade requerida. Por meio do balanço hídrico foram identificados os usos mais relevantes, foram então propostas substituições de alguns dos equipamentos hidrossanitários considerados inadequados na escola, para que se mitigasse desperdícios e se reduzisse os usos nestes ambientes. Em seguida, foram determinados os dimensionamentos dos sistemas de captação, armazenamento e tratamento de água pluvial, que suprirá a demanda de água potável da instituição. O tratamento para potabilização escolhido foi a ultrafiltração. Selecionou-se os sistemas de tratamento e reuso de efluentes cinzas que atenderão a demanda não potável, por meio de filtração e desinfecção por cloro. Ademais, projetou-se os meios de tratamento e disposição de águas negras residuárias por sistema de fossa séptica, filtro anaeróbico e sumidouro. Por fim, foram elaborados manuais de boas práticas de utilização da água para promoção da conservação e racionalização de seu uso, como medida complementar de educação ambiental. A partir dos resultados obtidos, avaliou-se o sucesso do sistema projetado, que resultou em porcentagens de atendimento de 76,71% para a escola operando na situação atual, e 66,52% para a escola operando em capacidade máxima, recebendo o título de Near Net Zero Água. Sugeriu-se, por fim, estudos complementares que poderão ser realizados a fim de se aprofundar nesta análise.

Palavras-chave: Eficiência Hídrica. Sustentabilidade. Net Zero Água. Instituição de ensino. Conservação do uso da água. Água pluvial. Reuso de águas cinzas. Tratamento descentralizado.

FRAIZ, Mariana Resende. **Application of a Net Zero Water System in a Public School**. 2021. 127 pages. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil – Centro de Tecnologia e Urbanismo, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2021.

ABSTRACT

This work aims to design an application of a Net Zero Água system in a public education institution in the city of Londrina, Paraná. The school chosen for this study was the Edmundo Odebrecht Municipal School, located in the district of Warta, whose execution was completed in 2019. To this end, the constructive and operational characteristics of the school were analyzed through consultations on projects and visits to the site. An outlook of water consumption by municipal institutions was drawn up in order to observe consumption patterns in buildings of this type in the city, considering that a chosen school remained closed during the period of this research. The mapping of each water use in the institution was traced in order to obtain all water inputs, calculating their specific volumes and specific quality. Through the water balance, the most relevant uses were identified, and then substitutions for some of the sanitary equipment considered unsuitable in the school were proposed, in order to mitigate waste and reduce the uses used in those areas. Then, the dimensioning of the rainwater collection, storage and treatment systems was determined, which will supply the institution's drinking water demand. The chosen potabilization treatment was ultrafiltration. We selected the gray wastewater treatment and reuse systems that will meet the non-potable demand, through filtration and chlorine disinfection. In addition, the means of treatment and disposal of black wastewater were designed using a septic tank system, anaerobic filter and sink. Finally, manuals on good water use practices were developed to promote conservation and rationalize their use, as a complementary measure of environmental education. From the results obtained, the success of the projected system was evaluated, which resulted in attendance percentages of 76.71% for the school operating in the current situation, and 66.52% for the school operating at maximum capacity, receiving the title of Near Net Zero Água. Finally, it was suggested that complementary studies can be carried out in order to deepen this analysis.

Key-words: Water efficiency. Sustainability. Net Zero Water. Education Institution. Water efficiency and conservation. Rainwater. Wastewater reuse. Decentralized treatment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Funcionamento do by pass	31
Figura 2 – Grelha para calha.....	32
Figura 3 – Filtro separador de sólidos	32
Figura 4 – Processo de filtração por membrana.....	38
Figura 5 – Reator UV para desinfecção da água	39
Figura 6 – Componentes de sistema simples de reuso de águas cinzas	46
Figura 7 – Sistema de desvio de águas cinzas para irrigação subsuperficial por gravidade	47
Figura 8 – Exemplo de instalação de reservatório de distribuição de águas cinzas	49
Figura 9 – Fluxograma simplificado de uma wetland horizontal	51
Figura 10 – Fluxograma simplificado de um filtro biológico	52
Figura 11 – Fluxograma simplificado de um biorreator	52
Figura 12 – Sistema de descarga dual.....	57
Figura 13 – Funcionamento de torneira hidromecânica	57
Figura 14 – Edifício Eurobusiness.....	63
Figura 15 – Sistema de wetland do edifício Eurobusiness	63
Figura 16 – Esquematização das etapas do estudo de caso	65
Figura 17 – Escola Municipal Edmundo Odebrecht: vista	67
Figura 18 – Escola Municipal Edmundo Odebrecht: interior.....	67
Figura 19 – Localização do distrito Warta em relação a Londrina.....	68
Figura 20 – Implantação da Instituição.....	68
Figura 21 – Pavimento térreo	69
Figura 22 – Pavimento superior	69
Figura 23 – Configuração da cobertura e elementos já existentes.....	70
Figura 24 – Ambientes com pontos de água potável: pavimento térreo.....	71
Figura 25 – Ambiente com pontos de água potável: pavimento superior.....	71
Figura 26 – Modelo das bacias sanitárias	73
Figura 27 – Modelo das torneiras dos lavatórios.....	74
Figura 28 – Modelo das torneiras das pias.....	74
Figura 29 – Modelos das torneiras externas e dos tanques	74
Figura 30 – Modelo dos bebedores	75

Figura 31 – Área de piso externo e do refeitório	76
Figura 32 – Modelo da bomba existente na instituição	79
Figura 33 – Torneira para lavatório de mesa Alfa Pressmatic.....	97
Figura 34 – Lavadora de alta pressão L STD 2000-M.....	97
Figura 35 – Modelo do reservatório adotado.....	101
Figura 36 – Ligação entre os reservatórios	102
Figura 37 – Extravasor e tubulação de limpeza	102
Figura 38 – Filtro de folhas Fortlev.....	103
Figura 39 – Esquema de funcionamento do sistema de ultrafiltração	104
Figura 40 – Fossa séptica 10.000 L Acqualimp.....	108
Figura 41 – Filtro anaeróbico 5.000 L Acqualimp	109

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Comparativo de Consumos por Ambiente	78
Gráfico 2 – Normal Climatológica de Londrina	79
Gráfico 3 – Consumo das Escolas em Londrina no ano de 2019.....	86
Gráfico 4 – Consumo Per Capita Anual das Escolas em Londrina no ano de 2019	87
Gráfico 5 – Consumo Per Capita Anual das Escolas Infantis em Londrina no ano de 2019	87
Gráfico 6 – Consumo Mensal das Escolas em Londrina no ano de 2019	88
Gráfico 7 – Comparativo de Consumos	88
Gráfico 8 – Comparativo de Consumos por Ambiente no Estudo de Caso	96
Gráfico 9 – Potencial de uso de água pluvial para situação atual	99
Gráfico 10 – Potencial de uso de água pluvial para capacidade máxima	100
Gráfico 11 – Curva da bomba de recalque de água potável	105

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Eficiência de remoção para cada sistema de tratamento descentralizado	43
Tabela 2 – Usos padrão por dia	73
Tabela 3 – Vazões dos equipamentos	75
Tabela 4 – Distribuição do consumo de água por ambiente em instituições similares	77
Tabela 5 – Período de detenção dos despejos, por faixa de contribuição diária	82
Tabela 6 – Taxa de acumulação total de lodo, em dias	83
Tabela 7 – Profundidade útil máxima e mínima, por faixa de volume útil	83
Tabela 8 – Volume consumido pelas bacias sanitárias na situação atual.....	90
Tabela 9 – Volume consumido pelas torneiras dos banheiros na situação atual	90
Tabela 10 – Volume consumido pelas torneiras da cozinha	91
Tabela 11 – Volume consumido pelas torneiras dos tanques.....	91
Tabela 12 – Volume consumido nos bebedores para situação atual.....	92
Tabela 13 – Volume consumido para limpeza de pisos	92
Tabela 14 – Balanço hídrico diário da instituição para situação atual.....	93
Tabela 15 – Volume consumido pelas bacias sanitárias em capacidade máxima...	93
Tabela 16 – Volume consumido pelas torneiras dos banheiros em capacidade máxima.....	94
Tabela 17 – Volume consumido nos bebedores em capacidade máxima	94
Tabela 18 – Balanço hídrico diário da instituição em capacidade máxima	95
Tabela 19 – Balanço hídrico diário da instituição para situação atual após modificações	98
Tabela 20 – Balanço hídrico diário da instituição em capacidade máxima após modificações	98
Tabela 21 – Volume de efluentes gerados na situação atual	105
Tabela 22 – Avaliação do reuso de águas cinzas em situação atual.....	106
Tabela 23 – Volume de efluentes gerados em capacidade máxima.....	106
Tabela 24 – Avaliação do reuso de águas cinzas em capacidade máxima	106
Tabela 25 – Dimensionamento do tanque séptico	108
Tabela 26 – Dimensionamento do filtro anaeróbico	109

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 –Frequência de manutenção.....	33
Quadro 2 –Padrão microbiológico da água para consumo humano	34
Quadro 3 –Padrão de turbidez para água pós-filtração ou pré-desinfecção	35
Quadro 4 –Padrão organoléptico de qualidade.....	35
Quadro 5 –Parâmetros mínimos de qualidade para usos não potáveis.....	36
Quadro 6 –Coeficientes de <i>runoff</i> médios	40
Quadro 7 –Classificação das tecnologias de tratamento	42
Quadro 8 –Contaminantes presentes em águas cinzas e seus respectivos riscos de contaminação.....	44
Quadro 9 –Diretrizes de qualidade para o reuso de águas cinzas.....	45
Quadro 10 –Algumas características dos processos de tratamento.....	50
Quadro 11 –Volumes de água perdidos em vazamentos visíveis	56
Quadro 12 –Divisão dos abastecimentos de água dos diversos usos.....	77

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
UEL	Universidade Estadual de Londrina
ANA	Agência Nacional de Águas
ONU	Organização das Nações Unidas
AWWA	American Water Works Association
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
USEPA	United States Environmental Protection Agency
GBC	Green Building Council
USGBC	United States Green Building Council

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	15
1.2	JUSTIFICATIVA	16
1.3	OBJETIVO GERAL	17
1.4	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
2	REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1	SISTEMAS DE ABASTECIMENTO E TRATAMENTO DE ÁGUA E ESGOTO	19
2.1.1	Sistemas Centralizados	19
2.1.2	Sistemas Descentralizados	22
2.2	NET ZERO ÁGUA	24
2.2.1	Definição	24
2.2.2	Obstáculos à Implantação	25
2.2.3	Implantação em Instituições Públicas de Ensino	27
2.3	SISTEMAS DE CICLO FECHADO E BALANÇO HÍDRICO DA EDIFICAÇÃO	28
2.4	CAPTAÇÃO, TRATAMENTO E USO DE ÁGUA PLUVIAL	30
2.4.1	Mecanismos de Captação	30
2.4.2	Parâmetros de Qualidade e Métodos de Tratamento	34
2.4.3	Disponibilidade de água	40
2.5	TRATAMENTO DE EFLUENTES E REUSO	41
2.5.1	Águas Cinzas	43
2.5.2	Águas Negras	50
2.6	PRÁTICAS DE CONSUMO EFICIENTES E DISPOSITIVOS ECONOMIZADORES	53
2.7	CERTIFICAÇÕES E USO DA ÁGUA	59
2.7.1	Selo LEED	59
2.7.2	Selo AQUA	60
2.7.3	Selo Escola Sustentável	62
2.8	EXEMPLO DE APLICAÇÃO	62
3	MÉTODO	65
3.1	PANORAMA DE CONSUMO DAS INSTITUIÇÕES DE ENSINO MUNICIPAIS	66
3.2	CARACTERIZAÇÃO DA INSTITUIÇÃO	66

3.3	BALANÇO HÍDRICO DA INSTITUIÇÃO	72
3.4	USO DE ÁGUA PLUVIAL	78
3.4.1	Captação	78
3.4.2	Tratamento	80
3.5	REUSO DE EFLUENTES.....	80
3.5.1	Volume Gerado	80
3.5.2	Tratamento	81
3.6	CONSERVAÇÃO DO USO DA ÁGUA	84
3.7	SÍNTESE DO MÉTODO	85
4	RESULTADOS	86
4.1	PANORAMA DE CONSUMO DAS INSTITUIÇÕES DE ENSINO MUNICIPAIS	86
4.2	BALANÇO HÍDRICO DA INSTITUIÇÃO	89
4.2.1	Situação Atual	89
4.2.2	Capacidade Total	93
4.2.3	Comparações	95
4.3	PROPOSTA DE ADEQUAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS HIDROSSANITÁRIOS.....	96
4.4	USO DE ÁGUA PLUVIAL	99
4.4.1	Captação	99
4.4.2	Tratamento e Distribuição.....	103
4.5	REUSO DE EFLUENTES.....	105
4.5.1	Cálculo do Volume Gerado.....	105
4.5.2	Tratamento e distribuição de águas cinzas	107
4.5.3	Tratamento e deposição das águas negras.....	107
4.6	GUIAS DE CONSUMO EFICIENTE.....	110
5	CONCLUSÕES	111
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	113
	REFERÊNCIAS	114
	APÊNDICES	120
	APÊNDICE A.....	121
	APÊNDICE B.....	124
	APÊNDICE C.....	126

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A utilização dos recursos naturais disponíveis é, desde a origem das espécies, primordial para sua sobrevivência. Mesmo antes da organização do homem em sociedade, o uso de tais recursos foi o que garantiu que a raça humana prosperasse e desenvolvesse tecnologias que possibilitassem sua evolução. A partir da organização da vida em comunidades, e posteriormente em sociedades mais complexas, foram surgindo maneiras de se fazer uso dos recursos naturais mais eficientemente. Contudo, com o advento da urbanização e da industrialização, aumentou-se em grande escala o consumo dos recursos e de matérias primas.

A capacidade de suporte, termo que designa o potencial de um território de sustentar seus ocupantes por tempo indefinido, e de maneira que se mantenha um determinado nível de qualidade de vida, pode ser utilizado como parâmetro para se avaliar a relação entre o crescimento populacional ao longo do tempo, as mudanças nos padrões de consumo e produção e o uso dos recursos naturais (HOGAN, 1993). Se excedida a capacidade de suporte, a degradação dos recursos naturais pela crescente população torna a manutenção das condições atuais de consumo e produção insustentáveis.

Considerando o crescimento demográfico como positivo, o aumento das necessidades de consumo da população ao longo do tempo em função do surgimento dos avanços tecnológicos altera a capacidade de suporte das regiões. Assim, para que as sociedades se mantenham de forma sustentável, deve existir o equilíbrio entre o uso dos recursos disponíveis e as demandas de consumo da população.

O uso da água está intimamente relacionado à produção de alimentos, geração de energia e saúde pública, assim nota-se a importância deste recurso para a manutenção da qualidade de vida do homem. De acordo com o relatório da Conjuntura de Recursos Hídricos do ano de 2019, a disponibilidade hídrica superficial do país corresponde a 78.600m³/s, além disso, a disponibilidade de água subterrânea é estimada em 14.650m³/s (ANA, 2019). Observa-se assim que apesar de relativamente abundante, este bem não é infinito.

À medida que as sociedades se tornaram mais complexas, surgiram novas urgências a serem atendidas. Segundo Tsutiya (2006), os primeiros sistemas de abastecimento de água se deram a partir da necessidade de se transportar água até a população e para a irrigação da produção agrícola. As primeiras obras hídricas bem-sucedidas foram executadas na Mesopotâmia e no Egito e consistiam em canais de irrigação (TSUTIYA, 2006). No entanto, o crescimento desordenado das cidades, aliado à falta de gestão estratégica dos sistemas de abastecimento, gerou um panorama de devastação ambiental e uso predatório de recursos ambientais que perdura até a atualidade.

Tsutiya (2006) ainda afirma que, sendo a água um grande vetor de transmissão de doenças infecciosas, as melhorias nos sistemas de abastecimento de água e saneamento são muito relevantes na redução das taxas de transmissão de tais doenças. De acordo com relatório publicado pela Organização das Nações Unidas, estima-se que para cada dólar investido em tratamento de água e saneamento básico, o PIB global cresça 1,5% e sejam economizados 4,3 dólares em saúde pública (ONU, 2014). Nota-se, desta forma, o efeito colossal que o acesso à água tratada e à coleta de esgoto tem na qualidade de vida da população.

1.2 JUSTIFICATIVA

De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento, apenas 83,6% da população brasileira é atendida por um sistema de abastecimento de água (SNIS, 2019), isso significa que quase 35 milhões de brasileiros não são atendidos por este serviço. Além disso, enquanto o consumo de água recomendado pela ONU é de 110 litros/dia, o consumo médio por habitante no Brasil é de 154,9 litros/dia (SNIS, 2019). Esses dados evidenciam o contexto catastrófico em que se encontra o sistema vigente e justificam estudos e intervenções que modifiquem o panorama atual, mitigando, assim, os impactos sociais e ambientais conhecidos.

Tendo em vista as preocupações crescentes acerca dos sistemas de abastecimento, coleta e tratamento coletivos vigentes, este trabalho se justifica, assim, pela necessidade atual de se repensar a maneira com que a água é produzida e consumida, considerando o contexto atual de insustentabilidade nas esferas ecológica, social e econômica.

A partir do cenário traçado, tem-se que os sistemas Net Zero Água, sistemas onde a edificação é totalmente responsável por produzir a sua demanda de água potável e tratar todo o seu efluente gerado se apresentam como uma alternativa viável, em todas as esferas, para que se minimize os problemas levantados (MORTON, 2013). As edificações equipadas com este sistema equilibram as entradas e saídas de água a fim de compensar as consequências externas negativas associadas à operação dos sistemas centralizados (JOSHUA E YEH, 2015). Acrescenta-se, ainda, que o sistema deve ser associado a boas práticas do consumo da água para que sua eficiência seja máxima.

Para que se demonstre a aplicação de um sistema Net Zero Água, foi escolhida uma instituição pública de ensino. A escolha de uma edificação deste tipo se justifica tanto pelos volumes expressivos de água consumidos e de efluentes gerados, tanto como pela redução no custo de operação da instituição, que representa um grande incentivo ao se tratar de instituições públicas. Ademais, deve-se considerar a grande visibilidade que os conceitos aplicados em uma instituição deste tipo pode alcançar na comunidade.

De acordo com Procopiak, Jedyn e Takahashi (2014), em pesquisa realizada em uma escola pública localizada em Curitiba, 80% dos alunos percebem o consumo de água na instituição como alto. Nota-se, portanto, que mudanças nas práticas do uso da água já são vistos como necessários. Em adição, por tratar-se de uma edificação com um grande número de ocupantes, as novas práticas adotadas impactarão de forma ampla o consumo de água.

Além das justificativas já citadas, considerou-se que a partir da implantação do sistema Net Zero Água e da adoção de práticas conscientes de consumo, a instituição de ensino poderá receber uma série de certificações que atestem a eficiência do funcionamento do sistema como um todo, alguns exemplos são: Selo Escola Sustentável, Selo Aqua e Selo LEED.

1.3 OBJETIVO GERAL

O objetivo principal desta monografia é projetar a aplicação do sistema Net Zero Água em uma instituição pública de ensino, de forma que seja alcançada a autossuficiência hídrica da edificação.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Verificar os elementos que influenciem na viabilidade dos sistemas Net Zero Água, os problemas a serem solucionados a partir de seu uso, assim como os obstáculos a sua implantação.

Analisar as partes constituintes dos sistemas Net Zero Água, a fim de que se entendam os processos envolvidos.

Projetar a aplicação prática do sistema em uma instituição pública de ensino, que também poderá ser utilizada como método de aplicação destes conceitos em empreendimentos similares.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 SISTEMAS DE ABASTECIMENTO E TRATAMENTO DE ÁGUA E ESGOTO

2.1.1 Sistemas Centralizados

Os sistemas de abastecimento de água tradicionais são denominados centralizados e caracterizados por apresentarem uma única estação de tratamento, grande extensão de tubulações adutoras de elevados diâmetros, diversas estações elevatórias e grandes reservatórios (TSUTIYA, 2006). É evidente que estes sistemas representaram um grande avanço na saúde pública e na infraestrutura de centros urbanos em relação às alternativas de captação de água existentes até então; no entanto, atualmente estes sistemas enfrentam diversas limitações acerca de sua eficiência, de modo que suas implicações ambientais, econômicas e sociais já não podem mais ser ignoradas (SISOLAK E SPATARO, 2011).

De acordo com o relatório anual Estado da Indústria da Água (AWWA, 2019), desde 2015 a readequação dos sistemas de água e esgoto ineficientes é uma das maiores preocupações da população em relação às questões hídricas. As mudanças demográficas nas cidades, o custo financeiro dos sistemas vigentes e a preocupação ambiental criam a oportunidade ideal para que se reestruture a gestão dos recursos hídricos atuais.

Dentre as causas dos impactos ambientais do sistema centralizado está a necessidade de se captarem grandes volumes de água de corpos hídricos para abastecimento da região atendida. Embora existam os limites de outorga, ou o prazo máximo de exploração da fonte de água para que não ocorram prejuízos permanentes, podem ocorrer perturbações no equilíbrio hídrico natural, alterando a qualidade da água (SISOLAK E SPATARO, 2011).

Ademais, durante as fases de execução das adutoras da rede de abastecimento, não raramente são necessárias etapas de desmatamento, escavação, corte e aterro, que além de intervir na topografia e na vegetação natural da região, podem ocasionar processos erosivos e assoreamento de recursos

hídricos próximos (CESAN, 2010).

Um dos maiores reveses do sistema de cunho centralizado é o gasto energético fundamental para a operação do sistema, que configura tanto um problema ecológico como econômico, já que são necessárias grandes demandas de energia para a captação e para a adução da água (SISOLAK E SPATARO, 2011). Segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2019) o consumo energético das prestadoras de serviços de saneamento em 2018 no Brasil foi de 12,9 TWh, em que 11,5 TWh correspondem ao abastecimento de água; este consumo se traduz em 6,19 bilhões de reais. O Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto publicado pelo SNIS (2019, p. 99) ainda destaca que:

Os dados históricos do SNIS apontam para uma tendência crescente de consumo energético no setor que geralmente acompanha os aumentos nos índices de consumo per capita da água [...]. Além disso, o aumento da população residente torna necessário que os prestadores de serviço aumentem o volume de água produzido e o volume de esgotos tratado.

Sabe-se também que uma imensa infraestrutura é requerida para que o sistema centralizado opere. Assim, a manutenção necessária para que a rede funcione corretamente é de expressivo custo financeiro e aumenta ao passo que o sistema envelhece. Além disso, segundo Sisolak e Spataro (2011), o crescimento populacional tanto urbano como rural faz com que o sistema seja mais exigido, ou seja, o aumento da densidade demanda também o aumento da infraestrutura que o atende. Sendo assim, pode-se dizer que o sistema centralizado, além de requerer grandes investimentos iniciais, também acarretará em constantes gastos com manutenções, tornando-se ultrapassado ou insuficiente em um curto intervalo de tempo.

Por possuir longas extensões de tubulações de grandes diâmetros, a perda de água ao longo da rede de distribuição, apesar de considerada uma falha técnica, é inevitável. Estas perdas geralmente ocorrem devido a vazamentos ao longo da extensão das adutoras, mas também podem ocorrer em estações elevatórias, conexões, reservatórios e demais partes constituintes da rede de distribuição (SNIS, 2019). Este problema, inerente ao sistema centralizado, afeta tanto a esfera ambiental, visto que o recurso natural está sendo desperdiçado, quanto a econômica, pois gasta-se energia elétrica para que se transporte a

porcentagem perdida. O valor monetário decorrente da perda, por sua vez, é repassado ao consumidor final, assim, a perda ao longo da rede configura também um problema social.

O índice de perdas na distribuição de água no Brasil foi de 38,5% em 2018 (SNIS, 2019) ou seja, mais de um terço da água disponível no início da distribuição não é utilizado pelo consumidor. Apesar de este índice incluir também em seu cálculo ligações clandestinas e falhas de medição, pode-se afirmar que o volume de água desperdiçado durante a operação do sistema é muito elevado.

A viabilidade dos sistemas centralizados de abastecimento depende de que o sistema opere de forma a fornecer água para uma região de tamanho expressivo. Assim, caso ocorram falhas que comprometam o transporte de água, comunidades inteiras terão seu abastecimento interrompido, o que configura o risco social inerente ao sistema centralizado. De acordo com o SNIS (2019), no ano de 2018 foram contabilizadas 1.599 paralizações com duração maior de 6 horas no município de São Paulo, onde foram atingidas 4.948.467 economias. Estes dados comprovam como falhas localizadas no sistema podem afetar, em grande escala, a população atendida.

Em relação aos padrões de consumo da população, observa-se que o conceito de sistemas centralizados afasta o consumidor final de todo o processo necessário para que a água chegue até ele. Sisolak e Spataro (2011) apontam que o acesso à água tratada é uma facilidade que a população atendida, de modo geral, considera como garantida, e essa facilidade desconecta o indivíduo do entendimento dos processos necessários para que isso seja possível, afetando também o entendimento de como zelar por este recurso.

Ainda que o índice médio de atendimento por rede de esgoto no Brasil seja de apenas 60,9%, e existam 705 municípios no país com índice de tratamento inferior a 30%, em 2018 foram tratados 4,30 bilhões de m³ de esgoto, segundo dados do SNIS (2019). Este volume tratado é composto por efluentes de diversas origens e, conseqüentemente, de diversos níveis de força, demanda química e bioquímica de oxigênio. Apesar de requerer diferentes graus de tratamento, todo o volume de esgoto é tratado em um mesmo processo, o que o torna energeticamente ineficiente.

Ademais, em alguns casos, não existe separação entre as galerias pluviais e as redes coletoras de esgoto, contaminando, assim, a água de chuva

coletada. Esse sistema combinado gera um aumento significativo no volume destinado às estações de tratamento, aumentando o custo e o tempo necessários para o processo de tratamento (SISOLAK E SPATARO, 2011; NELSON, 2008). Além disso, toda a extensão da tubulação deve ser superdimensionada para comportar o grande volume excedente proveniente da combinação dos sistemas de coleta.

A partir do estudo dos problemas já citados, é indubitável que os sistemas centralizados já não mais representam a melhor alternativa para a gestão dos recursos hídricos. Assim, a análise de alternativas e de novos sistemas que atendam às necessidades da população de forma mais eficiente, econômica e ecológica é de suma importância no contexto atual.

2.1.2 Sistemas Descentralizados

Por definição, os sistemas descentralizados são aqueles em que a água é captada e tratada no local onde será consumida, e o efluente gerado é tratado e disposto também no local, ou próximo a ele, funcionando assim como uma unidade independente dos sistemas coletivos de abastecimento e coleta (MORTON, 2013). Nelson (2008) pontua que a captação, o uso, o tratamento e o reuso da água integrados e localizados imitam como a própria natureza consome a água, a partir de um ciclo que sustenta as abundantes formas de vida existentes.

O retorno a sistemas descentralizados, comuns antes da adoção de infraestruturas centralizadas, não representa um retrocesso em termos tecnológicos ou culturais, pelo contrário, com o desenvolvimento de novas tecnologias de captação e tratamento, representa uma resposta ao crescimento demográfico e à escassez dos recursos naturais já amplamente explorados (BURIAN ET AL., 2000).

De acordo com Burian et al. (2000), a principal diferença entre as novas tecnologias de descentralização em relação aos processos descentralizados utilizados no século XIX é a capacidade de se integrar efetivamente aos sistemas centralizados existentes. Nota-se, assim, que a capacidade de adaptação dos sistemas descentralizados permite que ocorram transições suaves a partir da operação centralizada vigente, à medida que sua viabilidade econômica, ambiental e social exista.

Pode-se dividir os processos de um sistema descentralizado em três

pilares: conservação do uso da água, captação e uso de águas pluviais e tratamento e reuso dos efluentes gerados (Nelson, 2008). Cada um destes pilares é indispensável para o pleno funcionamento do sistema.

A conservação do uso da água é promovida a partir de uma série de medidas. Dentre elas, destacam-se a instalação de equipamentos economizadores de água, que funcionem de maneira mais eficiente sem interferir no resultado do processo, áreas verdes compostas por espécies vegetativas adequadas as condições climáticas da região em questão, minimizando assim a necessidade de irrigação, e o incentivo a padrões de consumo de água conscientes (Nelson, 2008).

A água pluvial, depois de captada, é direcionada a cisternas para armazenamento e deve passar por sistemas de tratamento que a adequem aos padrões de qualidade exigidos. Estes parâmetros são determinados conforme a finalidade que o produto final terá: quanto mais nobre for o uso escolhido para a água, maiores serão as exigências acerca de sua qualidade. A captação de água de chuva pelas edificações ainda promove o alívio do sistema de galerias pluviais da região. Nelson (2008, p. 16) afirma que:

Os sistemas descentralizados de uso de águas pluviais têm reforçado a proteção acerca da qualidade da água, tanto ao reduzir o impacto da instalação de novas infraestruturas em redes rurais e suburbanas, como ao reduzir o extravasamento de águas pluviais e o escoamento superficial em áreas com sistemas combinados de esgoto.

Em um sistema descentralizado, todo o efluente gerado na unidade deve ser tratado e, posteriormente, empregado no local, os possíveis usos incluem descargas, irrigação e combate a incêndio. Ademais, alguns nutrientes presentes no esgoto, como nitrogênio e fósforo (USEPA, 2005), podem ser recuperados e utilizados na fertilização de jardins. Sistemas de tratamento descentralizados, quando bem projetados e gerenciados ainda podem fornecer um resultado equivalente ao de sistemas centralizados com um custo geralmente menor (USEPA, 2005).

Segundo Nelson (2008), o sucesso da abordagem descentralizada é dependente da combinação do uso das tecnologias e técnicas disponíveis, de projeções a níveis de edificação e de comunidades e da perspectiva integrada com

as redes existentes. Portanto, quando projetados de modo a considerar todos os aspectos supracitados, os sistemas descentralizados representam uma alternativa social, econômica e ambientalmente viável à insustentabilidade das redes centralizadas.

2.2 NET ZERO ÁGUA

2.2.1 Definição

Uma edificação Net Zero Água é uma inovação tecnológica onde a unidade construtiva é totalmente responsável por produzir sua água potável, assim como por tratar todo o efluente gerado por ela (MORTON, 2013). Em outros termos, a edificação se torna autossuficiente em relação aos recursos hídricos, e funciona como um ciclo fechado, operando de forma independente dos sistemas coletivos de abastecimento de água e coleta de esgoto.

Para que a demanda de água da edificação seja suprida, deverão ser projetados sistemas de captação não convencionais, onde a água não é proveniente da concessionária local. Para isso, a água utilizada poderá ser obtida por meio da captação de águas pluviais, ou extraída de poços subterrâneos, desde que autorizados (ENGLEHARDT ET AL, 2015).

Todo o esgoto gerado no empreendimento deverá passar por processos de tratamento, e, em adição a fonte de água escolhida, o produto do tratamento dos efluentes gerados também deverá ser empregado para uso no empreendimento. Desta forma, não devem existir saídas de águas residuais dos limites da unidade construtiva (MORTON, 2013).

Para que a operação do sistema Net Zero Água seja suficiente para prover a quantidade de água demandada, e para que comporte o tratamento do efluente produzido, são necessárias análises completas que envolvam, dentre outros aspectos, o regime pluviométrico da região, as características hidrológicas, as necessidades de consumo da edificação e os tipos de efluentes gerados. Além disso, o sistema deve ser corretamente dimensionado para que sua eficiência seja máxima (JOUSTRA, YEH, 2015).

Ainda que de elevado grau de complexidade, o empreendimento Net

Zero Água, quando corretamente projetado, opera de forma a garantir que o suprimento de água seja atendido, proporcionando alívio nos custos financeiros enquanto reduz impactos ambientais oriundos da extração de água de corpos hídricos convencionais.

2.2.2 Obstáculos à Implantação

Atualmente ainda existem algumas barreiras que dificultam a utilização dos sistemas Net Zero Água em grande escala, dentre elas pode-se citar o investimento monetário necessário (SISOLAK E SPATARO, 2011). Analogamente a demais inovações na construção civil, o custo de implantação de novos métodos e tecnologias é sempre inferior nas etapas iniciais dos projetos, antes do início da execução dos empreendimentos. Assim, pode-se dizer que quanto mais cedo se opta por implantar os conceitos Net Zero Água na edificação, menor será o custo desta implantação.

Outro obstáculo de cunho financeiro está no fato de que os custos de manutenção, operação e substituição de partes do sistema, que antes eram responsabilidade da concessionária, agora são arcados pelo proprietário (SISOLAK E SPATARO, 2011). Contudo, estes custos podem ser abatidos ao longo do tempo ao se considerar que não mais haverá gastos com a prestação de serviços da rede centralizada. Ademais, quando aplicadas as práticas de proteção ao uso da água que são parte constituinte do conceito Net Zero, somadas a instalação de dispositivos economizadores, ocorrerá a redução no consumo da água produzida.

Sisolak e Spataro (2011) ainda acrescentam que apesar da transição da concessionária para o proprietário significar uma barreira financeira, ela também cria a oportunidade de serem desenvolvidos incentivos, como descontos e isenção de taxas, para estimular esta transição, impulsionando empreendedores a adotar este sistema.

Em relação ao desenvolvimento técnico, a falta de uma visão holística, ou integrada, dos sistemas de captação, coleta e tratamento de água e efluentes também se apresenta como um obstáculo à implantação de sistemas descentralizados como o Net Zero Água. Nelson (2008, p. 11) aponta que:

Parte do potencial não realizado de alternativas descentralizadas pode ser explicada pela contínua segregação de defensores,

empreendedores e profissionais das três esferas distintas de abastecimento de água, captação de água pluvial e tratamento de águas residuais. O foco é primariamente colocado nas tecnologias individuais, no lugar do impacto cumulativo.

Assim, para que ocorra o desenvolvimento técnico dos conceitos descentralizados integrantes do sistema Net Zero Água de forma ampla, deve haver a noção de que é preciso que se abordem os três pilares constituintes simultaneamente, sem a separação dos processos, já que estes estão fundamentalmente relacionados (NELSON, 2008).

Em adição às questões supracitadas, deve-se ainda analisar os obstáculos sociais ao emprego do sistema Net Zero Água. Nesta esfera, pode-se citar a falta de conhecimento da população, de uma forma geral, dos sistemas de tratamento in loco, que pode prejudicar a maneira como esses sistemas são vistos pela comunidade. Graças ao histórico existente de doenças que são transmitidas via esgoto, o tratamento dos efluentes na edificação pode ser visto como uma alternativa menos civilizada em relação aos sistemas centralizados (SISOLAK E SPATARO, 2011). Assim, deve existir uma conscientização da população acerca da eficácia dos sistemas descentralizados. Para Sisolak e Spataro (2011, p.25)

Atualmente, a educação é necessária para assegurar o público sobre a segurança de sistemas descentralizados de água modernos, assim como informar sobre seus benefícios ambientais, sociais e econômicos.

O acesso às fontes de água disponíveis no local do empreendimento também pode se apresentar como um limitante para a implantação desta tecnologia, já que a demanda deverá ser suprida por meio de fontes alternativas. Segundo Joustra e Yeh (2015), o clima e a localização do empreendimento afetam a disponibilidade de água proveniente de precipitações, e além disso, o consumo de água na edificação impactará no volume de águas residuais geradas, que também devem ser empregadas para um fim dentro do empreendimento. Assim, para que a demanda hídrica da edificação seja suprida satisfatoriamente, deve ser feita a compatibilização dos volumes consumidos e das possibilidades de captação viáveis.

Tendo em vista as questões mencionadas, e aliando-se a elas a complexidade dos projetos de empreendimentos descentralizados, é possível afirmar que ainda existem barreiras a serem transpostas para que os sistemas Net Zero

Água sejam empregados mais amplamente. Contudo, partindo-se do fato de que as tecnologias necessárias já existem, quando bem projetados, os empreendimentos Net Zero Água operam satisfatoriamente ao possibilitar à edificação a autossuficiência hídrica, enquanto promovem a sustentabilidade.

2.2.3 Implantação em Instituições Públicas de Ensino

Um método eficaz de disseminar atitudes de consumo consciente para a população é por meio de atividades escolares (PROCOPIAK, JEDYN E TAKAHASHI, 2014), assim, programas educacionais implantados em instituições de ensino podem impactar significativamente o consumo de água, eliminando desperdícios e reduzindo a demanda da edificação.

É importante apontar que por tratar-se de um empreendimento de uso coletivo que atende um número expressivo de pessoas, dentre alunos e funcionários, o impacto deste conjunto de mudanças no consumo da água é potencializado. Ademais, as novas práticas adotadas na escola podem ser refletidas nos padrões de consumo nas demais edificações utilizadas por esse grupo de pessoas, acrescentando ainda mais ao seu impacto (PROCOPIAK, JEDYN E TAKAHASHI, 2014).

Pode-se também acrescentar que a participação da população na implantação do sistema, mesmo que de caráter informativo, é importante para que ocorra o total entendimento da comunidade sobre os benefícios do processo Net Zero. O engajamento da população constrói um relacionamento colaborativo entre a comunidade, os órgãos governamentais envolvidos, e o sistema de planejamento (SISOLAK E SPATARO, 2011).

Acerca da conservação do uso da água em escolas, Procopiak, Jedyn e Takahashi (2014) pontuam que a substituição de equipamentos hidráulicos convencionais por equipamentos economizadores de água reduz o consumo sem afetar o conforto ou a saúde dos usuários. Assim, pode-se tornar o consumo na edificação mais eficiente a partir de custos relativamente baixos.

Considerando que os volumes de água consumida e efluentes gerados por instituições de ensino são relativamente expressivos, a transição para um sistema descentralizado proporcionaria alívio às redes municipais de abastecimento de água e coleta de esgoto. Além disso, superado o período de

tempo necessário para que o investimento da implantação do sistema seja compensado, o funcionamento do processo Net Zero Água significará uma redução do custo de operação da instituição.

Por fim, acrescenta-se que a implantação do processo Net Zero Água na instituição de ensino a torna elegível para uma série de certificações e selos, que atestam a sua autossuficiência hídrica e esforços rumo a sustentabilidade.

2.3 SISTEMAS DE CICLO FECHADO E BALANÇO HÍDRICO DA EDIFICAÇÃO

Segundo Joustra e Yeh (2015), o ciclo da água na edificação Net Zero pode ser definido como o sistema criado para que ocorra toda a movimentação da água na unidade construtiva. O ciclo da água no interior de uma edificação pode ser comparado ao ciclo que ocorre naturalmente no meio ambiente, onde água e minerais são transportados de nuvens a corpos hídricos superficiais e subterrâneos, passando por processos de armazenamento, uso, purificação e reuso (NELSON, 2008).

Para que se atinja a mesma eficiência do ciclo que ocorre naturalmente, é preciso que sejam adotadas medidas de tratamento e reuso da água que promoverão a redução do consumo de água potável para fins onde esse grau de qualidade não seja necessário (JOUSTRA E YEH, 2015). Assim, deve-se relacionar os níveis de tratamento disponíveis aos usos a que a água tratada será destinada, não é eficiente se utilizar para irrigação, por exemplo, água que atinja padrões de potabilidade. Esta estratégia é conhecida como *fit-for-use* (SISOLAK E SPATARO, 2011).

Um sistema de ciclo fechado é definido por Sisolak e Spataro (2011) como um sistema onde toda a água utilizada na unidade é captada, tratada, destinada e lançada nos limites do terreno. Para que se defina a estrutura do ciclo da água no edifício, devem ser identificadas todas as fontes de captação disponíveis, as demandas individuais existentes, e os padrões de consumo dos usuários (JOUSTRA E YEH, 2015). Esses componentes, quando combinados de maneira a formar um ciclo fechado, isto é, um sistema unitário e independente, possibilitam o aumento da eficiência no uso da água (JOUSTRA E YEH, 2015).

Ao se formular o modelo do ciclo hídrico fechado da edificação,

deve-se considerar que ocorrerão variações tanto na oferta quando na demanda de água ao longo do tempo. Isso acontece devido a mudanças climáticas, variações dos hábitos de consumo e periodicidade do uso do edifício (JOUSTRA E YEH, 2014). Portanto, é preciso que se projete também um sistema de reservação, já que, diferentemente do abastecimento das concessionárias, não existe a total garantia da oferta constante.

É importante apontar que apenas balancear as quantidades de entrada e de saída de água do sistema Net Zero não é suficiente, é preciso também que se mantenha o equilíbrio na qualidade dos efluentes que são dispostos no ambiente. De acordo com Joustra e Yeh (2014, p. 3179):

[...] um edifício que descarrega efluentes de baixa qualidade para o ambiente pode manter o equilíbrio quantitativo de água enquanto reduz a saúde do ambiente. Manter o equilíbrio da qualidade da água, mas alterar os locais de captação e descarga da água ou consumir e devolver a água em momentos diferentes também tem efeitos negativos. Portanto, o cumprimento do sistema Net Zero requer o gerenciamento adequado da água em termos de quantidade, qualidade, localização e tempo.

Para que o sistema Net Zero funcione satisfatoriamente, também é necessário que este esteja em uma escala adequada. Sisolak e Spataro (2011) afirmam que diferentes estratégias e tecnologias empregadas levam a diferentes escalas de uso, assim, o sistema também deve adotar a estratégia *fit-for-scale*. Um dimensionamento adequado requer que sejam analisadas numericamente todas as entradas e todas as demandas hídricas do projeto, para isso utiliza-se o balanço hídrico da edificação.

O balanço hídrico pode ser descrito como uma equação numérica que relaciona as quantidades de água que entram e que deixam os limites da edificação (SISOLAK E SPATARO, 2011). A elaboração de um balanço hídrico detalhado é fundamental para que se atinja a otimização do sistema, pois a partir dele são identificados pontos no projeto com os maiores potenciais de economia ou de falhas (BRUGGEN E BRAEKEN, 2006). Portanto, deve ser feito o mapeamento de cada uso que a água terá, assim como da quantidade de água necessária para cada um dos usos.

Em um sistema Net Zero, entende-se que o balanço hídrico deve se equilibrar nos dois lados da equação, ou seja, o volume de entrada, ou de captação

de água, deve ser igual ao volume de saída, ou de utilização da água (JOUSTR E YEH, 2014). Assim, conforme já exposto, as entradas, ou fontes de água, incluem a captação de água de chuva e a água residual tratada, enquanto que as saídas são as demandas de utilização. Cada um desses itens será tratado a seguir.

2.4 CAPTAÇÃO, TRATAMENTO E USO DE ÁGUA PLUVIAL

2.4.1 Mecanismos de Captação

Sisolak e Spataro (2011) definem a captação de água pluvial como a captura de água da superfície da cobertura de uma edificação. A coleta da água pluvial é geralmente feita nas superfícies de cobertura, o telhado, mas também pode ser realizada em áreas impermeabilizadas sobre o solo, contudo, a água coletada nas superfícies do chão pode apresentar maior grau de contaminação, ou seja, qualidade inferior (TOMAZ, 2011), (SISOLAK E SPATARO, 2011). Os requisitos para o uso de água pluvial para fins não potáveis são normatizados na NBR 15527-2019, e as instalações prediais para água pluvial são tratados na NBR 10844-1989.

De acordo com König (2007), o sistema de aproveitamento de água de chuva deve atender 4 critérios: a segurança higiênica, ou seja, não devem haver riscos em se utilizar a água coletada, não deve ocorrer a perda de conforto, causada por odores, deposições de material e entupimentos, a tolerância ambiental, que leva em conta o uso de químicos e o consumo de energia, e por fim, os custos aceitáveis, onde os custos para operação, manutenção e monitoramento devem ser viáveis em relação aos sistemas de abastecimento e tratamento coletivos.

Segundo Tomaz (2011), as principais partes constituintes de um sistema de captação de chuva são as subseqüentes:

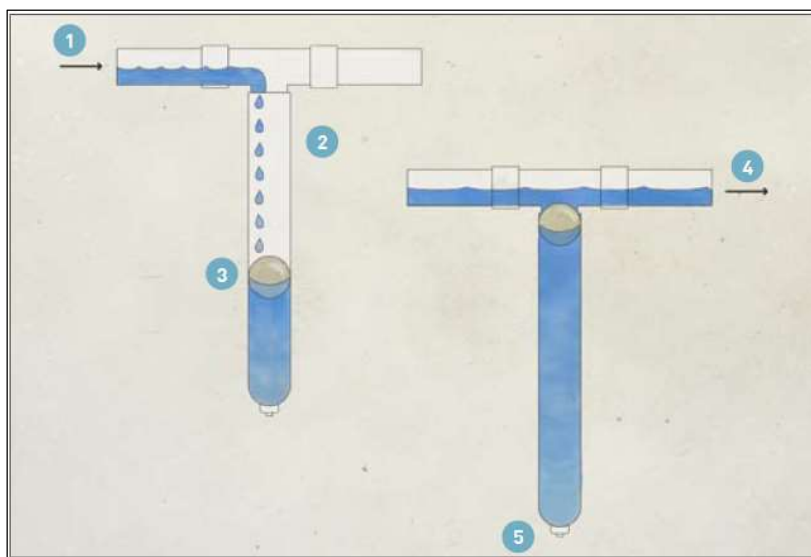
- a) Área de captação;
- b) Calhas e condutores;
- c) By pass;
- d) Peneira;
- e) Reservatório;
- f) Extravasor.

As áreas de captação são, como dito anteriormente, as superfícies

onde a água pluvial é coletada, podendo ser a cobertura ou outras áreas impermeabilizadas. As telhas podem ser de diversos materiais e possuir inclinação variável. A água de chuva incidente sobre a área de cobertura é direcionada pela inclinação das águas do telhado aos condutores verticais e calhas, que conduzirão a água pluvial ao sistema de armazenamento. Geralmente as calhas e condutores são de PVC ou metálicos (TOMAZ, 2011). O dimensionamento dessas tubulações está normatizado na NBR 10844:1989.

O by pass é um dispositivo que descarta a primeira água incidente sobre o telhado, que apresenta maior grau de contaminação por se misturar a sujeira presente na cobertura (TOMAZ, 2011). Um exemplo de funcionamento pode ser visto na figura 1 a seguir.

Figura 1 – Funcionamento do by pass



Fonte: Sisolak e Spataro (2011, p. 46).

Neste tipo de sistema, a água pluvial que entra pelo ponto (1) enche primeiro o reservatório de descarte (2). Ao se atingir o limite, este reservatório é selado pelo dispositivo de fechamento (3), e a água passa a ser conduzida ao ponto (4), que leva ao reservatório. O reservatório de descarte pode então ser esvaziado por meio de uma válvula (5).

O descarte da primeira chuva também pode ser feito por dispositivos automáticos de autolimpeza, onde não existe a necessidade da operação manual (TOMAZ, 2011). A NBR 15527:2019 recomenda que em caso de falta de dados,

deve-se descartar os 2mm iniciais da precipitação (ABNT, 2019).

É importante que ocorra a remoção de materiais grosseiros, como folhas ou galhos, pois eles podem ocasionar o entupimento das tubulações e a contaminação do reservatório. Para isso, instala-se uma peneira ou filtro grosso na entrada da calha ou do reservatório, como mostrado nas figuras 2 e 3 a seguir. Para este fim, usa-se telas de abertura na faixa de 6mm a 13mm (TOMAZ, 2011).

Figura 2 – Grelha para calha



Fonte: Tigre (2020).

Figura 3 – Filtro separador de sólidos



Fonte: Acquasafe (2020).

O armazenamento da água pluvial captada pode ser feita em reservatórios de diversos materiais, como concreto armado, alvenaria de tijolos cerâmicos, alvenaria estrutural, plásticos, poliéster, etc. Os reservatórios podem ainda ser apoiados, enterrados ou elevados (TOMAZ, 2011). A água armazenada no reservatório deve ser protegida da incidência de luz solar e outras fontes de calor,

segundo NBR 15527:2019, além disso, é recomendado que a saída de água do reservatório seja feita a 15 cm da superfície da água (ABNT, 2019).

O reservatório deve ainda possuir um extravasor, ou ladrão, sendo este um dispositivo para evitar transbordamento. O extravasor deve conter um mecanismo que impeça a passagem de pequenos animais para o interior do reservatório (TOMAZ, 2011). Além disso, também devem ser previstos no reservatório a tubulação de inspeção e de ventilação (ABNT, 2019).

Após a reservação, nos casos em que a diferença de cotas não seja suficiente para que a água seja transportada por gravidade, deve ser projetado um sistema de recalque. Este sistema, composto por uma ou mais bombas, pode pressurizar a água do reservatório até o ponto de uso, acordo com a demanda, ou então até um reservatório superior, que fornecerá ao sistema altura manométrica suficiente para que a água seja pressurizada pela gravidade. A segunda opção é mais eficiente do ponto de vista energético, por funcionar de forma independente da demanda de água (SISOLAK E SPATARO, 2011).

É primordial para o funcionamento correto do sistema que se realizem manutenções periódicas em todos os componentes. O regime pluviométrico do local deve ser levado em consideração ao se planejar a periodicidade das manutenções (ABNT, 2019). A NBR 15527:2019 recomenda que as manutenções sejam feitas com as seguintes frequências:

Quadro 1 – Frequência de Manutenção

Componente	Frequência de Manutenção
Dispositivo de descarte de detritos	Inspeção mensal Limpeza trimestral
Dispositivo de descarte de escoamento inicial, se existir	Inspeção mensal Limpeza trimestral
Calhas	Inspeção semestral Limpeza quando necessário
Áreas de captação, condutores verticais e horizontais	Inspeção semestral Limpeza quando necessário
Dispositivos de desinfecção	Inspeção mensal
Bombas	Inspeção mensal
Reservatório	Inspeção anual Limpeza quando necessário

Fonte: ABNT (2019).

2.4.2 Parâmetros de Qualidade e Métodos de Tratamento

Após o armazenamento da água pluvial, é feito o tratamento de acordo com os usos que foram definidos para a água. Segundo Tomaz (2011), o sistema de captação de água pluvial pode ser feito de 3 maneiras: somente captação, captação e pré-filtração, e captação, pré-filtração e tratamento. Quanto maior a complexidade do tratamento, maior a qualidade de água ao final do sistema.

Para que se determine o tratamento adequado, deve-se observar os padrões de qualidade exigidos em norma. O anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde de 03 de outubro de 2017, no artigo 4 define que

Toda água destinada ao consumo humano proveniente de solução alternativa individual de abastecimento de água, independentemente da forma de acesso da população, está sujeita à vigilância da qualidade da água.

Assim, pode-se dividir as finalidades da água captada em fins potáveis e fins não potáveis. De acordo com o Ministério da Saúde (Portaria nº 5, 2017), a água potável, ou seja, a água destinada a ingestão, preparação de alimentos e higiene pessoal, deve atender ao padrão de potabilidade composto por valores limites para parâmetros de qualidade, como cor, turbidez, ausência de microrganismos e pH. O parâmetro microbiológico a ser atendido pela água potável pode ser observado no quadro abaixo.

Quadro 2 – Padrão microbiológico da água para consumo humano

Tipo de Água	Parâmetro	Valor Permitido Máximo
Água para consumo humano	Escherichia coli	Ausência em 100 mL
Água na saída do tratamento	Coliformes totais	Ausência em 100 mL

Fonte: Adaptado de Ministério da Saúde (2017, p. 212).

O quadro abaixo explicita as exigências para a turbidez da água potável, onde uT é a unidade de turbidez.

Quadro 3 – Padrão de turbidez para água pós-filtração ou pré-desinfecção

Tratamento da Água	Valor Máximo Permitido
Desinfecção	1,0 uT em 95% das amostras
Filtração rápida	0,5 uT em 95% das amostras
Filtração lenta	1,0 uT em 95% das amostras

Fonte: Adaptado de Ministério da Saúde (2017, p. 212).

Quanto ao padrão organoléptico, que diz respeito às características da água que não são necessariamente prejudiciais à saúde, mas podem afetar a percepção da qualidade da água pelo usuário, deve-se atender as seguintes especificações.

Quadro 4 – Padrão organoléptico de potabilidade

Parâmetro	Unidade	Valor Máximo Permitido
Alumínio	mg/L	0,2
Amônia	mg/L	1,5
Cloreto	mg/L	250
Cor Aparente	uH	15
1,2 diclorobenzeno	mg/L	0,01
1,4 diclorobenzeno	mg/L	0,03
Dureza total	mg/L	500
Etilbenzeno	mg/L	0,2
Ferro	mg/L	0,3
Gosto e odor	Intensidade	6
Manganês	mg/L	0,1
Monoclorobenzeno	mg/L	0,12
Sódio	mg/L	200

Parâmetro	Unidade	Valor Máximo Permitido
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	1000
Sulfato	mg/L	250
Sulfeto de hidrogênio	mg/L	0,1
Sulfactantes	mg/L	0,5
Tolueno	mg/L	0,17
Turbidez	uT	5
Zinco	mg/L	5
Xilenos	mg/L	0,3

Fonte: Adaptado de Ministério da Saúde (2017, p. 216).

Além disso, para o padrão de potabilidade, deve-se manter uma quantidade de cloro residual livre igual a 0,2 mg/L, e o pH da água deve estar na faixa de 6,0 a 9,5 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2017).

A NBR 15527:2019 define os parâmetros para fins não potáveis da água coletada, como visto no quadro abaixo.

Quadro 5 – Parâmetros mínimos de qualidade para usos não potáveis

Parâmetro	Valor
Escherichia coli	< 200 / 100 mL
Turbidez	< 5,0 uT
pH	6,0 a 9,0

Fonte: ABNT (2019, p. 7).

De acordo com Tomaz (2011), pode-se decompor a qualidade da água em 4 etapas: antes de atingir o solo, após escoar pelo telhado, no interior no reservatório e no ponto de consumo. Assim, um dos objetivos do sistema Net Zero é que a água chegue ao seu ponto de uso com a qualidade requerida para ele, para isso se lança mão da estratégia *fit-for-use*, já mencionada anteriormente.

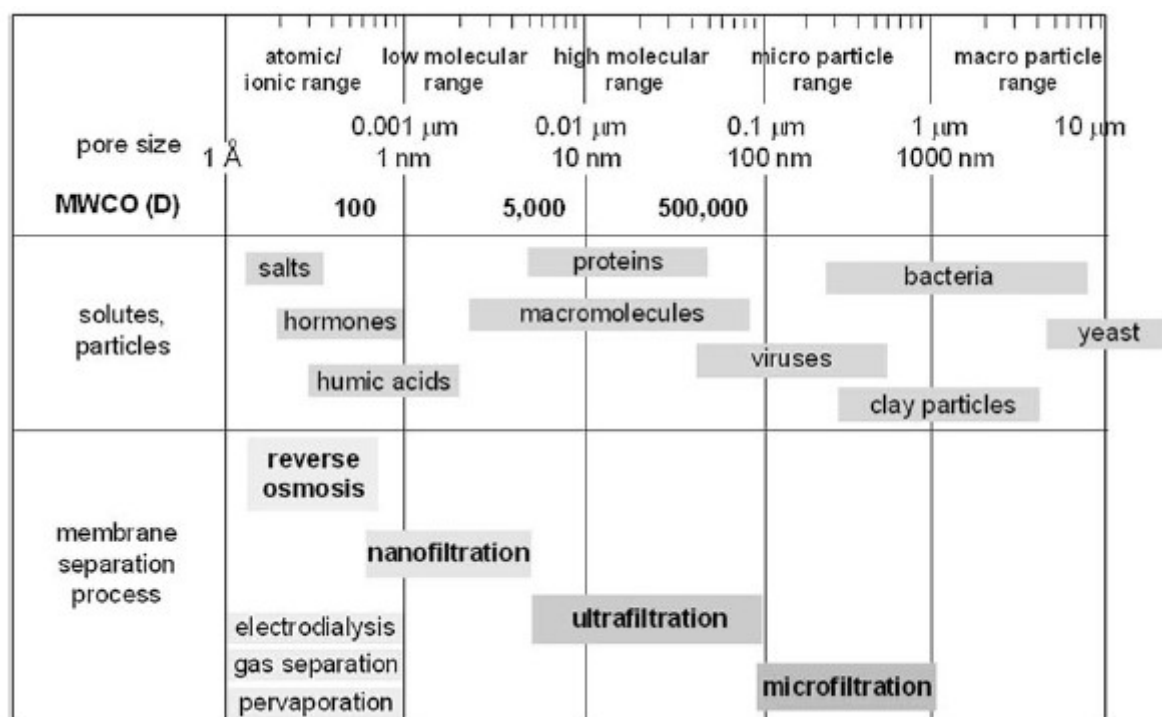
Para fins de irrigação, uso em bacias sanitárias e limpeza, a água

coletada pode passar apenas por sistemas de filtração, por não necessitar atingir padrões de potabilidade. Para usos de higiene pessoal e alimentação, contudo, é preciso que se realize em adição a desinfecção completa da água (SISOLAK E SPATARO, 2011).

Segundo a NBR 15527:2019, nos casos em que apenas a filtração não é suficiente para que se atinja os requisitos de fins não potáveis, deve ser previsto um sistema de desinfecção, podendo ser feito por cloração. Esse processo pode ser executado de maneira simples, por meio de um dosador automático de cloro na saída do sistema de recalque (TOMAZ, 2011).

Já para as finalidades que exigem a potabilidade da água, o processo de desinfecção é mais complexo e pode ser feito por radiação solar, aumento de temperatura, radiação ultravioleta, processos químicos como coagulação, floculação e decantação, e processos físicos como sedimentação, filtração e aeração (VASBANETS ET AL, 2008). Os processos tipicamente empregados em estações de tratamento de água, contudo, não são viáveis em tratamentos de menor escala como é o caso dos sistemas descentralizados, assim, se faz necessária a análise de sistemas de desinfecção alternativos (MIORANDO ET AL, 2016).

Um dos métodos de tratamento alternativos que podem ser empregados é a ultrafiltração, que consiste na passagem da água pluvial por uma membrana (MIORANDO ET AL, 2017). Segundo Varbanets (2008, p. 253), para que ocorra a desinfecção, o tamanho dos poros da membrana deve ser pequeno o bastante para que ocorra a retenção de todos os tipos de patógenos, como pode ser observado na figura 4 abaixo.

Figura 4 – Processo de filtração por membrana

Fonte: Varbanets et al (2009, p. 254).

Para que aconteça a passagem da água pela membrana, deve haver uma diferença de potencial entre os lados. Essa diferença pode ser de pressão, concentração, temperatura ou ainda induzida eletricamente (VARBANETS ET AL, 2008).

Uma das vantagens da ultrafiltração por membranas é a economia de espaço e simplicidade de operação. De acordo com Miorando et al (2017, p. 488), “[...] a inserção de membranas de UF em modo submerso diretamente no reservatório de água de chuva coletada permite uma fácil instalação das mesmas, sendo um promissor método para a potabilização de água de chuva. ” Ademais, neste tipo de tratamento a água é desinfetada com apenas um processo, não necessitado de adição de químicos ou outros processos, e com impacto relativamente pequeno (VARBANETS ET AL, 2008).

A principal desvantagem deste tipo de tratamento é a ocorrência de incrustações na membrana com o tempo, que podem necessitar de limpeza mecânica ou química após determinados períodos (VERBANETS ET AL, 2008). As tecnologias acerca da produção das membranas, porém, têm sido desenvolvidas significativamente nos últimos anos, resultando tanto no aumento da eficiência das mesmas, quanto na redução de seu custo (MIORANDO ET AL, 2017).

Outro método para desinfecção da água pluvial viável em sistemas descentralizados é a desinfecção por radiação ultravioleta. Este processo ocorre no interior de um reator, como mostrado na figura 5, que confere à água uma dose de radiação ultravioleta letal para os microrganismos (WISBECK ET AL, 2011). Este processo, no entanto, apresenta a desvantagem de ser influenciado por características da água como a turbidez, podendo perder sua eficiência (VARBANETS ET AL, 2008).

Figura 5 – Reator UV para desinfecção da água



Fonte: Gonçalves (2012, p. 2).

Pode-se ainda empregar um sistema misto onde mais de uma estratégia é utilizada a fim de se atingir os padrões de potabilidade. Gonçalves e Bastos (2012) descrevem um sistema composto por uma etapa de filtração lenta seguida da desinfecção ultravioleta. Neste sistema, os sólidos suspensos foram removidos na filtração, diminuindo assim a turbidez da água, e os microrganismos foram eliminados pela radiação, levando a água a atingir todas as especificações de potabilidade.

Existe, portanto, uma certa variedade de estratégias que podem ser empregadas no tratamento da água de chuva coletada, a escolha do processo que mais se ajuste ao projeto depende da análise de uma série de fatores, como o volume de água a ser tratado, a qualidade inicial da água coletada, e a disponibilidade de espaço.

2.4.3 Disponibilidade de água

Uma das informações de maior importância para o projeto é a disponibilidade de água pluvial da região. Essa disponibilidade influenciará na escolha do reservatório de águas pluviais, já que seu dimensionamento é feito a partir do potencial pluvial da região (TOMAZ, 2011).

De acordo com a NBR 15527 (ABNT, 2019), a concepção do sistema deve considerar as características do local e do projeto, como a precipitação pluviométrica da região, a área de cobertura disponível e demanda de utilização. Ademais, a disponibilidade de água captada também é influenciada pelo coeficiente de escoamento superficial da cobertura e da eficiência do sistema.

A eficiência do sistema é um dado estimado pelo fabricante ou o projetista do sistema, em caso de ausência deste dado, recomenda-se adotar 0,85, que significa uma eficiência de 85%. O coeficiente de escoamento superficial, ou *runoff*, é dado em função da superfície, ou seja, do material da cobertura, e é descrito como a relação entre o volume total escoado e o volume total da precipitação (ABNT, 2019). A seguir estão listados valores de coeficiente de escoamento superficial para alguns tipos de materiais empregados em coberturas.

Quadro 6 – Coeficientes de *runoff* médios

Material	Coeficiente de <i>Runoff</i>
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 (2011, p. 105).

Segundo Tomaz (2011, p. 157), o método mais empregado para o dimensionamento de reservatórios para uso de água pluvial é o método de Rippl, que resulta no volume máximo do reservatório. Neste método, utiliza-se o diagrama de massas para que se regularize os volumes de água no reservatório, já que a

oferta de água pluvial não é constante ao longo do ano. Dessa forma, é possível que mesmo nos períodos onde a demanda de água ultrapassar a oferta, a edificação conte com a água armazenada, tendo assim suas necessidades supridas durante todo o ano.

Assim, um regime pluviométrico bem distribuído acarreta em um volume de água armazenado mais otimizado, eliminando a necessidade de grandes reservas de água para períodos de estiagem. Os dados pluviométricos podem ser publicados em formato horário, diário ou mensal.

Para a aplicação do método, é necessário que se disponha da série histórica das precipitações mensais do local, que consiste em um conjunto de valores de precipitação obtidos em intervalos iguais de tempo ao longo de um grande período. Para simplificação de cálculos, pode-se também utilizar a série sintética, construída a partir de um modelo da série histórica (ABNT, 2019; TOMAZ, 2011).

2.5 TRATAMENTO DE EFLUENTES E REUSO

Um dos fundamentos da tecnologia Net Zero Água é o tratamento e reuso de águas servidas. Para isso, deve-se projetar o tratamento do efluente de forma que seu reuso seja seguro do ponto de vista sanitário, dessa forma, a água é geralmente destinada a fins não nobres (SILVA ET AL, 2016).

Para que se empregue a estratégia fit-for-use e se otimize o tratamento e reuso dos efluentes, classifica-se a água residual como sendo cinza ou negra. As águas cinzas são aquelas provenientes de lavatórios, chuveiros, banheiras, e oriundas de lavagens de roupas, em outras palavras são as águas que não entram em contato com dejetos humanos. Já as águas negras são provenientes de vasos sanitários e mictórios, contendo grande quantidade de matéria orgânica (SISOLAK E SPATARO, 2011). Assim, projeta-se diferentes tratamentos e fins para os diferentes tipos de efluentes.

De acordo com Carvalho et al (2014, p. 3168), os processos de tratamento de águas residuárias são técnicas para depuração, remoção de poluentes e adequação das características do efluente, podendo ser de natureza física, química, biológica ou combinações das anteriores. Exemplos de processos físicos são gradeamento, sedimentação, filtração e floculação, os processos

químicos são feitos por meio da adição de reagentes que alterarão os parâmetros da água em processos como a desinfecção, coagulação, oxidação. Os processos biológicos, por sua vez, incluem os lodos ativados, as lagoas de estabilização, e os filtros biológicos, entre outros métodos.

Segundo Subtil et al (2016, p. 210), a escolha das tecnologias de tratamento adequadas aos tipos de efluentes é de grande importância para o funcionamento adequado de todo o sistema. Assim, de acordo com os autores, se deve atentar para duas questões primordiais:

A acessibilidade refere-se às condições econômicas da comunidade, enquanto a adequação está relacionada com as condições ambientais e sociais. Dessa forma, a tecnologia mais apropriada é aquela que é economicamente viável, ambientalmente sustentável e socialmente aceitável.

Portanto, as tecnologias selecionadas e empregadas devem ser capazes de operar de maneira simples por longos períodos, demandar baixa manutenção, e funcionar adequadamente segundo as mudanças de volume e qualidade das águas servidas. No quadro e na tabela abaixo pode-se observar as diferentes tecnologias empregadas e a eficiência de cada nível de tratamento.

Quadro 7 – Classificação das tecnologias de tratamento

Classificação	Eficiência	Tecnologias
Tratamento Preliminar	<ul style="list-style-type: none"> • Remoção de sólidos grosseiros • Remoção de óleos e graxas • Remoção de areia 	<ul style="list-style-type: none"> • Separador sólido-líquido • Separado de óleo • Filtro para remoção de constituinte específico
Tratamento Primário	<ul style="list-style-type: none"> • Remoção de sólidos em suspensão 	<ul style="list-style-type: none"> • Fossa séptica • Tanque Imhoff
Tratamento Secundário	<ul style="list-style-type: none"> • Remoção de matéria orgânica dissolvida 	<ul style="list-style-type: none"> • Filtro biológico percolador • Wetlands • Reator anaeróbio compartimentado • Sistema combinado anaeróbio-anaeróbio e anaeróbio-aeróbio • Reator em batelada de crescimento suspenso • Sistemas de crescimento híbrido
Tratamento Terciário	<ul style="list-style-type: none"> • Remoção de nutrientes • Remoção de organismos patogênicos • Remoção de contaminantes específicos (metais, sólidos dissolvidos, etc.) 	<ul style="list-style-type: none"> • Biorretator com membranas • Osmose reversa • Coagulação e sedimentação, flotação ou filtração • Adsorção em carvão ativado • Desinfecção (hipoclorito de sódio, UV)

Fonte: Subtil et al (2016, p. 211).

Tabela 1 – Eficiência de remoção para cada sistema de tratamento descentralizado.

Sistema	DBO			Nutrientes	Coliformes	Turbidez	SDT
Tratamento primário	O	O	+	X	-	O	-
Filtro Biológico	+	+	+	X	X	O	-
Wetlands construídos	+	+	+	O	O	O	-
Reator anaeróbico compartimentado	+	+	+	X	X	O	-
Sistema combinado anaeróbico-aeróbico	+	+	+	O	O	O	-
Sistema MBR	++	++	++	++	++	++	-

Legenda: (-) Remoção nula ou muito baixa; (X) Remoção de 25%; (O) Remoção de 25 a 50%; (+) Remoção de 50 a 80%; (++) Remoção > 80%.

Fonte: Subtil et al (2016, p. 211).

Onde DBO, ou demanda bioquímica de oxigênio, representa a quantidade de oxigênio necessário para degradar bioquimicamente a matéria orgânica presente, e SDT são os sólidos dissolvidos totais (ABNT, 1997).

Portanto, feita a distinção dos sistemas para águas cinzas e para águas negras, deve-se analisar quais as melhores estratégias de tratamento para cada um deles. Os dois tipos de efluentes e suas respectivas opções de tratamento serão estudadas nos subtópicos a seguir.

2.5.1 Águas Cinzas

As águas cinzas podem ainda ser classificadas a partir de seu grau de contaminação para que se possa avaliar mais profundamente os graus de tratamentos distintos a serem empregados. As águas cinzas claras são as provenientes de lavatórios, chuveiros, máquinas de lavar roupa, banheiras, bebedouros e resfriamento de equipamentos, enquanto que as águas cinzas escuras são as oriundas de pias de cozinhas e máquinas de lavar louça, e comumente apresentam altos níveis de contaminação por gorduras e óleos (SISOLAK E SPATARO, 2011). Assim, águas cinzas provenientes de diferentes fontes apresentam diferentes graus de contaminação. O quadro a seguir exemplifica alguns contaminantes e suas possíveis fontes:

Quadro 8 – Contaminantes presentes em águas cinzas e seus respectivos riscos de contaminação

Contaminantes	Fonte	Risco de Contaminação
Óleos e graxas	Máquinas de lavar-roupa, lavatórios, chuveiros	Baixo: baixo risco de transmissão de doenças
Fósforo total e de fosfatos	Máquinas de lavar-roupa, lavatórios, chuveiros	Baixo risco para os usuários, benéfico para o crescimento de plantas se usado em irrigação
Nitrogênio e nitratos	Máquina de lavar-roupas, lavatórios, chuveiros	Alto: exposição prolongada ao nitrato e compostos pode provocar doenças fatais
Bactérias como <i>E.coli</i> e estreptococcus fecal; protozoários	Chuveiros e máquina de lavar-roupa	Alto: grande risco de contaminação e transmissão de doenças fatais

Fonte: Sant’Ana et al (2018, p. 11).

De acordo com Sisolak e Spataro (2011, p. 63), a combinação de um sistema de reuso de águas cinzas ao sistema de aproveitamento de águas pluviais traz a vantagem de se economizar em processos de tratamento, pois ao se utilizar a água cinza para fins não potáveis, diminui-se a demanda de água pluvial a ser captada e tratada. Ademais, ao se projetar estes sistemas em conjunto, em caso de escassez de águas cinzas a água pluvial poderá ser utilizada para suprir a demanda.

Embora alguns aspectos sejam abordados na NBR 13969, um dos obstáculos à implantação do reuso de águas cinzas é a falta de uma normatização específica para estes sistemas, onde as particularidades de projeto, execução e operação sejam abordadas de forma específica e detalhada (SILVA ET AL, 2016).

A NBR 5626 – Instalação predial de água fria define que não deve ocorrer conexão cruzada, ou seja, a tubulação para água não potável deve ser completamente separada da tubulação de água potável. Além disso, toda a instalação predial, os reservatórios e os pontos de uso da água não potável devem estar indicados por cores, símbolos e os dizeres “ÁGUA NÃO POTÁVEL” (ABNT, 1998). Apesar de não normatizado, é usual que a tubulação de água não potável seja pintada da cor roxa (SANT’ANA, 2018).

Os usos não potáveis mais comuns para a água cinza são irrigação e descargas, contudo, se tratada adequadamente, a água cinza também pode ser utilizada para limpezas externas, fornecimento para máquina de lavar, para corpos de água ornamentais como espelhos d’água e chafarizes, reserva técnica de incêndio e limpeza de veículos (SISOLAK E SPATARO, 2011; CARVALHO ET AL, 2014; SANT’ANA ET AL, 2018). Parâmetros de análise da água para diversos usos,

assim como frequências de análise podem ser vistos no quadro abaixo.

Quadro 9 – Diretrizes de qualidade para o reuso de águas cinzas

Usos Previstos	Padrões	Valores	Análise Laboratorial
<ul style="list-style-type: none"> • Torneira de jardim (irrigação com formação de aerossol) • Uso ornamental (chafarizes e quedas d'água) • Torneiras de uso geral (lavagem com formação de aerossol) 	E. coli	Até 1 NMP/100 mL	Semestral
	Coliformes totais	Até 10 NMP/100 mL	
	SS	Até 100 mg/L	
	pH	6-8 para irrigação 5-9 para demais usos	
	Turbidez	30 NTU	
	Ovos de helmintos	Até 1/L	
	Alumínio	5,0 mg/L para uso a longo prazo 20 mg/L para uso a curto prazo	
	Cloro Residual	Até 1,0 mg/L	
	UV	(Intensidade) 254 mm	
	Nitrogênio (NH ₄)	Até 20 mg/L	
	Fósforo (P)	Até 20 mg/L	
	E. coli	Até 250 NMP/100 mL	Anual
<ul style="list-style-type: none"> • Descarga sanitária • Torneira de jardim (irrigação sem a formação de aerossol) • Uso ornamental (espelhos d'água) • Torneiras de uso geral (lavagem e limpeza sem a formação de aerossol) • Combate ao incêndio (reserva técnica) 	Coliforme total	1000 NMP/100 mL	
	SS	Até 500 mg/L para irrigação Até 30 mg/L para demais usos	
	DBO	Até 30 mg/L	
	pH	6-8 para irrigação 5-9 para demais usos	
	Turbidez	10 NTU para descarga sanitária 30 NTU para demais usos	
• Irrigação subsuperficial ou por gotejamento	N/A	N/A	N/A

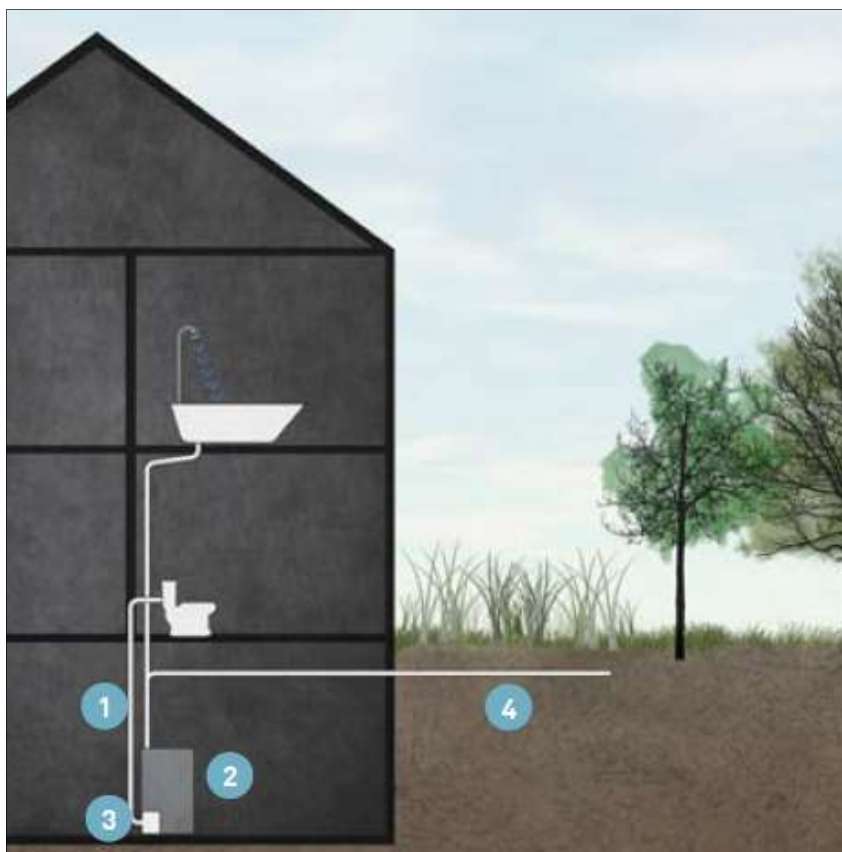
Fonte: Adaptado de Sant'Ana et al (2018, p. 13).

Os sistemas de reuso de águas cinzas podem ser classificados em 2 grupos: os sistemas de desvio de água cinza bruta e sistemas pressurizados de água cinza tratada. Os sistemas de água cinza bruta podem ser utilizados apenas para irrigação subsuperficial, de forma que não exista o contato com os usuários da edificação. Demais usos, que requerem tratamento, podem ser pressurizados (SANT'ANA ET AL, 2018).

De acordo com Sisolak e Spataro (2011, p. 63), os sistemas mais

comuns para reuso de água cinza, onde ela é usada para irrigação subsuperficial, são formados por 4 principais constituintes, mostrados na figura 6 abaixo: encanamento de coleta e distribuição (1), reservação (2), filtração e bombeamento (3), e irrigação subsuperficial (4).

Figura 6 – Componentes de sistema simples de reuso de águas cinzas



Fonte: Sisolak e Spataro (2011, p. 64).

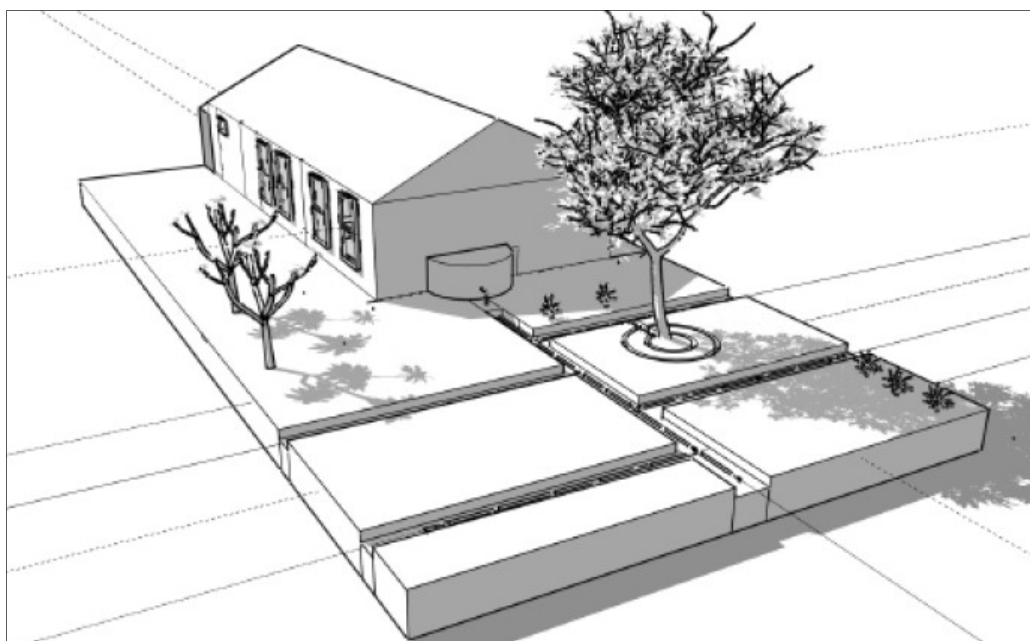
Neste sistema, a tubulação projetada para a distribuição das águas cinzas direciona a água para um reservatório ou diretamente para a paisagem externa. Convencionalmente utiliza-se sistemas por gravidade, contudo, quando existir outros usos, deve-se prever um sistema de bombeamento. Também deve existir a reserva de águas cinzas, dimensionada de acordo com os usos e os níveis de tratamento escolhidos. Destaca-se que o período de tempo em que esse efluente pode ser armazenado é menor que 24 horas, assim, deve existir um mecanismo ligado ao sistema convencional de coleta de esgoto para que se evite transbordamentos. O reservatório pode ser de concreto, plástico ou demais materiais convencionais, e requer manutenções e inspeções periódicas (SISOLAK E SPATARO, 2011).

Em casos em que o efluente necessite ser armazenado por mais de 24 horas, projeta-se sistemas de aeração e recirculação para evitar proliferação de patógenos. Ademais, mesmo para os usos em irrigação, deve ocorrer a filtração das águas cinzas para remoção de materiais em suspensão para que não ocorram entupimentos na tubulação (SISOLAK E SPATARO, 2011).

Os sistemas de irrigação podem variar muito de acordo com as demandas de projeto, as dimensões das áreas verdes, e as características do solo e da vegetação. Na irrigação subsuperficial por gotejamento, a água não absorvida pelas raízes das plantas é percolada pelo solo, ou seja, infiltrada para camadas não saturadas do mesmo. Uma grande vantagem deste sistema, que pode ser combinado com outras técnicas de irrigação para diferentes áreas, é a possibilidade de se depositar os possíveis excessos de águas cinzas no solo (SISOLAK E SPATARO, 2011).

Para o sistema de irrigação subsuperficial, alguns elementos básicos devem ser previstos. São eles: registros para controle para irrigação ou esgotamento sanitário, filtro grosso ou filtro fino para remoção de partículas, extravasor para efluentes, caixas de passagem e de inspeção em curvas e pontas da rede. Ademais, a irrigação é feita por meio de uma rede de tubulação em PVC perfurada ou então por mangueiras porosas, mostrado na figura 7 (SANT'ANA ET AL, 2018).

Figura 7 – Sistema de desvio de águas cinzas para irrigação subsuperficial por gravidade



Fonte: Sant'ana et al (2018, p. 22).

Para os demais usos, onde ocorre maior contato da água cinza com o usuário, como para limpeza de áreas externas ou rega manual de jardins, é necessário que o tratamento do efluente seja relativamente mais completo, produzindo uma água de melhor qualidade. Nestes casos, geralmente os tratamentos primários e secundários são suficientes para remover a matéria orgânica e os detritos suspensos, adequando a água a usos não potáveis (SANT'ANA ET AL, 2018).

Na análise feita por Silva et al (2016, p. 62), a água cinza coletada em uma edificação comercial passa por uma série de processos para que a qualidade final seja satisfatória. O primeiro deles é a passagem por um filtro de areia comumente utilizado em tratamento de água de piscinas. Em seguida a água é submetida a um processo de microfiltração para adsorção de partículas maiores que 30 micra, e ainda por uma filtração por carvão ativado para remoção de contaminantes como monóxido de carbono, óxido de enxofre e hidrocarbonetos.

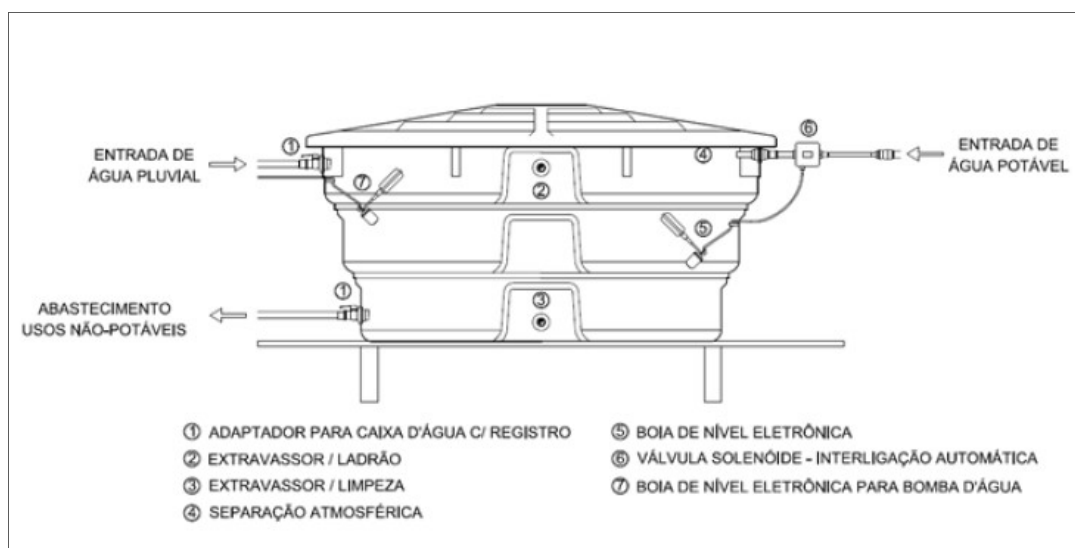
Águas cinzas contém pouca quantidade de patógenos em relação a águas negras, contudo, os resíduos orgânicos de sabões e detergentes podem se degradar facilmente. Assim, deve-se ainda empregar um sistema simplificado de desinfecção. O sistema mais comum para desinfecção de águas cinzas é a cloração, mas também podem ser utilizados peróxido de hidrogênio, ácido peracético, bromo, iodo e permanganato de potássio. Vale ressaltar que no caso da adição de cloro, o teor residual livre deve estar contido na faixa de 0,5 a 1,5 mg/L. Além dos processos químicos citados, a desinfecção do efluente também pode ser feita por processos físicos, tais como radiação UV, radiação gama, radiação solar e fervura (SANT'ANA ET AL, 2018; SISOLAK E SPATARO, 2011).

Recomenda-se que se faça o tratamento da água antes de armazená-la, assim, após passar pelos processos supracitados a água é encaminhada para o reservatório de retenção. O tipo de reservatório mais indicado para este fim é o enterrado, pois este fornece melhores condições de temperatura para que não ocorra a proliferação de patógenos, quando comparado aos reservatórios apoiados. Abaixo do reservatório deve ser projetado um sistema de drenagem para casos de vazamentos, e o fundo do reservatório deve estar acima do nível máximo do lençol freático. Analogamente a reservatórios de água potável, os pontos de entrada e saída de canalização devem possuir dispositivos que impeçam a entrada de pequenos animais. Um exemplo de reservatório para armazenamento é

observado na figura 8 (SANT'ANA ET AL, 2018).

Segundo a NBR 5626 – Instalações prediais de água fria, o fornecimento de água deve ser contínuo em todos os pontos da edificação, assim, caso ocorra falta de água cinza para abastecimento dos fins determinados, deve ser feita a complementação com água potável. Para garantir que não aconteça a contaminação da rede de água potável, utiliza-se dispositivos de prevenção de refluxo, que podem ser a separação atmosférica não padronizada, ou o quebrador de vácuo (ABNT, 1998; SANT'ANA, 2018).

Figura 8 – Exemplo de instalação de reservatório de distribuição de águas cinzas



Fonte: Sant'ana et al (2018, p. 38).

A água não potável é então pressurizada até seus pontos de uso externo e para reservatórios de distribuição. A bomba utilizada por possuir um sensor que ative seu funcionamento nos casos em que haja fluxo de água ou queda de pressão, dispensando o uso de uma chave de boia no reservatório. Torneiras boia são instaladas nos pontos de alimentação dos reservatórios de distribuição para controlar a alimentação destes. A rede de distribuição deve atender a normatização descrita na NBR 5626 (SANT'ANA, 2018).

Os materiais retirados da água cinza durante seu tratamento produzem lodo, que apresenta sua composição e volume variáveis segundo a vazão de água tratada e sua qualidade. Ainda que a presença de grandes taxas de substâncias tóxicas não ocorra usualmente, o lodo deve ser manuseado com cuidado, por poder conter matéria orgânica, nutrientes, microorganismos patógenos

e metais. O lodo após tratado e seco pode ser utilizado como fertilizante, por possuir grandes quantidades de matéria orgânica, fósforo e nitrogênio (SANT'ANA, 2018)

2.5.2 Águas Negras

Segundo o manual de gerenciamento para sistemas descentralizados da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, os sistemas descentralizados para tratamento de esgoto doméstico e comercial incluem uma variada gama de opções. A maior parte dos sistemas consiste em fossas sépticas para infiltração no solo, contudo, pode ocorrer também a descarga em corpos hídricos após o tratamento, ou então a evaporação nas regiões onde as condições climáticas sejam favoráveis (USEPA, 2005).

De acordo com Sisolak e Spataro (2011, p. 78), a escolha do sistema de tratamento e disposição final do efluente é influenciada pelas características do terreno, o volume produzido, as tecnologias disponíveis, os recursos financeiros, o uso de químicos e frequência de manutenção desejada. Portanto, diferentes resultados podem ser obtidos a partir de diferentes estratégias e tecnologias. Algumas características de alguns métodos de tratamento podem ser analisadas no quadro abaixo.

Quadro 10 – Algumas características dos processos de tratamento

Processo Característica	Filtro anaeróbico	Filtro anaeróbico submerso	Filtro de areia	Vala de infiltração	LAB	Lagoa com plantas
Água necessária	Reduzida	Reduzida	Média	Média	Média	Média
Operação	Simples	Simples	Simples	Simples	Simples	Simples
Custo operacional	Baixo	Alto	Médio	Baixo	Alto	Baixo
Manutenção	Simples	Simples	Simples	Simples	Mediana complexidade	Simples
Odor/cor no efluente	Sim	Não	Não	Não	Não	Não

Fonte: ABNT (1997, p. 6).

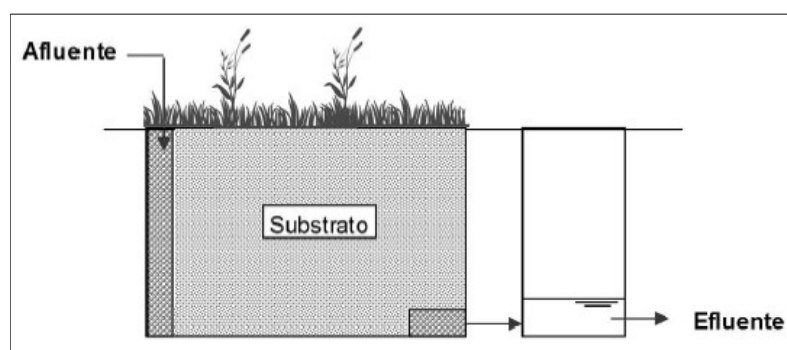
Legenda: LAB – Lodo ativado por batelada.

Um dos sistemas que pode ser empregado para o tratamento das águas negras são as wetlands construídas, ou lagoas com plantas. Este sistema

funciona de modo a espelhar os processos biológicos, químicos e físicos que ocorrem em lagoas naturais, onde os organismos presentes no substrato e na porção aérea propiciam filtração, remoção de matéria orgânica e de nutrientes. É recomendado para o tratamento de efluentes com baixa concentração de sólidos suspensos e valores de DBO (demanda bioquímica de oxigênio) inferiores a 500 mg O₂/L (SISOLAK E SPATARO, 2011; SUBTIL ET AL, 2016).

Segundo Subtil et al (2016), as wetlands construídas podem ser divididas em: sistemas de escoamento superficial, onde a água negra é distribuída em canais superficiais, os filtros de fluxo vertical, onde a água é distribuída por mais de um leito de filtração, e os filtros de fluxo horizontal, como mostrado na figura 9, que das alternativas citadas é a que demanda menor manutenção e apresenta a operação mais simplificada.

Figura 9 – Fluxograma simplificado de uma wetland horizontal



Fonte: Subtil et al (2016, p. 214).

A vegetação empregada na wetland deve ser escolhida de forma que sobreviva em condições saturadas, e deve, idealmente, ser nativa da área e específica às condições de clima, altitude e índice pluviométrico (SISOLAK E SPATARO, 2011).

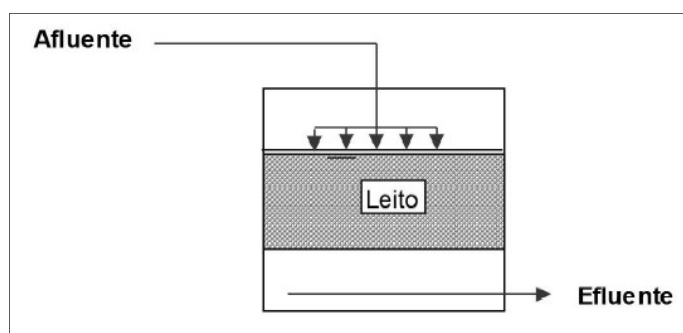
No Brasil, um dos sistemas mais comumente aplicados é o conjunto fossa filtro, ou tanque séptico e filtro anaeróbico. Este sistema é formado por um reator biológico, onde o fluxo passa por um lodo ativado, que é retido por um leito de material inerte. Esta combinação apresenta bom desempenho mesmo com variação de volume de efluente e gera pouca perda do lodo ativado. Ademais, pode ser construído a partir de uma diversa gama de materiais (SUBTIL ET AL, 2016).

A principal desvantagem do sistema fossa-filtro é a ocorrência de entupimentos ao longo do leito, assim, na NBR 13969 de 1997, encontra-se os

procedimentos de limpeza e disposição de resíduos resultantes do processo (ABNT, 1997; SUBTIL ET AL, 2016).

Os biofiltros, ou filtros biológicos, são sistemas onde os sólidos dissolvidos são decompostos por uma massa ativa de bactérias, chamada biomassa, que é aderida em um leito suporte, que pode ser de argila, brita, plásticos ou outros materiais. Após certo período de tempo, a biomassa passa a preencher os vazios do meio filtrante, causando perda de carga e demandado limpezas periódicas. Na imagem 10 a seguir observa-se um esquema simplificado de biofiltro (SUBTIL ET AL, 2016).

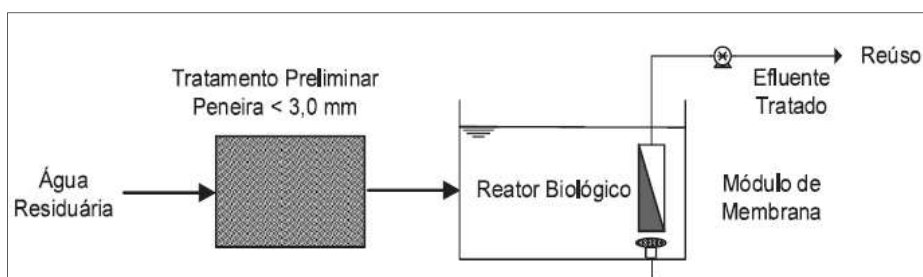
Figura 10 – Fluxograma simplificado de um filtro biológico



Fonte: Subtil et al (2016, p. 212).

Os biorreatores com membrana submersa, ou MBRs, são processos combinados de tratamento por lodo ativado seguido de uma filtração por membrana de microfiltração ou ultrafiltração. O resultado deste tratamento é um efluente de alta qualidade com possibilidade de reuso, além disso, o sistema requer espaços relativamente menores e apresenta facilidade na operação. Contudo, algumas desvantagens deste processo são o custo elevado, alta demanda energética e a possibilidade de incrustação na membrana. A figura 11 demonstra o funcionamento de um biorreator (SISOLAK E SPATARO, 2011; SUBTIL ET AL, 2016).

Figura 11 – Fluxograma simplificado de um biorreator



Fonte: Subtil et al (2016, p. 218).

Também podem ser combinados processos anaeróbicos e aeróbicos em um único sistema, para que se possa atingir os parâmetros pretendidos. Neste caso, aproximadamente de 60 a 70% da matéria orgânica é degradada por digestão anaeróbica, e o restante é removido em um processo aeróbico. Existem várias configurações que podem ser adotadas para este sistema: reatores separados que operam continuamente ou por batelada, a biomassa pode estar aderida em alguma base ou suspensa, e pode haver apenas um reator que apresente ambas as fases aeróbica e anaeróbica em seu interior (SUBTIL ET AL, 2016).

Segundo Subtil et al (2016, p. 217), a maior vantagem da combinação dos processos aeróbico e anaeróbico para o tratamento do efluente é a eficiência energética, considerando que a aeração é dispensável. Ademais, o volume de lodo gerado é inferior ao que seria produzido por um processo inteiramente aeróbico.

Existem ainda muitos outros sistemas de tratamento que podem ser adotados a fim de se alcançar a qualidade pretendida. A análise das opções viáveis e a escolha final deve ser realizada de forma que se obtenha um sistema eficiente, com baixo custo e adequado às restrições específicas do projeto.

Os critérios para dimensionamento de sistemas de tratamento e os parâmetros para disposição final dos efluentes devem ser observados na NBR 13969: Tanques sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação. Na falta de normatização específica do município para lançamentos do efluente tratado, deve-se adotar os valores apresentados nesta norma (ABNT, 1997).

2.6 PRÁTICAS DE CONSUMO EFICIENTES E DISPOSITIVOS ECONOMIZADORES

Segundo o Manual Prático para Uso e Conservação da Água em Prédios Públicos (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2014), os programas para conservação de água se apoiam em duas frentes de estratégia: a gestão da demanda de água, ou seja, a otimização do consumo e redução no volume de efluente gerado, e gestão da oferta, que compreende a otimização das fontes disponíveis. Assim, como as fontes de água alternativas e as soluções para tratamento já foram discutidas, esse capítulo trata das estratégias adotadas para promover a redução da demanda hídrica da edificação.

A gestão da demanda de água envolve a redução de perdas, a adequação de equipamentos, a setorização do consumo e a otimização dos sistemas e processos hidráulicos. Pode-se dizer que a redução do consumo da água e a adoção de práticas e sistemas mais eficientes acarreta a redução do volume de efluente (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2014).

Nelson (2008) aponta algumas das ações que podem ser adotadas para que se minimize o consumo sem que o conforto da utilização da edificação seja prejudicado. São elas: instalação de equipamentos hidráulicos mais eficientes, uso de espécies de plantas nativas que se adaptam às condições climáticas sem grandes necessidades de irrigação, e medições setorizadas para que se identifique corretamente onde ocorrem os maiores consumos.

O processo utilizado no Manual Prático para Uso e Conservação da Água em Prédios Públicos (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2014) para a implantação de um sistema de conservação do uso da água apresenta uma etapa de avaliação de demanda de água que consiste nas atividades de:

- a) Plano de setorização do consumo da água;
- b) Redução de perdas físicas e controle de pressão e vazão;
- c) Rotina de manutenção;
- d) Adequação de componentes e equipamentos hidráulicos;
- e) Eliminação de desperdício através de adequação de processos, definindo procedimentos específicos para cada edificação;
- f) Gestão do indicador de consumo de água.

O monitoramento do gasto de água é de extrema importância para que se entenda os hábitos de consumo. Ainda que o hidrômetro geral da edificação forneça o volume consumido total, este tipo de medição não é capaz de explicitar em quais usos ocorrem os maiores consumos. Para que se faça a setorização da edificação, são definidas as divisões de áreas que serão monitoradas e é feita a instalação de hidrômetros para medições. O gerenciamento de dados pode ser feito por meio de softwares (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2014; MORTON, 2013).

De acordo com Morton (2013, p. 29), as flutuações de consumo de acordo com os usos impacta em como a água tratada é distribuída, e assim os métodos de tratamento e armazenamento são administrados de forma mais eficiente. A análise das medições promove um melhor controle dessas nuances. Deve-se também definir a periodicidade de inspeção e manutenção para cada trecho

ou equipamento hidráulico da edificação para que assim se identifique possíveis falhas e pontos que podem ser otimizados.

A identificação dos desperdícios e das perdas é de suma importância para que se otimize o consumo, assim, nesta etapa ressalta-se tanto a definição dos pontos de vazamento, como das ações não conscientes do usuário que promovam gastos desnecessários. De acordo com o Manual Prático para Uso e Conservação da Água em Prédios Públicos (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2014):

Para eliminar os desperdícios, é preciso definir procedimentos de operação de acordo com diversos processos e necessidades existentes na edificação, de forma a utilizar menor quantidade de água para realizar as mesmas atividades. Isso garantirá qualidade igual ou superior à proporcionada pelos procedimentos operacionais anteriores. Também é preciso organizar ações de conscientização e sensibilização dos usuários para que todos adotem as ações e medidas do programa de conservação da água.

As perdas físicas podem ser potencializadas por trechos de pressão elevada, assim, se deve atentar para que as pressões nas tubulações e nos pontos de consumo sejam adequadas para o bom funcionamento e uso. Algumas das ações que podem ser adotadas em edificações existentes para promover o controle da vazão e pressão são: instalação de reguladores de pressão nos pontos de consumo, instalação de arejadores, instalação de restrição de vazão em chuveiros, e verificação do funcionamento de bombas de recalque. Para edificações ainda em fase de projeto, pode-se prever a instalação de redutores de pressão nos hidrômetros, e redutores de vazão de acordo com a normatização vigente (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2014).

As perdas físicas podem ser visíveis ou invisíveis. As perdas invisíveis são de mais difícil identificação, assim pode-se realizar testes que não necessitem de reformas, como testes de hidrômetro, em reservatórios, em bacias sanitárias, entre outros procedimentos (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2014). Volumes estimados de vazamentos visíveis podem ser observados no quadro abaixo.

Quadro 11 – Volumes de água perdidos em vazamentos visíveis

Aparelho / Equipamento Sanitário		Perda Estimada
Vazamentos visíveis	Gotejamento lento	6 a 10 litros/dia
	Gotejamento médio	10 a 20 litros/dia
	Gotejamento rápido	20 a 32 litros/dia
	Gotejamento muito rápido	> 32 litros/dia
	Filete Φ 2 mm	> 114 litros/dia
	Filete Φ 4 mm	> 333 litros/dia
	Vazamento no flexível	0,86 litros/dia
Mictório	Filetes visíveis	144 litros/dia
	Vazamento no flexível	0,86 litros/dia
	Vazamento no registro	0,86 litros/dia
Bacia sanitária com válvula de descarga	Filetes visíveis	144 litros/dia
	Vazamento no tubo de alimentação da louça	144 litros/dia
	Válvula disparada quando acionada	40,8 litros (supondo a válvula aberta por um período de 30 segundos, a uma vazão de 1,6 litros/segundo)
Chuveiro	Vaza no registro	0,86 litros/dia
	Vaza no tubo de alimentação junto a parede	0,86 litros/dia

Fonte: Ministério do Meio Ambiente (2014, p. 20).

A adequação dos equipamentos hidráulicos é fundamental para que o consumo de água seja otimizado. Contudo, ainda que a substituição de alguns equipamentos por dispositivos economizadores seja recomendada, os componentes escolhidos devem ser adequados para o fim pretendido, assim, não necessariamente deve-se instalar equipamentos economizadores em todos os pontos, mas somente naqueles em que o uso não será prejudicado, pois neste caso pode haver ainda mais desperdício (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2014).

De modo geral, os maiores consumidores de uma edificação são os equipamentos de funções higiênicas, como chuveiros e lavagens. As bacias sanitárias se destacam como grandes consumidores. Assim, para este equipamento, pode-se adotar uma série de soluções (MARINS E MOURA, 2015).

Uma das alternativas é a descarga dual, mostrada na figura 12, onde existem duas válvulas de descarga, geralmente de 3 e 6 litros. Neste sistema, o usuário decide o volume de água a ser aplicado na descarga, sendo o de 3 litros recomendado para líquidos e o de 6 litros recomendado para sólidos. Pode-se também optar pela bacia sanitária econômica, que utiliza apenas cerca de 2 litros por acionamento. Outra opção é a descarga a vácuo, onde o dejetado é impulsionado

para a coleta pelo ar, neste sistema existe o consumo de 1,5 litro de água por descarga para limpeza da porcelana (MARINS E MOURA, 2015; MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2015).

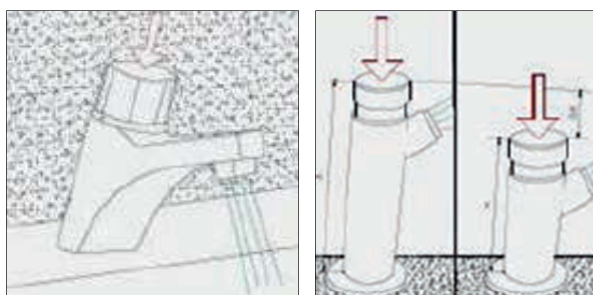
Figura 12 – Sistema de descarga dual



Fonte: Ministério do Meio Ambiente (2014, p. 26).

Existem também no mercado alternativas economizadoras para torneiras. A torneira hidromecânica, evidenciada na figura 13, possui acionamento manual e o fechamento automático, promovendo economia de consumo de cerca de 15% em relação a torneira convencional. Uma precaução importante para a instalação deste sistema é a definição adequada do tempo de funcionamento, pois se curto demais, pode causar desperdícios devido a vários acionamentos. Também podem ser instaladas torneiras com sensor, que ligam e desliga de acordo com o uso. Este equipamento requer a alimentação por alguma fonte de energia (MARINS E MOURA, 2015; MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2018).

Figura 13 – Funcionamento da torneira hidromecânica



Fonte: Ministério do Meio Ambiente (2014, p. 24).

Outra opção é o registro restritor de vazão, que pode gerar uma economia de até 60%, e os arejadores, que controlam a dispersão de água de modo a reduzir a vazão dispendida no uso (MARINS E MOURA, 2015).

Para mictórios podem ser utilizadas válvulas acionadas por sensor,

de descarga de 1,2 litros. Neste sistema a descarga é acionada quando o usuário se afasta do mictório. Também podem ser instalados mictórios secos, onde não existe consumo algum de água, ou então mictórios com caixa acoplada, onde a água utilizada na descarga provém dos lavatórios (MARINS E MOURA, 2015).

Em duchas para água misturada, recomenda-se a instalação de dispositivo restritor de vazão, que pode promover uma economia de cerca de 15%. Este dispositivo, contudo, não deve ser instalado em chuveiros elétricos, pois nestes modelos o funcionamento pode ser prejudicado. Outra forma de redução são os dispositivos temporizadores, que interrompem o fluxo de água automaticamente após certo período (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2014).

Em copas e cozinhas, as torneiras das pias também podem ser equipadas com arejadores. Para usos industriais, recomenda-se torneiras acionadas por alavancas, diminuindo assim o risco de contaminação pelo usuário. Torneiras externas em jardins ou pátios podem ser substituídas por dispositivos de uso restrito, onde o acionamento só ocorre por meio de chave (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2014).

O plano de gestão do uso da água é fundamental para que as modificações técnicas instauradas sejam potencializadas. Assim, deve existir a capacitação tanto dos gestores como dos usuários da edificação. O Manual Prático para Uso e Conservação da Água em Prédios Públicos lista uma série de ações de que se pode lançar mão para promover o uso consciente da água no empreendimento. Pode-se classificar as medidas como operacionais ou institucionais, as medidas operacionais incluem a elaboração de uma política de manutenção preventiva e corretiva, o monitoramento sistematizado dos consumos dos setores, e a divulgação constante dos resultados obtidos e das novas metas traçadas aos usuários (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2014).

As ações institucionais compreendem a divulgação para a comunidade externa e para a mídia do programa de conservação, a retroalimentação dos gestores e administração como forma de fortalecimento do programa, e a transparência de medidas e resultados (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2014).

2.7 CERTIFICAÇÕES E USO DA ÁGUA

Existe uma série de certificações que podem ser obtidas para atestar a eficiência e a sustentabilidade de uma edificação. Estes selos, além de servirem como parâmetro de medida para as ações tomadas no empreendimento, também promovem a valorização do prédio em relação aos ocupantes, aos gestores, à comunidade e ao mercado. As certificações que serão tratadas neste trabalho têm escalas de abrangência diferentes, o objetivo é dar uma visão geral de como as certificações tratam a questão da água. São elas: certificação LEED (mundial), Selo AQUA (nacional), e Selo Escola Sustentável (municipal).

2.7.1 Selo LEED

A certificação LEED, ou Leadership in Energy and Environmental Design, é um sistema de certificação para edificações utilizado mundialmente. Seu enfoque é em medidas sustentáveis e eficientes que podem ser aplicadas em projetos. A certificação é dividida em quatro tipologias: *Building Design + Construction*, para construções novas ou grandes reformas, *Interior Design + Construction*, para edificações comerciais de escritórios ou varejo, *Operation & Maintenance*, para empreendimentos já existentes, e *Neighborhood*, para bairros (GBC BRASIL, 2014).

Cada uma das tipologias possui pré-requisitos, que devem ser obrigatoriamente cumpridos para se receber a certificação, e créditos, que são medidas sugeridas para serem adotadas. Existem quatro níveis de certificação, concedidas de acordo com a pontuação obtida: *Certified*, *Silver*, *Gold* e *Platinum*. A eficiência hídrica é uma das áreas analisadas em todas as tipologias (GBC BRASIL, 2014).

Para prédios educacionais já existentes, como escolas, a certificação buscada é a da tipologia *LEED O+M: Escolas*. Para esta categoria, de acordo com o GBC Brasil (2014, p. 26), os pré-requisitos relacionados a eficiência hídrica são:

- a) Redução do uso da água no interior: reduzir o consumo dos dispositivos e equipamentos internos abaixo de uma linha base estabelecida;

- b) Medição de água no edifício: instalação de hidrômetros para aferição de consumos de água potável no prédio.

Além disso, os créditos que podem ser obtidos na categoria de eficiência hídrica são:

- a) Redução do uso de água do exterior: por meio de técnicas de paisagismo, reduzir a água necessária para irrigação;
- b) Redução do uso de água no interior: promover redução adicional do consumo interno de água do que aquele especificado no pré-requisito;
- c) Uso de água de torre de resfriamento: conservar a água utilizada para reposição da torre de resfriamento;
- d) Medição de água: identificação de oportunidades adicionais de economia a partir do rastreio do consumo da água.

Ademais, na categoria de espaço sustentável, existe um crédito de gestão de águas pluviais, onde pretende-se reduzir o escoamento superficial e aumentar a qualidade da água.

O sistema LEED também apresenta a certificação LEED Zero Water. Para a obtenção deste selo, a edificação deve atingir um balanço hídrico igual a zero, onde o total de água potável consumida deve ser igual ao total de água proveniente de fontes alternativas mais o volume de água retornado às fontes originais (USGBC, 2020).

2.7.2 Selo AQUA

A certificação AQUA, concedida no Brasil pela fundação Vanzolini, pode ser obtida para edificações em execução e para edificações prontas e em operação. Para prédios não residenciais, o processo é dividido em três frentes que podem aplicadas de forma independente, ou em conjunto. São elas: Eixo Edifício Sustentável, focada no proprietário, Eixo Gestão Sustentável, aplicada aos gestores, e Eixo Utilização Sustentável, com foco no usuário (FUNDAÇÃO VANZOLINI, 2016).

A certificação possui 14 categorias a serem avaliadas, dentre elas as categorias Água e Qualidade da Água. Na frente de Uso Sustentável, a categoria Água é subdividida nos seguintes tópicos (FUNDAÇÃO VANZOLINI, 2016):

- a) Redução do consumo da água: esta categoria possui os itens de

economia de água potável nos banheiros, e a consideração de mudanças no consumo de água devido a renovações e alterações em ambientes;

- b) Assegurar o acompanhamento dos consumos de água: otimizar o acompanhamento periódico do consumo de água, analisar regularmente os consumos, limitar o risco a vazamentos, e otimizar a manutenção dos equipamentos;
- c) Práticas do utilizador visando reduzir seu consumo de água: adoção de práticas de economia e recuperação.

A categoria Qualidade da Água é subdividida em:

- a) Controle da temperatura e proteção da rede interna: adequação dos sistemas às regulamentações, e assegurar a proteção da rede por meio do uso adequado;
- b) Controle do risco de legionelose: conservação da rede de forma a não permitir proliferação do patógeno.

Na frente de Gestão Sustentável, as medidas na categoria Água estão listadas a seguir (FUNDAÇÃO VANZOLINI, 2016):

- a) Garantir a economia de água potável: determinação de consumos de referência para comparação de valores medidos periodicamente para promover redução de volume consumido e limitar de vazamentos;
- b) Otimizar a gestão e a manutenção de equipamentos de gestão de água: manutenção periódica e monitoramento.

Na categoria Qualidade da Água, as medidas são as seguintes:

- a) Controle do risco de legionelose, já citado anteriormente;
- b) Monitoramento da qualidade da água: análise e manutenções periódicas.

Por fim, na frente de Edifício Sustentável, a categoria Água compreende (FUNDAÇÃO VANZOLINI, 2016):

- a) Redução do consumo da água potável: economia em sanitários e limitações de uso de água potável;
- b) Gestão das águas pluviais no terreno: mapeamento e armazenamento de água de chuva;
- c) Gestão das águas servidas: controlar os rejeitos.

Na categoria Qualidade da Água, os itens são:

- a) Qualidade na concepção da rede interna;
- b) Controle da temperatura na rede interna.

2.7.3 Selo Escola Sustentável

A Lei nº 12.948, de 13 de novembro de 2019 do município de Londrina dispõe sobre a criação do Programa Escola Sustentável, que promove a adoção pelos gestores e usuários de medidas e práticas que, entre outras metas, viabilizem o aumento na conservação do uso da água nas instituições de ensino (LONDRINA, 2019).

Segundo o Art. 2º da Lei, os objetivos deste programa são a implantação de políticas e atitudes sistemáticas que visem o desenvolvimento sustentável sem que haja o prejuízo das atividades escolares. O Art. 3º lista uma série de medidas que podem ser adotadas para o recebimento do selo, dentre elas ações voltadas à conservação e preservação do uso da água. Contudo, ações não listadas poderão ser validadas como parte do programa se aprovadas pelas Secretarias Municipais do Ambiente e da Educação (LONDRINA, 2019).

Dentre as ações recomendadas estão as palestras abertas à comunidade que divulguem e reforcem o comprometimento com a sustentabilidade ambiental. Para obter o selo, a escola deve incluir em seu programa no mínimo 5 ações, que devem ser realizadas pelo corpo docente e são facultativas a membros da sociedade. A escola pode ainda firmar parcerias que viabilizem as ações pretendidas, e deve formar um comitê para organização e planejamento do plano (LONDRINA, 2019).

2.8 EXEMPLO DE APLICAÇÃO

O primeiro edifício do mundo a receber a certificação LEED Zero Water é o Edifício Eurobusiness, na cidade de Curitiba, cuja vista pode ser observada na figura 14. Esta certificação atesta que o empreendimento é autossuficiente hidricamente, ou seja, se utiliza de fontes alternativas de água para suprir sua demanda e trata todo seu efluente gerado. O projeto contou com o apoio da concessionária de água Sanepar para sua realização. O empreendimento conta

com 15.550 m² de área construída, 14 pavimentos e 3 subsolos de garagem (BODANESE, 2019; GBC BRASIL, 2019).

Figura 14 – Edifício Eurobusiness



Fonte: GBC Brasil (2019).

O suprimento principal de água potável é feito por meio de um poço artesiano, contudo, grande parte da água utilizada é recuperada para reuso a partir do tratamento dos efluentes gerados. Um grande diferencial deste empreendimento é o sistema de tratamento do tipo wetland localizado na cobertura do edifício, onde as águas cinzas, negras, e pluviais são tratadas em um processo que imita o natural, sem a adição de químicos, mostrada na figura 15. A água recuperada neste processo é encaminhada para uso em descargas ou infiltrada no local. O sistema de wetland é formado por duas lagoas de 170m² cada, e possuem a capacidade de armazenar 100 m³ de água tratada (BODANESE, 2019; GBC BRASIL, 2019).

Figura 15 – Sistema de wetland do Edifício Eurobusiness



Fonte: GBC Brasil (2019).

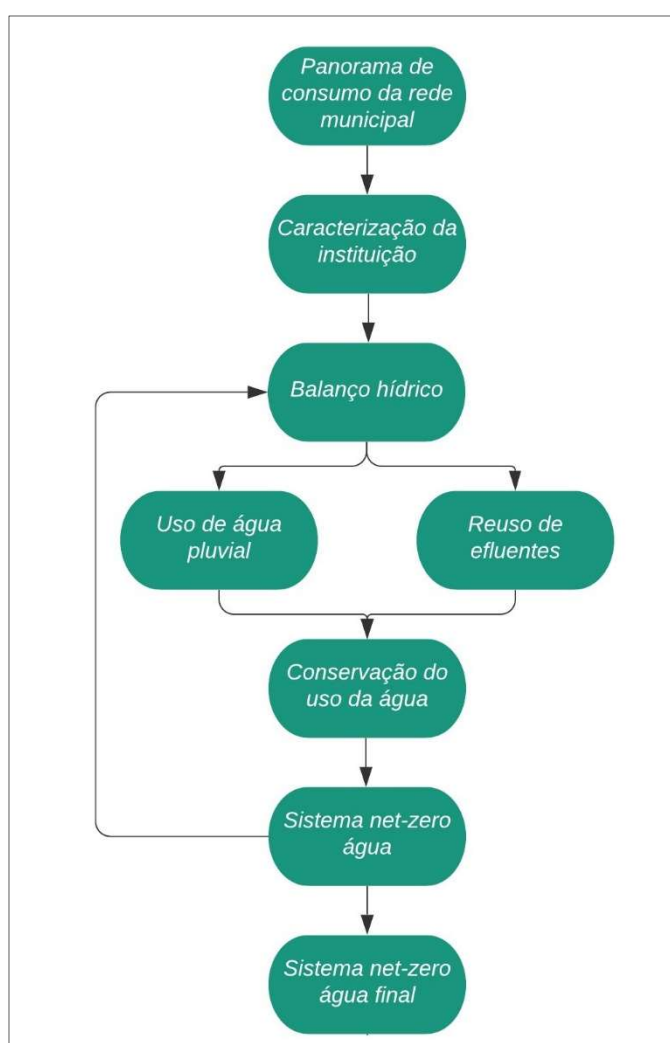
O tratamento de todo o resíduo orgânico gerado no edifício é feito por meio de um biodigestor natural, com um processo de compostagem por minhocas. A água recuperada é então direcionada às wetlands para polimento, onde ocorrem os processos de filtração por meio de bactérias, fungos e protozoários, além das plantas macrófitas (BODANESE, 2019).

Por se tratar de uma área limitada, o volume de efluentes gerados foi reduzido a partir da instalação de equipamentos economizadores, que possibilitaram diminuição de 82% do consumo de água potável. Além disso, as medições setorizadas foram de grande importância para que se medisse e atestasse o consumo da água de forma eficiente (GBC BRASIL, 2019).

3 MÉTODO

Após os levantamentos teóricos acerca do sistema Net Zero Água dispostos na seção anterior, deu-se início ao estudo de caso, que consiste na aplicação do sistema a uma instituição pública de ensino em Londrina-PR. A sequência dos processos empregados nesta análise pode ser observada na esquematização abaixo.

Figura 16 – Esquematização das etapas do estudo de caso



Fonte: Própria autora (2020).

Assim, as etapas mostradas acima foram desenvolvidas a partir da consulta aos projetos da instituição e visitas ao local para coleta de dados adicionais.

3.1 PANORAMA DE CONSUMO DAS INSTITUIÇÕES DE ENSINO MUNICIPAIS

Por não existirem dados abundantes sobre a operação da instituição de ensino selecionada para este trabalho, buscou-se traçar um diagnóstico dos consumos médios municipais em edificações de tipologia e função semelhantes.

Assim, a partir de dados brutos dos consumos mensais do ano de 2019 das instituições de ensino de Londrina, fornecidos pela Secretaria de Educação, foi possível que se identificasse os padrões de consumo das 119 escolas na cidade de Londrina e que se fizesse algumas comparações e correlações, para que se pudesse extrapolar esta análise a empreendimentos análogos.

Os dados obtidos por meio da Secretaria de Educação possuem o formato de consumos mensais para cada instituição no ano de 2019, e o tratamento destes dados se refere ao agrupamento dessas informações e a elaboração de gráficos, que serão mostrados no capítulo posterior.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DA INSTITUIÇÃO

A instituição de ensino escolhida para este estudo de caso foi a Escola Municipal Edmundo Odebrecht, localizada na rua Paulo Boszczowski, sem número, no distrito da Warta, zona norte da cidade de Londrina-PR. Apesar de ter sido inaugurada em 1985, ela operava em conjunto com o Colégio Estadual da Warta. No ano de 2018 foi iniciada a execução de novas dependências para a instituição, concluídas em 2019. A execução da obra foi feita pela construtora MRV, como medida de contrapartida. As figuras 17 e 18 evidenciam a arquitetura da escola (TAINE, 2019).

De acordo com a gestão da instituição, a escola conta com 240 alunos matriculados, e oferta educação infantil, ensino fundamental e educação especial (PREFEITURA DE LONDRINA, 2020). Ademais, segundo constatado em visita à instituição, o corpo de funcionários é de 32 pessoas, incluindo professores, zeladores, cozinheiros e administração.

Figura 17 – Escola Municipal Edmundo Odebrecht: vista



Fonte: Agora Londrina (2020).

Figura 18 – Escola Municipal Edmundo Odebrecht: interior



Fonte: Agora Londrina (2020).

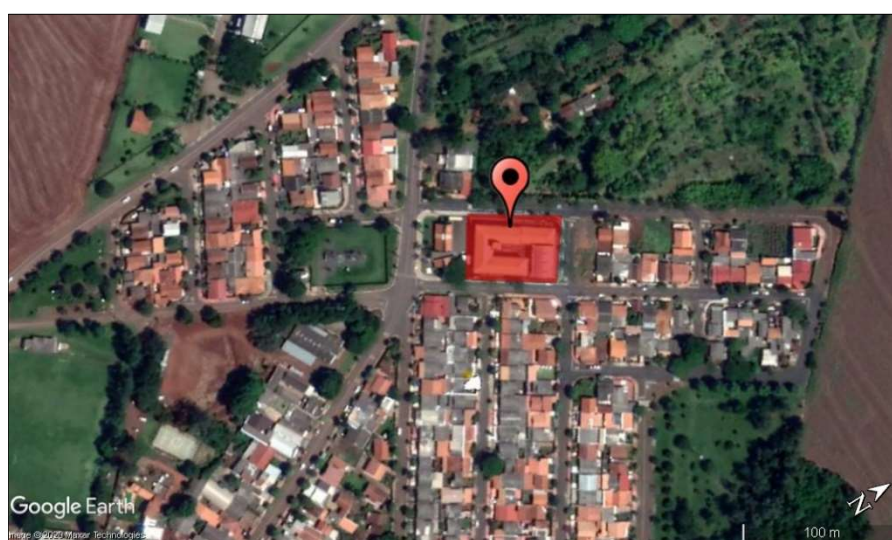
A Escola Municipal Edmundo Odebrecht é a primeira instituição de ensino infantil municipal da Warta, distrito mais antigo do município de Londrina, que conta com aproximadamente 1500 habitantes distribuídos em uma área de 27,73 km². A distância de Warta em relação a cidade de Londrina é representada na figura 19 abaixo, enquanto que sua implantação é mostrada na figura 20 (IBGE, 2010; PREFEITURA DE LONDRINA, 2019).

Figura 19 – Localização do Distrito Warta em relação a Londrina



Fonte: Adaptado de Google Earth (2020).

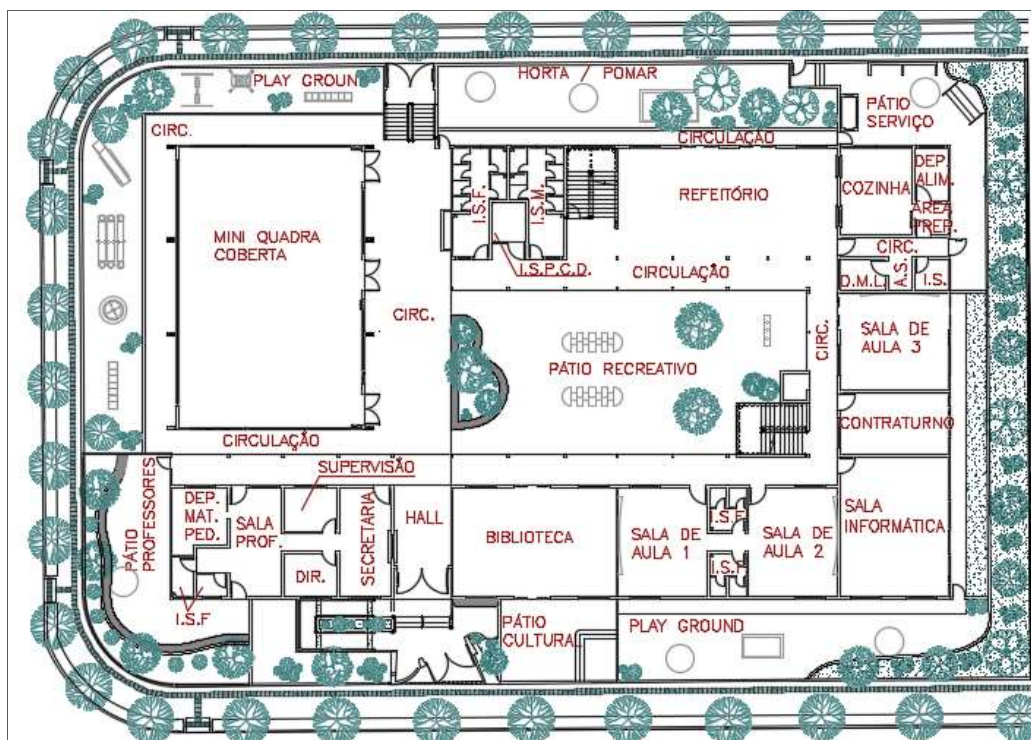
Figura 20 – Implantação da Instituição



Fonte: Adaptado de Google Earth (2020).

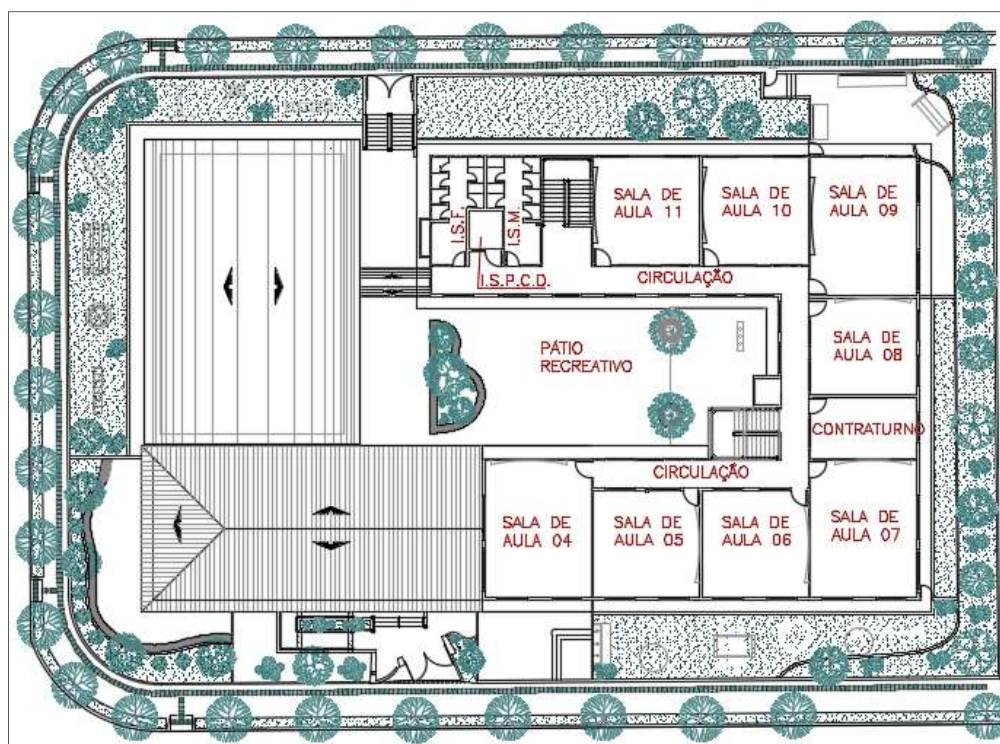
O terreno da edificação possui uma área de 2.429,67 m², com um coeficiente de área permeável de 22,82%, resultando em 554,53 m² de área de piso não impermeabilizado, e é localizado na Zona Comercial 6. A instituição conta com um pavimento térreo, um pavimento superior, uma quadra coberta e uma passarela coberta, totalizando 1.863,15 m² de área construída. O coeficiente de aproveitamento da instituição é de 0,84, e sua taxa de ocupação é de 52,47%.

O pavimento térreo é constituído por quadra coberta, refeitório, cozinha, biblioteca, salas de aula, pátios externos e internos, além de instalações sanitárias, depósitos e a administração da escola, como observado na figura 21.

Figura 21 – Pavimento térreo

Fonte: Adaptado de Secretaria de Educação (2020).

No pavimento superior tem-se as demais salas de aula e instalações sanitárias, como mostrado na figura 22 abaixo.

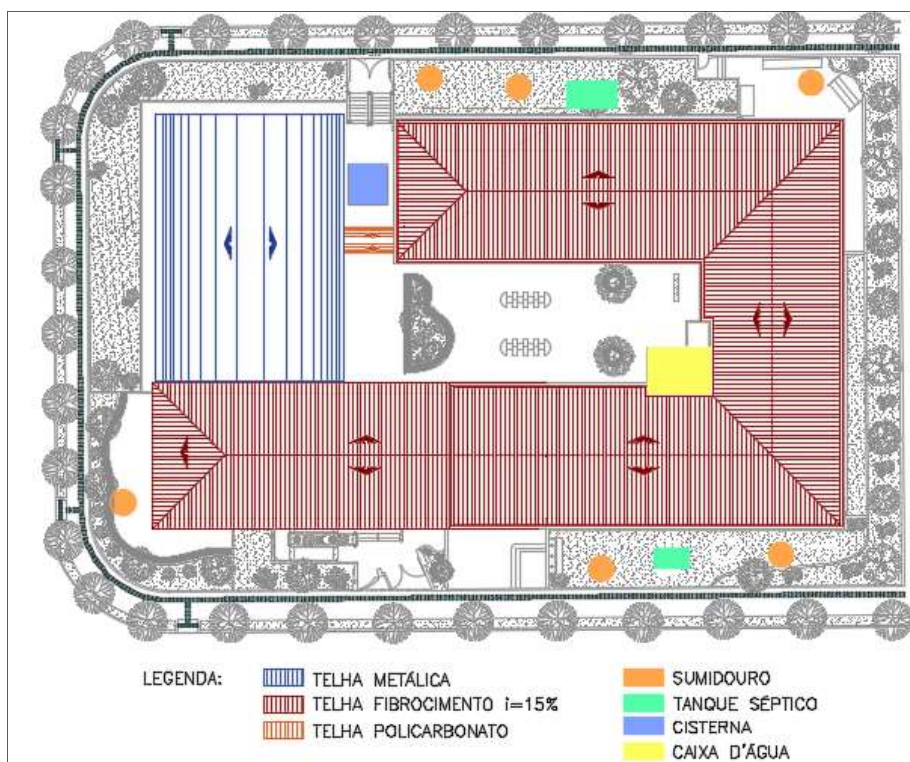
Figura 22 – Pavimento superior

Fonte: Adaptado de Secretaria de Educação (2020).

Considerando que a captação de água pluvial necessária para alimentação para usos potáveis é feita na cobertura, deve-se analisar sua área, materiais e caimentos. A instituição de ensino estudada apresenta cobertura metálica em arco sobre a quadra coberta, cobertura de polycarbonato em arco na passarela coberta e cobertura de fibrocimento com 15% de inclinação no restante da edificação.

Identificou-se os tanques sépticos, os sumidouros e os reservatórios já especificados em projeto, para que se possa utilizar as instalações já existentes, como se pode observar na figura 23 a seguir.

Figura 23 – Configuração da cobertura e elementos já existentes



Fonte: Adaptado de Secretaria de Educação (2020).

O projeto conta com 6 sumidouros localizados próximos aos limites da instituição, sendo 4 em áreas permeáveis e 2 em áreas concretadas. Existem também dois tanques sépticos, em lados opostos da edificação. A caixa d'água especificada é de duas células, de aproximadamente 2,60 por 3,50 metros no total, e fabricada em concreto armado. Ademais, está prevista uma cisterna de área igual a 9 metros quadrados, com uma capacidade de 18 metros cúbicos, ou 18.000 litros.

Além disso, a partir da figura 23 acima, pode-se notar o potencial para captação de água pluvial devido à grande área de cobertura existente.

3.3 BALANÇO HÍDRICO DA INSTITUIÇÃO

Para a otimização do dimensionamento dos sistemas de reservação e tratamento, é necessário que se mapeie todos os usos da água na edificação, suas quantidades, e requisitos de qualidade. Assim, para os usos potáveis, tem-se a utilização na cozinha para preparação de alimentos, pias, lavatórios e tanques, além dos bebedouros. Para os usos não potáveis tem-se a limpeza de pisos externos, e uso em descargas.

Devido à escola não estar em funcionamento por causa da pandemia, não se pôde prever os usos finais por meio de questionários aplicados aos usuários. Assim, adaptou-se a metodologia recomendada pelo sistema de certificação LEED (USGBC, 2009), que apresenta tabelas de usos estimados dos equipamentos hidráulicos da edificação.

Neste método, definem-se grupos de usuários para o empreendimento, que neste estudo serão os estudantes e os funcionários/professores. Em seguida, com base em valores estimados de vezes e tempo de usos de diversos equipamentos, encontra-se o consumo anual esperado. Sendo assim, o cálculo do volume consumido por equipamento é dado por:

$$Vol_{(eq)} = (Q_{(eq)} \cdot t_{(eq)}) \cdot T_{(dia)} \cdot N_{(usuários)} \quad (1)$$

Onde:

$Vol_{(eq)}$ é o volume de água consumido por determinado equipamento em litros/dia;

$Q_{(eq)}$ é a vazão de utilização de determinado equipamento em litros por segundo ou litros por uso;

$t_{(eq)}$ é o tempo de operação do equipamento em cada uso;

$T_{(dia)}$ é a taxa de utilização do equipamento por dia por usuário;

$N_{(usuários)}$ é o número de usuários do empreendimento.

Os valores indicados pela metodologia desenvolvida pela GBC para taxas de utilização diária podem ser observados na tabela 2 a seguir.

Tabela 2 – Usos padrão por dia

Equipamento	Funcionários ⁽¹⁾	Estudantes	Duração (seg)
Bacia sanitária fem.	3	3	n/a
Bacia sanitária masc.	1	1	n/a
Mictório	2	2	n/a
Torneira de banheiro hidromecânica	3	3	n/a
Torneira de banheiro convencional	3	3	60
Torneira de cozinha	1	0	60

(1): Jornada de 8 horas diárias.

Fonte: Adaptado de USGBC (2009).

As vazões de cada equipamento sanitário (tabela 3) foram estipuladas por meio dos modelos dos equipamentos, identificados em visita à instituição, e explicitados nas figuras 26, 27, 28 e 29.

Figura 26 – Modelo das bacias sanitárias

Fonte: Própria autora (2020).

Figura 27 – Modelo das torneiras dos lavatórios



Fonte: Própria autora (2020).

Figura 28 – Modelo das torneiras das pias



Fonte: Própria autora (2020).

Figura 29 – Modelos das torneiras externas e dos tanques



Fonte: Própria autora (2020).

Tabela 3 – Vazões dos equipamentos

Equipamento	Especificação Técnica	Vazão Média
Bacia sanitária	Celite - Smart Clean Harpic	3/6 litros/uso ⁽¹⁾
Torneira dos lavatórios	Docol – Nova Pertutti	4,3 litros/min ⁽²⁾
Torneira das pias	Docol – Misturador Riva	8,0 litros/min ⁽³⁾
Torneira dos tanques	Docol – Nova Pertutti com canopla	18,0 litros/min ⁽⁴⁾

(1) – Dado fornecido pelo fabricante (Celite, 2020)

(2), (3) e (4) – Dados fornecidos pelo fabricante considerando uma pressão de 10 mca (Docol, 2020)

Fonte: Própria autora (2020).

Observou-se também, em visita à escola, que ocorre o preparo de refeições na cozinha quatro vezes ao dia, às 8, 10, 13, e 15 horas.

Além das funções supracitadas, também se estimou o consumo de água em bebedores (figura 30) considerando a quantidade de 2 litros por dia por usuário. Assim, este consumo foi dado pela seguinte equação, baseada em Tomaz (2011):

$$Vol_{(beb)} = 2 \cdot N_{(usuários)} \quad (2)$$

Onde:

$Vol_{(beb)}$ é o volume de água consumido em bebedores;

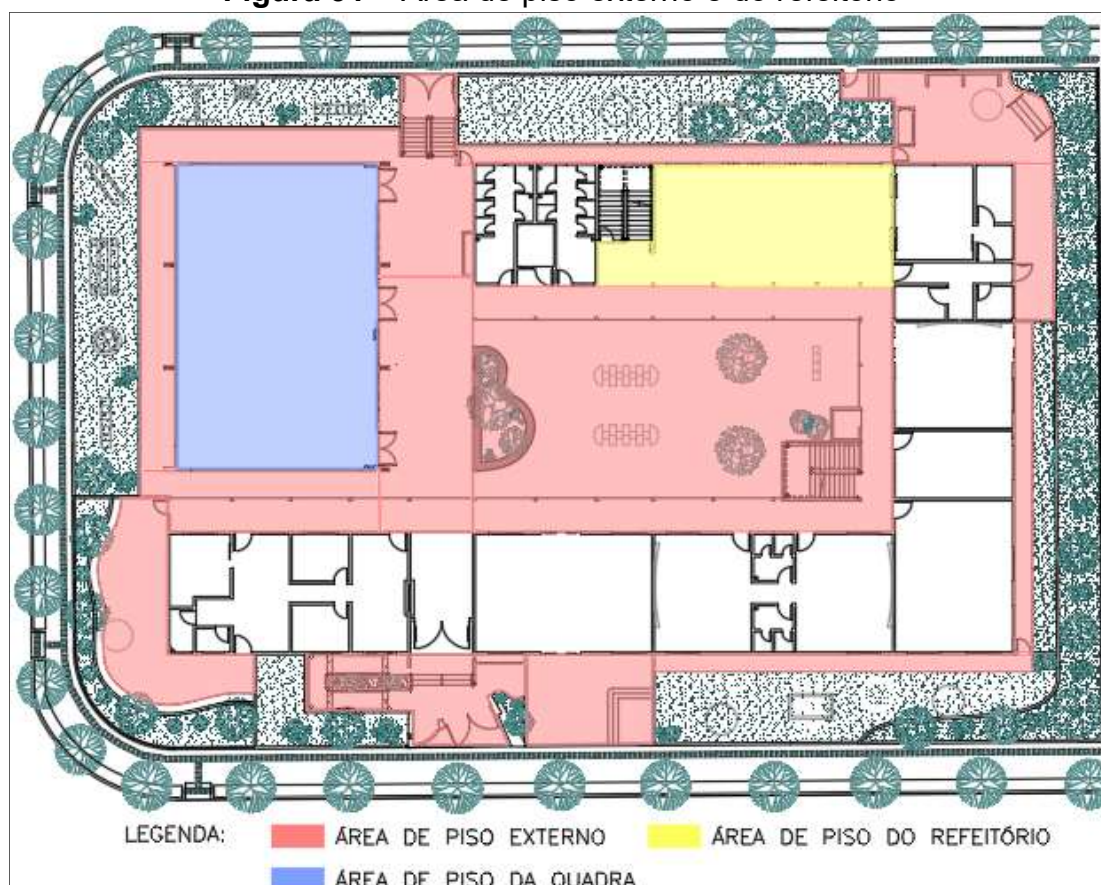
$N_{(usuários)}$ é o número de usuários da instituição.

Figura 30 – Modelo dos bebedores

Fonte: Própria autora (2020).

Ademais, foi estimado o consumo de água para limpeza de pisos. Para a análise deste uso, foi adotada a metodologia proposta por Tomaz (2011), que propõe a taxa de consumo de pisos de 2 litros por metro quadrado. Segundo informado pela gestão da escola, a lavagem dos pisos dos refeitórios é feita diariamente, enquanto que a lavagem dos pisos externos e da quadra coberta é feita semanalmente. As áreas de piso externo, da quadra coberta e de refeitório da instituição são, respectivamente, 903,57, 214,00 e 109,89 m², como mostrado na figura 31.

Figura 31 – Área de piso externo e do refeitório



Fonte: Adaptado de Secretaria de Educação (2015).

O volume estimado para limpeza de pisos foi obtido por meio de:

$$Vol_{(piso)} = \sum F_{(dia)} \cdot A_{(piso)} \quad (3)$$

Onde:

$Vol_{(piso)}$ é o volume de água consumido para limpeza de pisos;

$F_{(dia)}$ é a frequência diária de lavagem de cada ambiente, igual a 1 para refeitório e 0,2 para área externa e quadra;

$A_{(piso)}$ é a área de piso de cada ambiente.

Embora o uso de água para irrigação possa ser previsto, constatou-se por meio de visita à instituição a mesma não apresenta este consumo.

Com os consumos de cada uso estimados, dividiu-se os volumes em dois grupos: usos potáveis, onde o abastecimento será feito pela água captada e tratada, e usos não potáveis, onde será previsto o aproveitamento de águas cinzas.

Quadro 12 – Divisão dos abastecimentos de água dos diversos usos

Usos Potáveis	Usos Não Potáveis
Bebedores	Descargas de bacias sanitárias
Torneira cozinha	Limpeza da quadra coberta
Tanque	Limpeza de pisos externos
Lavatórios	Limpeza de piso do refeitório

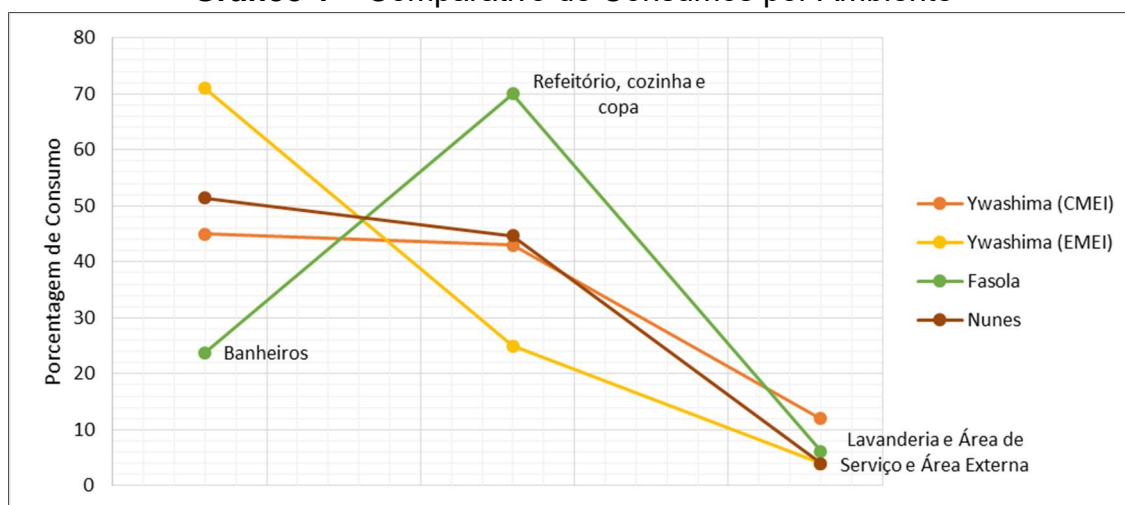
Fonte: Própria autora (2020).

Por fim, com o objetivo de se estabelecer faixas de consumo para comparação, combinou-se os dados compilados em estudos feitos em instituições de ensino de tipologias semelhantes para serem comparados com os consumos encontrados para a instituição em questão, como visto na tabela 4 e gráfico 1.

Tabela 4 – Distribuição do consumo de água por ambiente em instituições similares

Ambiente	Percentual de Consumo ⁽¹⁾	Percentual de Consumo ⁽²⁾	Percentual de Consumo ⁽³⁾	Percentual de Consumo ⁽⁴⁾
Banheiros	45	71	24	51
Refeitório, cozinha e copa	43	25	70	45
Lavanderia, área de serviço e área externa	12	4	6	4
Total	100	100	100	100

Fonte: (1) e (2) – Adaptado de Ywashima (2005); (3) – Adaptado de Fasola et al (2011); (4) – Adaptado de Nunes et al (2018).

Gráfico 1 – Comparativo de Consumos por Ambiente

Fonte: Própria autora (2020).

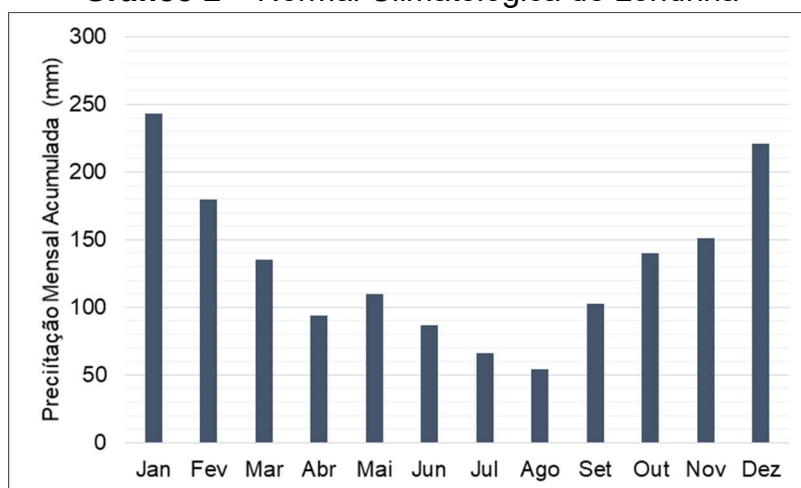
Por fim, com as demandas de água potável e não potável em mãos, e feitas as devidas comparações, foi determinado se o volume encontrado se aproximou do esperado, obtido por meio do panorama de consumo municipal.

3.4 USO DE ÁGUA PLUVIAL

3.4.1 Captação

Para o dimensionamento do sistema de captação de águas pluviais, foi utilizado o *software* Netuno, produzido pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina. Os dados de entrada para a simulação serão: dados de precipitação, descarte de escoamento inicial, área de captação, demanda total de água, número de usuários, percentual total da demanda a ser substituída por água pluvial, e coeficiente de escoamento superficial.

É importante que se observe a distribuição das chuvas do município ao longo do ano para que se determine os períodos de estiagem, onde a oferta de água pluvial é reduzida. A normal climatológica da cidade de Londrina no período de 1981 a 2010 pode ser vista no gráfico 2 abaixo, elaborado com base em dados do Instituto Nacional de Meteorologia.

Gráfico 2 – Normal Climatológica de Londrina

Fonte: Própria autora (2020).

Nota-se que o período de abril a setembro é o que apresenta os menores índices pluviométricos do ano. O dimensionamento é feito de forma que nestes meses exista a reserva necessária de água. Foram utilizados dados diários da série pluviométrica histórica da estação meteorológica de Londrina, com início em 01/01/1954, e término em 31/12/2019, disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia. Em relação ao descarte inicial, adotou-se a exclusão dos 2 primeiros milímetros da precipitação, conforme recomendado pela NBR 15527:2019.

A instituição de ensino já apresenta um sistema de aproveitamento de águas pluviais para limpeza de pisos externos, com captação na cobertura da quadra coberta e composto por uma cisterna de 18 metros cúbicos, uma bomba com controlador de vazão Eletroplas CAE-10 (figura 32), e duas torneiras externas. Este sistema será ampliado e alterado para maior eficiência do uso da água.

Figura 32 – Modelo da bomba existente na instituição

Fonte: Própria autora (2020).

A partir da análise das áreas disponíveis de cada cobertura da instituição, determinou-se que a captação será feita tanto na cobertura de fibrocimento, como da cobertura da quadra coberta. Assim, a área disponível será de 1285,05 metros quadrados, e seu coeficiente de *runoff* adotado foi de 0,85, baseado em Tomaz (2011).

3.4.2 Tratamento

Para o volume de água que se deseja potabilizar, além da utilização dos filtros para remoção de matéria em suspensão, foi feita a escolha do sistema de desinfecção mais adequado. Para isso foram avaliados os espaços disponíveis na instituição de ensino, os custos médios de implantação de cada sistema, assim como as tecnologias de maior acesso na região. É importante ressaltar que este tratamento deve atender as especificações do Ministério da Saúde.

Quanto à água pluvial destinada a fins menos nobres, será aplicado o tratamento simplificado de filtração seguindo de desinfecção por cloração.

3.5 REUSO DE EFLUENTES

3.5.1 Volume Gerado

O manejo dos efluentes da instituição será feito de forma a dividir as águas residuárias em dois grupos: águas cinzas e águas negras. Enquanto que os efluentes gerados nas bacias sanitárias e nas pias da cozinha constituem o grupo das águas negras, os efluentes captados nos lavatórios e tanques são as águas cinzas, que serão reutilizadas para funções menos nobres.

Assim, tem-se que o volume de efluente gerado por cada equipamento é equivalente ao seu volume demandado. A quantidade de águas negras geradas é equivalente a:

$$Vol_{(an)} = Vol_{(bs)} + Vol_{(pc)} \quad (4)$$

Onde:

$Vol_{(an)}$ é o volume de águas negras gerado;

$Vol_{(bs)}$ é o volume utilizado em bacias sanitárias;

$Vol_{(pc)}$ é o volume utilizado na pia da cozinha.

Enquanto que a quantidade de águas cinzas geradas será de:

$$Vol_{(ac)} = Vol_{(la)} + Vol_{(tq)} \quad (5)$$

Onde:

$Vol_{(ac)}$ é o volume de águas cinzas gerado;

$Vol_{(la)}$ é o volume utilizado em lavatórios;

$Vol_{(tq)}$ é o volume utilizado no tanque da área de serviço.

Para que se avaliasse se o efluente gerado atenderá satisfatoriamente o reuso pretendido, foi feita a comparação entre a quantidade de águas cinzas geradas à demanda de água para fins não potáveis, conforme mostrado na equação a seguir.

$$Vol_{(an)} \geq Vol_{(bs)} + Vol_{(piso)} \quad (6)$$

Onde:

$Vol_{(an)}$ é o volume de águas negras gerado;

$Vol_{(bs)}$ é o volume utilizado em bacias sanitárias;

$Vol_{(piso)}$ é o volume utilizado na limpeza de pisos.

3.5.2 Tratamento

Para que a água de reuso (água cinza) atinja os padrões estabelecidos nas NBR 15527 (ABNT, 2019) para fins não potáveis, foi estabelecido que o efluente passará por sistema de filtração, seguido de desinfecção por cloração, projetados na etapa posterior.

Quanto às águas negras, que devem passar por tratamento antes de sua deposição final, considerou-se as instalações de tanques sépticos, filtro anaeróbico e sumidouros. Dessa forma, a partir das normas ABNT 7229/93: Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos, e 13969/97: Tanques sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes

líquidos – Projeto, construção e operação, foram dimensionados os componentes necessários.

Tem-se, a partir das normas, que o volume útil total do tanque séptico é calculado por meio da equação 7.

$$Vol_{tq} = 1000 + N(CT + K.Lf) \quad (7)$$

Onde:

Vol_{tq} é o volume útil, em litros;

N é o número de pessoas ou unidades de contribuição;

C é a contribuição de despejos, em litro/unidade.dia;

T é o período de detenção, em dias;

K é a taxa de acumulação de lodo digerido em dias;

Lf é a contribuição de lodo fresco, em litro/unidade.dia.

O período de detenção dos despejos é tabelado em norma, como mostrado na tabela 5.

Tabela 5 – Período de detenção dos despejos, por faixa de contribuição diária

Contribuição diária (L)	Tempo de detenção	
	Dias	Horas
Até 1500	1,00	24
De 1501 a 3000	0,92	22
De 3001 a 4500	0,83	20
De 4501 a 6000	0,75	18
De 6001 a 7500	0,67	16
De 7501 a 9000	0,58	14
Mais que 9000	0,50	12

Fonte: ABNT (1993).

A taxa de acumulação do lodo digerido, por intervalo de limpezas e

temperatura do mês mais frio é dado pela tabela 6 abaixo.

Tabela 6 – Taxa de acumulação total de lodo, em dias

Intervalo entre limpezas (anos)	Valores de K por faixa de temperatura ambiente em °C		
	$t \leq 10$	$10 \leq t \leq 20$	$t > 20$
1	94	65	57
2	134	105	97
3	174	145	137
4	214	185	177
5	254	225	217

Fonte: ABNT (1993).

Tem-se, por fim, uma contribuição de lodo fresco de 0,20 litros por pessoa, segundo a NBR 7229/93. Deve-se, ainda, observar as dimensões máximas e mínimas de profundidade citadas em norma, mostradas na tabela 7.

Tabela 7 – Profundidade útil máxima e mínima, por faixa de volume útil

Volume útil (m³)	Prof. útil mínima (m)	Prof. útil máxima (m)
Até 6,0	1,20	2,20
De 6,0 a 10,0	1,50	2,50
Mais que 10,0	1,80	2,80

Fonte: ABNT (1993).

Após a passagem pelo tanque séptico, o efluente passará por um tratamento complementar por filtro anaeróbico, conforme recomenda a NBR 13969/97. O dimensionamento do volume útil do leito filtrante é dado pela equação 8.

$$Vol_{lf} = 1,6NCT \quad (8)$$

Onde:

Vol_{lf} é o volume útil do leito filtrante, em litros;

N é o número de pessoas ou unidades de contribuição;

C é a contribuição de despejos, em litro/unidade.dia;

T é o período de detenção, em dias.

Em seguida, o efluente é finalmente conduzido aos sumidouros, por meio de caixas de distribuição, onde é feita sua deposição final por meio de sua infiltração no solo. O sumidouro, por sua vez, é um poço escavado com fundo permeável, e deve ser dimensionado segundo orientações da NBR 13969/97. É importante que se observe que o sumidouro deve estar a 1,5m de distância dos tanques sépticos e do nível de água subterrânea.

Para que se faça o dimensionamento dos sumidouros, é necessário que se encontre a capacidade de percolação do solo do local, ou seja, a capacidade de infiltração. Este valor é determinado por meio de ensaio no local, segundo NBR 13969/97. Dessa forma, os sumidouros não serão dimensionados neste estudo, contudo suas posições que constam no projeto original foram adotadas e farão parte dos esquemas gerais de funcionamentos dos sistemas.

3.6 CONSERVAÇÃO DO USO DA ÁGUA

E etapa de conservação do uso da água consistiu em identificar os equipamentos hidrossanitários existentes na edificação, suas características de operação e possíveis falhas, e recomendar sua substituição por equipamentos mais adequados quando constatada sua ineficiência operacional. Também procurou-se identificar vazamentos presentes ou instalações hidráulicas defeituosas para que se sugerisse sua correta instalação.

Ademais, o outro aspecto da conservação da água diz respeito à conscientização acerca de seu uso eficiente. Assim, será elaborado um guia de boas práticas para consumo de água em escolas, com aplicações para funcionários e estudantes. Para a elaboração do guia prático, considerou-se padrões usuais de uso que podem ser aprimorados para maiores economias.

3.7 SÍNTESE DO MÉTODO

A seguir estão sintetizadas de forma ordenada as etapas empregadas para obtenção dos resultados deste trabalho:

- a) Traçado do panorama de consumo;
- b) Cálculo do balanço hídrico;
- c) Proposta de adequação dos equipamentos hidráulicos;
- d) Elaboração dos sistemas de captação, tratamento e distribuição da água pluvial;
- e) Cálculo do volume gerado de efluentes e dimensionamento de seus tratamentos para reúso ou deposição;
- f) Elaboração de guias de uso consciente.

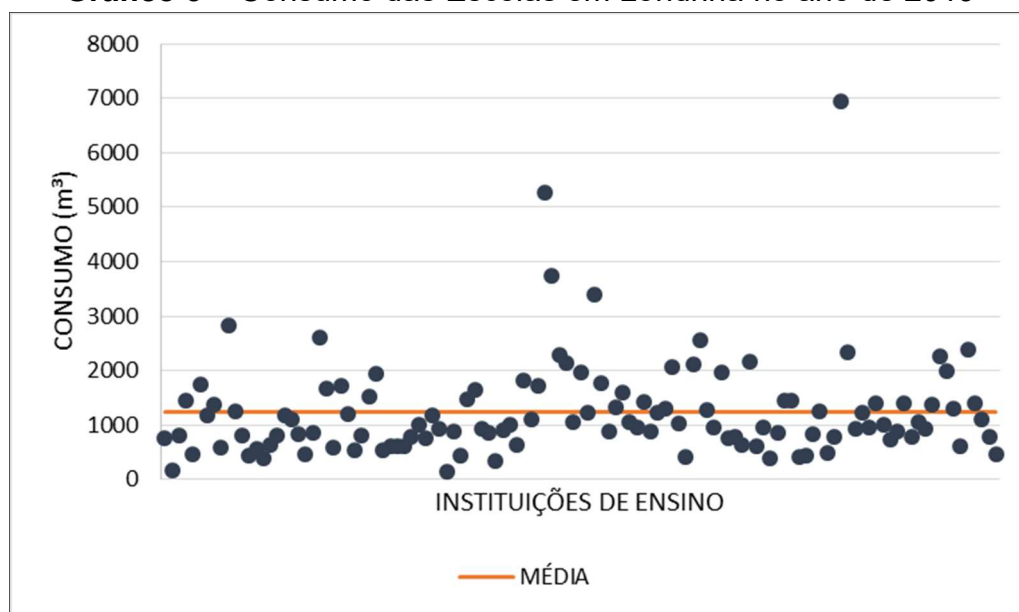
4 RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos nos processos supracitados.

4.1 PANORAMA DE CONSUMO DAS INSTITUIÇÕES DE ENSINO MUNICIPAIS

A partir dos consumos mensais do ano de 2019 das instituições de ensino de Londrina, fez-se as seguintes considerações. No gráfico 3 abaixo pode-se observar os consumos totais no ano de 2019 nas 119 instituições da cidade de Londrina.

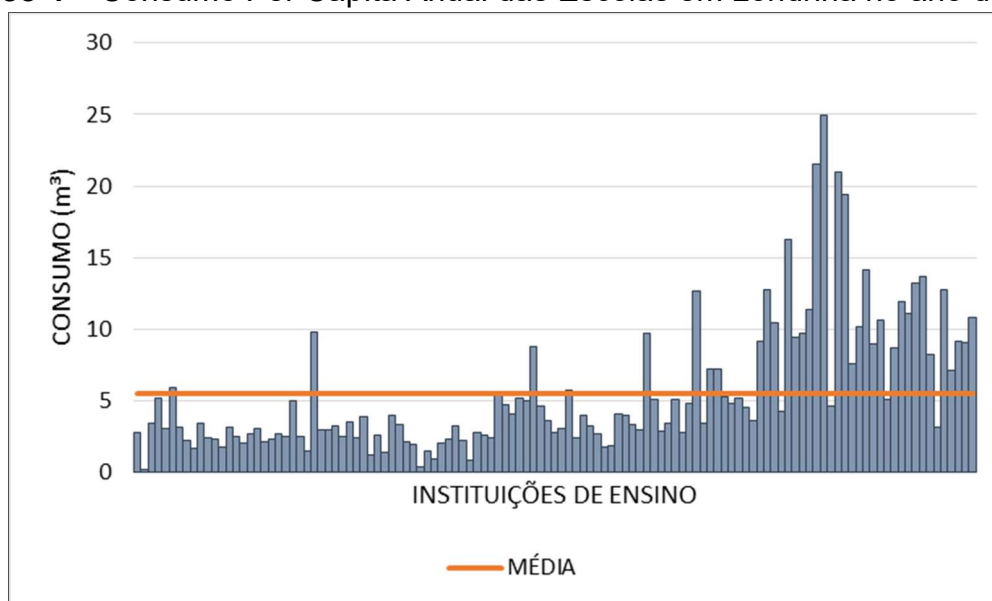
Gráfico 3 – Consumo das Escolas em Londrina no ano de 2019



Fonte: Própria autora (2020).

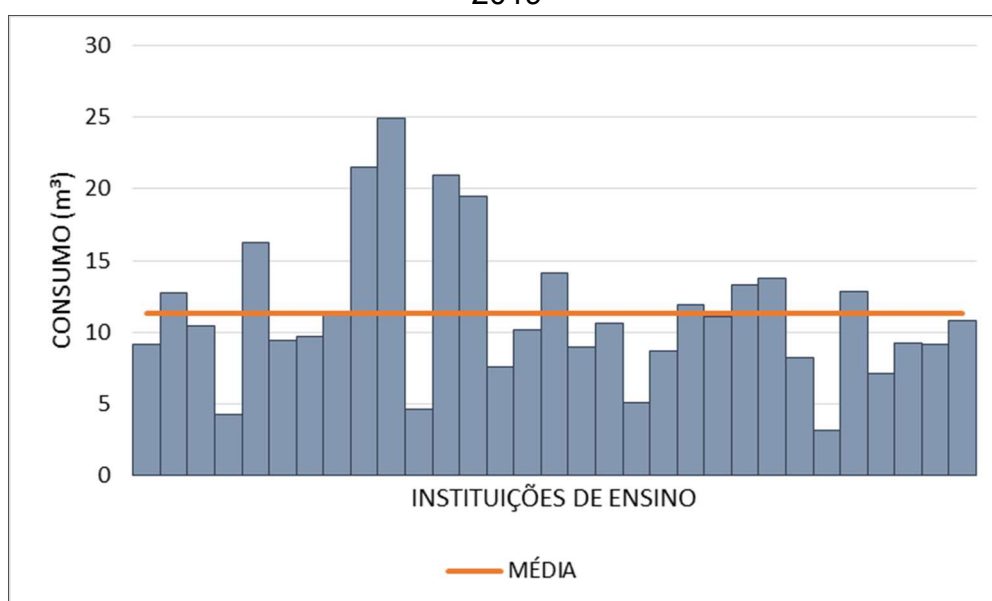
A partir do gráfico 3, obtém-se que a média de consumo anual das escolas foi de 1249,60 m³, e identifica-se as instituições cujo volume consumido foi muito acima da média de valores: o Centro Municipal de Educação Infantil Valéria Veronesi, e o Ensino Médio Zumbi dos Palmares, que é integrado ao Centro Municipal de Educação Infantil Maria Sabóia Nascimento, de consumos anuais iguais a 6933 e 5276 m³, respectivamente.

Contudo, para que se possa estabelecer um parâmetro mais representativo, calculou-se os consumos per capita das instituições, ou seja, o consumo por aluno, mostrados no gráfico 4 abaixo.

Gráfico 4 – Consumo Per Capita Anual das Escolas em Londrina no ano de 2019

Fonte: Própria autora (2020).

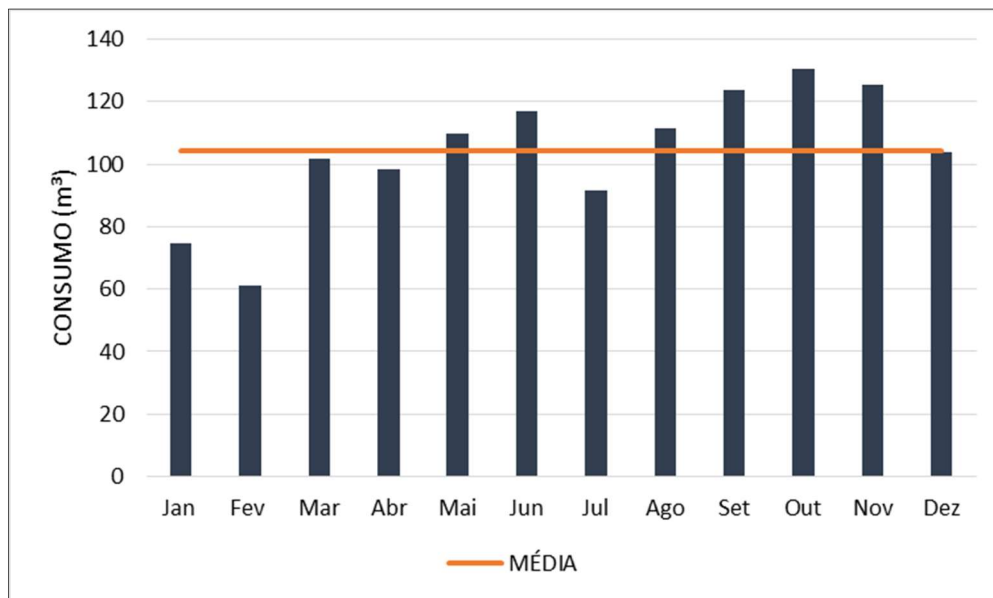
Nota-se uma grande variação das práticas de consumo das instituições, com uma média municipal de 5,55 $m^3/ano.aluno$. Porém, convém que se analise separadamente as instituições de educação infantil devido ao fato de que o consumo nestas instituições é relativamente maior que nas instituições de ensino médio. No gráfico 5 encontram-se os consumos apenas neste tipo de escola, com média igual a 11,31 $m^3/ano.aluno$.

Gráfico 5 – Consumo Per Capita Anual das Escolas Infantis em Londrina no ano de 2019

Fonte: Própria autora (2020).

Outra análise feita foi o consumo mensal das instituições ao longo do ano, mostrada no gráfico 6.

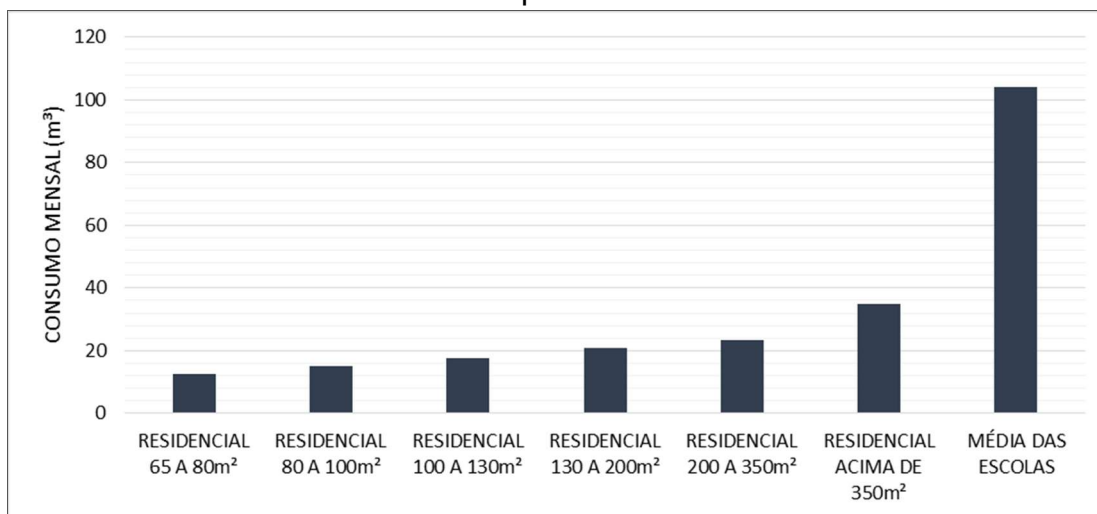
Gráfico 6 – Consumo Mensal das Escolas em Londrina no ano de 2019



Fonte: Própria autora (2020).

Percebe-se que ocorre uma queda no consumo de água nos meses de janeiro, fevereiro e julho, tradicionalmente meses de férias escolares. Por fim, realizou-se uma comparação do consumo médio das escolas em relação aos consumos residenciais prováveis (SANEPAR, 2010).

Gráfico 7 – Comparativo de Consumos



Fonte: Própria autora (2020).

Conclui-se, a partir do gráfico 7, que uma instituição de ensino consome consideravelmente mais água que edificações residenciais, ressaltando ainda mais a relevância de sistemas de economia e reuso de água nesse tipo de empreendimento.

De acordo com o panorama de consumo demonstrado, encontrou-se um consumo médio de água per capita para escolas municipais de 11,31 m³/ano.aluno, ou 31,42 L/dia.aluno. Apesar de existirem atualmente 240 alunos matriculados, deve-se prever também o consumo da instituição com sua capacidade máxima de alunos atingida, de 450 estudantes, segundo a administração da escola. Vale mencionar que o consumo per capita encontrado é inferior aos consumos previstos pela Sanepar, iguais a 50 L/aluno.dia para escolas e creches.

Assim, estimou-se a partir do consumo médio das escolas da cidade um consumo total de 14.137,46 L/dia para a capacidade máxima de 450 alunos, e 7.539,98 L/dia para a situação atual de 240 alunos.

4.2 BALANÇO HÍDRICO DA INSTITUIÇÃO

O cálculo do balanço hídrico demonstrado a seguir se divide em dois tópicos: o cálculo para o funcionamento atual da escola, e o cálculo para a operação da instituição em capacidade máxima, para que assim se possa avaliar o acréscimo no consumo em função do aumento no número de alunos.

4.2.1 Situação Atual

A partir do emprego dos métodos supracitados, foi possível que se obtivesse os valores para o balanço hídrico da instituição funcionando em sua condição atual de 240 alunos e 32 funcionários. Estes valores são divididos para cada um dos usos, resultando em um mapeamento de como a água é consumida na instituição.

Em relação às bacias sanitárias, que são do tipo descarga dual, considerou-se que em 75% dos usos é acionada a descarga de 3L, resultando em uma vazão média de 3,75 litros por uso. Ademais, já que a escola estudada não possui ensino integral, de forma que os estudantes só permanecem meio período, os

usos diários por aluno das bacias sanitárias foram reduzidos de 3 para 1,5, e dos lavatórios de 3 para 2. Os volumes consumidos nestes equipamentos podem ser observados nas tabelas 8 e 9 abaixo.

Tabela 8 – Volume consumido pelas bacias sanitárias na situação atual

Parâmetros	Funcionários	Alunos
$Q_{(eq)}$ (L/uso)	3,75	3,75
$t_{(eq)}$ (seg)	-	-
$T_{(dia)}$	3	1,5
$N_{(usuários)}$	32	240
$Vol_{(eq)}$ (L/dia)	360	1.350
$Vol_{(eq)}$ total (L/dia)	1.710	

Fonte: Própria autora (2020).

Tabela 9 – Volume consumido pelas torneiras dos banheiros na situação atual

Parâmetros	Funcionários	Alunos
$Q_{(eq)}$ (L/uso)	0,07	0,07
$t_{(eq)}$ (seg)	60	60
$T_{(dia)}$	3	2
$N_{(usuários)}$	32	240
$Vol_{(eq)}$ (L/dia)	412,8	2.064
$Vol_{(eq)}$ total (L/dia)	2.476,8	

Fonte: Própria autora (2020).

Quanto às torneiras da cozinha, considerou-se que a cada refeição servida na instituição as torneiras permanecerão abertas por 10 minutos para cada um dos dois funcionários encarregados da cozinha. Em visita identificou-se que são servidas 4 refeições diárias e 2 funcionários trabalham na cozinha, assim, o consumo diário de água nestes equipamentos é dado por:

Tabela 10 – Volume consumido pelas torneiras da cozinha

Parâmetros	Funcionários
$Q_{(eq)} (L/uso)$	0,13
$t_{(eq)} (seg)$	600
$T_{(dia)}$	4
$N_{(usuários)}$	2
$Vol_{(eq)} (L/dia)$	640

Fonte: Própria autora (2020).

Quanto às torneiras dos tanques, o volume demandado está demonstrado na tabela 11 a seguir, já que existem 3 funcionários que as utilizam, o número de utilizações diárias de cada funcionário é 3, e que as torneiras permanecendo abertas por 5 minutos a cada utilização, contabilizando enchimento de baldes, lavagem de panos e demais atividades de limpeza.

Tabela 11 – Volume consumido pelas torneiras dos tanques

Parâmetros	Funcionários
$Q_{(eq)} (L/uso)$	0,3
$t_{(eq)} (seg)$	300
$T_{(dia)}$	3
$N_{(usuários)}$	3
$Vol_{(eq)} (L/dia)$	810

Fonte: Própria autora (2020).

Em relação aos bebedores, o cálculo do volume de água requerido diariamente está evidenciado na tabela 12. Novamente se considerou que os alunos permanecem apenas meio período na escola, assim suas taxas de consumo foram reduzidas a 1 L/usuário.dia.

Tabela 12 – Volume consumido nos bebedores para situação atual

Parâmetros	Usuários	Alunos
T _(dia)	2	1
N _(usuários)	32	240
Vol _(eq) (L/dia)	64	240
Vol _(eq) total (L/dia)	304	

Fonte: Própria autora (2020).

Por fim, em relação à limpeza de pisos, os volumes calculados pelo processo explicado no método são os seguintes:

Tabela 13 – Volume consumido para limpeza de pisos

Parâmetro	Refeitório	Quadra coberta	Pisos externos
A ref. (m ²)	109,89	903,57	214
T (L/m ²)	2	2	2
Vol _(eq) (L/dia)	219,78	57,07	240,95
Vol _(eq) total (L/dia)	517,8		

Fonte: Própria autora (2020).

Dessa forma, tem-se que os totais de água potáveis e não potáveis demandados pela escola na situação atual de 240 alunos matriculados são os mostrados na tabela 14 a seguir.

Tabela 14 – Balanço hídrico diário da instituição para situação atual

Fins potáveis		Fins não potáveis	
Torneiras banheiros	2.476,8 L	Bacias sanitárias	1.710 L
Torneiras cozinha	640 L		
Torneiras tanques	810 L	Limpeza de pisos	517,8 L
Bebedores	304 L		
Total potável	4.230,8 L	Total não potável	2.227,8 L
Total		6.458,6 L	

Fonte: Própria autora (2020).

4.2.2 Capacidade Total

Os valores do balanço hídrico para capacidade total que diferem daqueles obtidos no item anterior são os seguintes. Em relação às bacias sanitárias, de forma análoga ao calculado anteriormente, considerou-se uma vazão média de 3,75 litros por uso, obtendo-se os seguintes volumes.

Tabela 15 – Volume consumido pelas bacias sanitárias em capacidade máxima

Parâmetros	Funcionários	Alunos
$Q_{(eq)}$ (L/uso)	3,75	3,75
$t_{(eq)}$ (seg)	-	-
$T_{(dia)}$	3	1,5
$N_{(usuários)}$	32	450
$Vol_{(eq)}$ (L/dia)	360	2.531,25
$Vol_{(eq)}$ total (L/dia)	2.891,25	

Fonte: Própria autora (2020).

Em relação às torneiras dos banheiros, tem-se:

Tabela 16 – Volume consumido pelas torneiras dos banheiros em capacidade máxima

Parâmetros	Funcionários	Alunos
$Q_{(eq)} (L/uso)$	0,07	0,07
$t_{(eq)} (seg)$	60	60
$T_{(dia)}$	3	2
$N_{(usuários)}$	32	450
$Vol_{(eq)} (L/dia)$	412,8	3.870
$Vol_{(eq)} \text{ total } (L/dia)$	4.282,8	

Fonte: Própria autora (2020).

Quanto aos bebedores, o cálculo do volume de água requerido diariamente está explicitado na tabela 17.

Tabela 17 – Volume consumido nos bebedores em capacidade máxima

Parâmetros	Usuários	Alunos
$T_{(dia)}$	2	1
$N_{(usuários)}$	32	450
$Vol_{(eq)} (L/dia)$	64	450
$Vol_{(eq)} \text{ total } (L/dia)$	514	

Fonte: Própria autora (2020).

Assim, os totais de água potáveis e não potáveis demandados pela escola em capacidade máxima são os seguintes.

Tabela 18 – Balanço hídrico diário da instituição em capacidade máxima

Fins potáveis		Fins não potáveis	
Torneiras banheiros	4.282,8 L	Bacias sanitárias	2.891,25 L
Torneiras cozinha	640 L		
Torneiras tanques	810 L	Limpeza de pisos	517,8 L
Bebedores	514 L		
Total potável	6.246,8 L	Total não potável	3.409,05 L
Total		9655,85 L	

Fonte: Própria autora (2020).

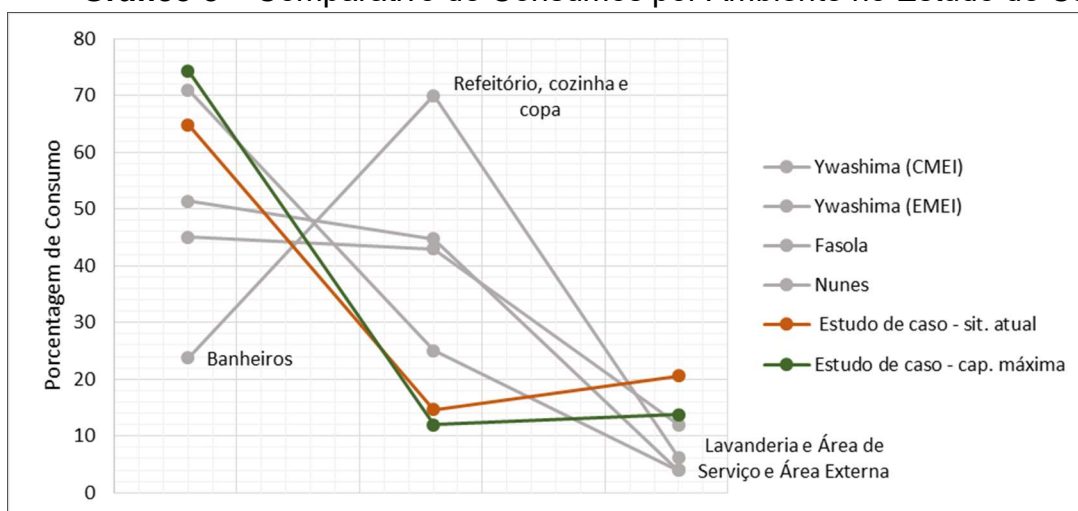
4.2.3 Comparações

Ao se comparar o volume requerido atualmente ao estimado no panorama de consumo, tem-se que o volume calculado é 14,38% menor que o esperado. Analogamente, ao se fazer a mesma comparação para a escola em capacidade máxima, tem-se que o volume calculado é 31,70% menor que o esperado. Essa diferença ocorre devido à demanda de água apresentar uma parcela fixa e uma parcela variável que se altera com o acréscimo de alunos.

Ao se fazer essa análise, nota-se que a economia é potencializada quando a escola opera em capacidade máxima, pois nesta situação é possível que os consumos individuais sejam mais importantes em volume que os consumos coletivos, como aqueles com alimentação e limpeza.

Em adição a isso, a escola estudada já possui sistema de descarga dual que promove grande economia de água. Vale mencionar também que neste balanço não estão computados perdas e desperdícios que estão inclusos nos valores do panorama, que se tratam de medições dos hidrômetros.

Em relação à comparação com instituições de tipologias semelhantes encontradas na bibliografia, obtém-se o gráfico 8, que mostra o consumo dividido por ambientes.

Gráfico 8 – Comparativo de Consumos por Ambiente no Estudo de Caso

Fonte: Própria autora (2020).

A partir desta análise, tem-se que na instituição em questão as demandas de água nos banheiros e nas áreas externas/limpeza estão acima dos intervalos de consumo encontrado na bibliografia. Assim, no próximo tópico se buscará equilibrar esse volume demandado.

4.3 PROPOSTA DE ADEQUAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS HIDROSSANITÁRIOS

Por meio da análise conduzida anteriormente, constatou-se que o maior consumo relativo ocorre nos banheiros e lavanderias/áreas externas. Dessa forma, avaliou-se as alterações que podem ser feitas a fim de se otimizar este consumo.

Dentre os equipamentos hidrossanitários existentes nos banheiros, tem-se as bacias sanitárias e os lavatórios. As bacias são do tipo descarga dual, como já mostrado, assim, este modelo já se apresenta como um equipamento de consumo eficiente. Este tópico, então, será focado na substituição das torneiras dos lavatórios que não possuem nenhum mecanismo que controle seu tempo de operação.

Dentre as opções disponíveis no mercado, selecionou-se a torneira com temporizador e arejador embutido com restritor de vazão da marca Docol, mostrada na figura 33.

Figura 33 – Torneira para lavatório de mesa Alfa Pressmatic



Fonte: Docol (2020).

Este modelo de torneira fecha automaticamente após 6 a 10 segundos do acionamento. Sua vazão é de aproximadamente 5 L/min (DOCOL, 2020).

Entende-se que o número de acionamentos da torneira será maior em relação a situação anterior, assim, adotando-se o número de acionamentos diários por funcionário como 12 e para alunos como 6, tem-se com essa substituição uma economia de cerca de 39% para este uso.

Em relação à lavagem de pisos, que é feita com o uso de mangueiras, é proposta a substituição pelo uso da lavadora de alta pressão. O modelo selecionado é o L STD 2000-M da marca Wap, que pode ser observado na figura 34 a seguir.

Figura 34 – Lavadora de alta pressão L STD 2000-M



Fonte: Wap (2015).

Esta lavadora, de pressão nominal de 2000 psi, e vazão de 600 L/h, gera uma economia de até 80% de volume de água devido à grande pressurização aliada à menor vazão em relação às mangueiras convencionais. Para este trabalho adotou-se a estimativa conservadora de 50% de redução no consumo.

Dessa forma, os novos balanços hídricos para a situação atual e para a capacidade máxima da instituição são:

Tabela 19 – Balanço hídrico diário da instituição para situação atual após modificações

Fins potáveis		Fins não potáveis	
Torneiras banheiros	1520 L	Bacias sanitárias	1.710 L
Torneiras cozinha	640 L		
Torneiras tanques	810 L	Limpeza de pisos	258,90 L
Bebedores	304 L		
Total potável	3.274 L	Total não potável	1.968,90 L
Total		5.242,90 L	

Fonte: Própria autora (2020).

Tabela 20 – Balanço hídrico diário da instituição em capacidade máxima após modificações

Fins potáveis		Fins não potáveis	
Torneiras banheiros	2570 L	Bacias sanitárias	2891,25 L
Torneiras cozinha	640 L		
Torneiras tanques	810 L	Limpeza de pisos	258,90 L
Bebedores	514 L		
Total potável	4.534,00 L	Total não potável	3.150,15 L
Total		7.684,15 L	

Fonte: Própria autora (2020).

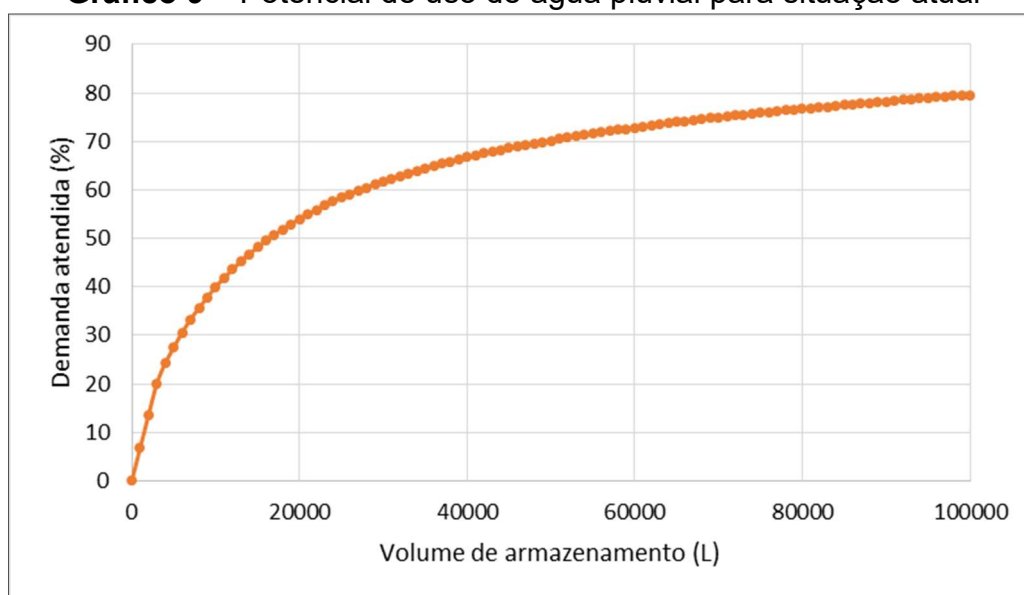
Com os novos balanços hídricos, as reduções nos volumes totais consumidos em relação ao estimado no panorama passam a ser 30,47% para a situação atual, e 45,65% para a escola em capacidade máxima, potencializando ainda mais a economia de água.

4.4 USO DE ÁGUA PLUVIAL

4.4.1 Captação

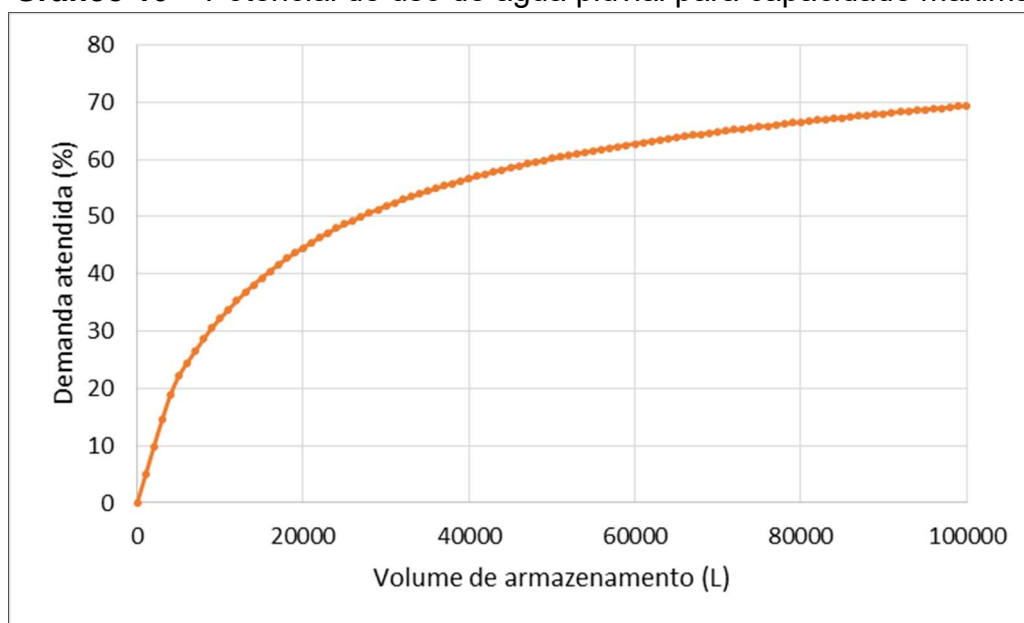
Para este cálculo, foram utilizadas as demandas de água após a realização das modificações de equipamentos. O dimensionamento do sistema de captação, feito com o uso do *software* Netuno e dos parâmetros já explicitados no método, forneceu a seguinte curva de potencial de utilização de água pluvial para a situação atual.

Gráfico 9 – Potencial de uso de água pluvial para situação atual



Fonte: Própria autora (2020).

A curva de potencial de utilização para a capacidade máxima pode ser observada no gráfico 10 a seguir.

Gráfico 10 – Potencial de uso de água pluvial para capacidade máxima

Fonte: Própria autora (2020).

Por meio da análise dos gráficos 9 e 10, constata-se que não é possível que toda a demanda de água potável seja suprida pela água pluvial disponível, tanto na situação atual como na escola operando em sua capacidade máxima, mesmo após a implementação das substituições de equipamentos. Dessa forma, faz-se necessário que outras formas de obtenção de água sejam consideradas.

Em relação à captação de águas subterrâneas, é importante que se analise a viabilidade técnica e econômica deste processo, pois como já foi mencionado, no distrito onde se encontra a escola ocorre a infiltração do esgoto doméstico no solo, inviabilizando a construção de poços para captação devido à contaminação do leito.

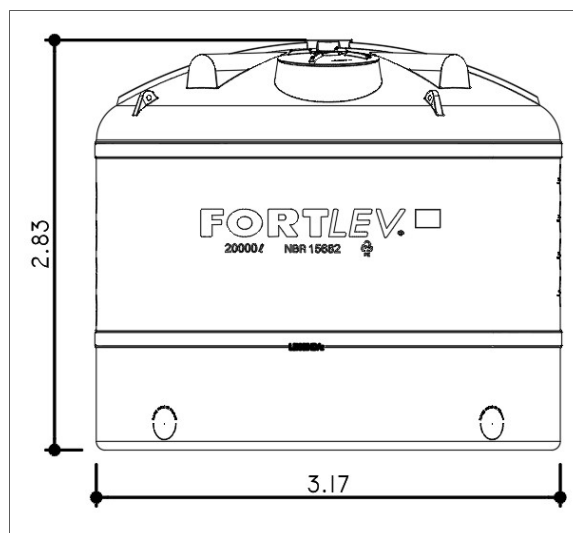
Conclui-se, assim, que a melhor alternativa do ponto de vista técnico e econômico para este estudo de caso é a complementação da demanda de água potável com a rede de abastecimento coletivo. Ressalta-se que os volumes calculados se referem à demanda antes da adoção das práticas conscientes, que serão abordadas em um próximo capítulo.

Assim, a edificação não atingirá o título Net Zero Água, mas sim o de Near Net Zero Água, o que significa que a instituição se aproxima de ser totalmente autossuficiente, mas ainda sem atingir a completa independência da rede coletiva.

Para que se consiga a maior substituição possível da água potável

da rede pela água pluvial, definiu-se que serão implementados 4 reservatórios tipo tanque da marca Fortlev de capacidade de 20.000 litros, resultando em um volume armazenável de 80.000 litros. O modelo do reservatório adotado assim como suas dimensões pode ser analisado na figura 35 abaixo.

Figura 35 – Modelo do reservatório adotado



Fonte: Adaptado de Fortlev (2020).

Com um volume de armazenamento de 80.000L, a demanda atual de água potável será suprida em 76,71% do tempo. Com o acréscimo no número de alunos matriculados, este volume atendido sofrerá uma redução proporcional, atingindo seu valor mais baixo em 66,52%, quando a escola estiver operando em sua capacidade máxima de alunos.

A localização do sistema de armazenamento na instituição, assim como o posicionamento das calhas e condutores e o detalhe do dispositivo de descarte inicial podem ser observados no Apêndice A que contém as plantas do projeto. É importante que se note que o recuo lateral para a zona onde está contida a escola é calculado conforme manda o Art. 43 do Plano de Uso e Ocupação do Solo de Londrina, onde o valor do recuo é dado por:

$$R = \left(\frac{H}{15} \right) + 1,2 \quad (9)$$

Onde:

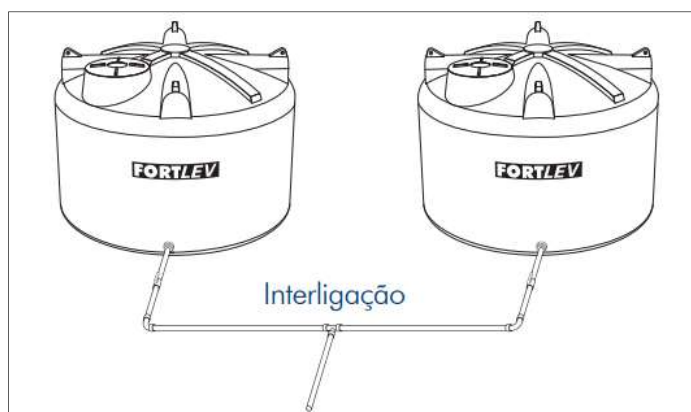
R é o recuo lateral mínimo em metros;

H é a altura da edificação em metros.

Sendo a altura máxima da edificação igual a 12 metros, seu recuo lateral mínimo será de 2 metros. Contudo, devido à falta de outro local onde seria possível a implantação do sistema, e ao fato de o projeto estar sendo realizado após a construção da instituição, foi necessário que se utilizasse o espaço destinado ao recuo.

A interligação entre os reservatórios será do tipo “U”, conforme especificada pelo fabricante, e está evidenciada na figura 36.

Figura 36 – Ligação entre os reservatórios



Fonte: Adaptado de Fortlev (2020).

Ademais, o reservatório deve apresentar extravasor e tubulação de limpeza, como mostrado na figura 37.

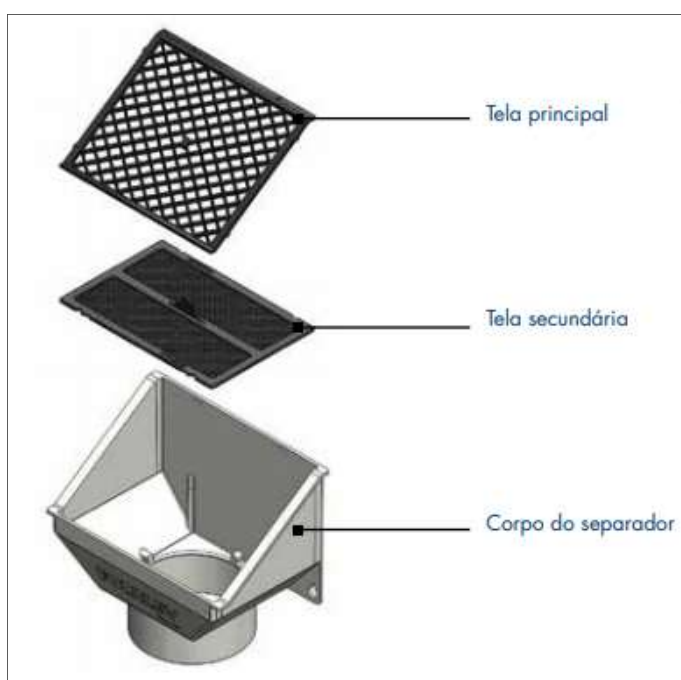
Figura 37 – Extravasor e tubulação de limpeza



Fonte: Adaptado de Fortlev (2020).

O modelo do filtro grosso ou separador de folhas escolhido é o da marca Fortlev, e apresenta duas telas de filtração, uma principal e uma secundária, para melhor retenção de sólidos, como mostrado na figura 38.

Figura 38 – Filtro de folhas Fortlev



Fonte: Fortlev (2020).

4.4.2 Tratamento e Distribuição

Para o sistema de potabilização da água pluvial, será implementado um sistema de ultrafiltração (UF), que apresenta a capacidade de reter a totalidade dos patógenos, como mostrado na figura 4. Para este fim foi selecionado o sistema de ultrafiltração pré-fabricado X-Flow Aquaflex 20 da marca Pentair. Este sistema possui poros de tamanho nominal igual a 20nm, com uma área de membrana de 20 m². O sistema é instalado verticalmente e opera no sentido de dentro para fora, suas dimensões totais são de 8" por 1,54 m.

De acordo com o fabricante, este sistema produz uma água final com turbidez inferior a 0,1 NTU, remoção de 99.9999% das bactérias e de 99.99% dos vírus. Ademais, este modelo de membrana, constituído por uma mistura de poliétersulfona e polivinilpirrolidona, apresenta alta permeabilidade, resultando em

um menor consumo de energia.

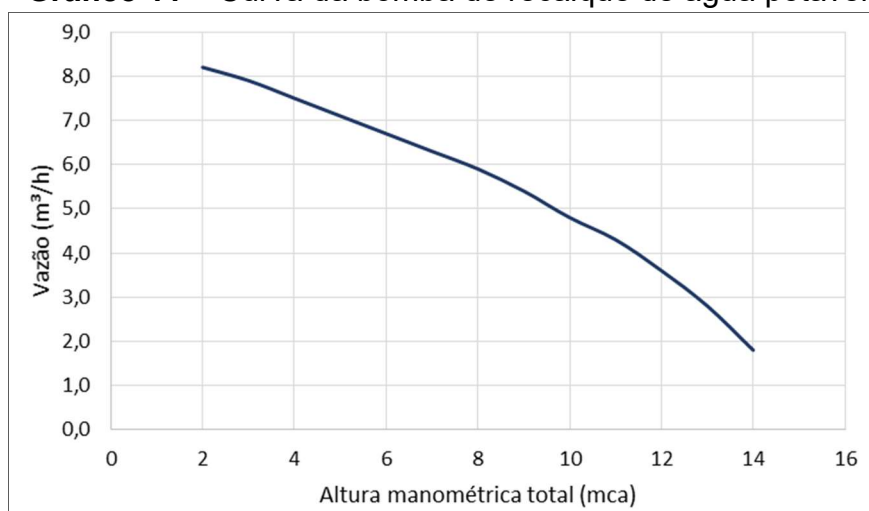
Apesar de apresentar bom comportamento quanto a incrustações, a membrana deve passar por processos de retrolavagem. O esquema de funcionamento do sistema pode ser observado na figura 39 abaixo.

Figura 39 – Esquema de funcionamento do sistema de ultrafiltração



Fonte: Adaptado de Pentair (2020).

Após tratada, a água potável será bombeada até o reservatório superior já existente na instituição e daí distribuída até os pontos de uso, aproveitando-se assim, das instalações hidráulicas já existentes. Para o sistema de recalque, tem-se o consumo diário de 3,3 m³ em capacidade máxima, e se deve garantir um volume equivalente a 1,5 dia de consumo no reservatório superior. Dessa forma, selecionou-se a bomba Schneider modelo BC-91 S com potência de ¼ cv, cuja curva de funcionamento pode ser vista no gráfico 11.

Gráfico 11 – Curva da bomba de recalque de água potável

Fonte: Própria autora (2020).

Dessa forma, considerando uma altura manométrica de 12 metros entre a saída do reservatório inferior e a entrada do reservatório superior, tem-se que a bomba levará 1 hora para o recalque do volume equivalente a um dia de consumo.

4.5 REUSO DE EFLUENTES

4.5.1 Cálculo do Volume Gerado

A partir do equacionamento definido no método, tem-se que os volumes gerados de efluentes na situação atual da escola são os mostrados na tabela 21 a seguir.

Tabela 21 – Volume de efluentes gerados na situação atual

Águas cinzas		Águas negras	
Lavatórios	1.520 L	Bacias sanitárias	1.710 L
Tanques	810 L	Pias da cozinha	640 L
Total águas cinzas	2.330 L	Total águas negras	2.350 L

Fonte: Própria autora (2020).

Para que se avalie se o reuso de águas cinzas funcionará como o esperado, ou seja, se o volume gerado de águas cinzas atenderá a demanda de fins não potáveis, aplicou-se a equação 6, que resultou na comparação mostrada na tabela 22.

Tabela 22 – Avaliação do reuso de águas cinzas em situação atual

Volume de águas cinzas	Demanda de água não potável
2.330 L	1.968,90 L

Fonte: Própria autora (2020).

Dessa forma, como o volume é superior à demanda, o reuso das águas cinzas supre todos os fins não potáveis na situação atual.

O mesmo processo foi feito para a instituição operando em capacidade máxima, resultando nas tabelas 23 e 24.

Tabela 23 – Volume de efluentes gerados em capacidade máxima

Águas cinzas		Águas negras	
Lavatórios	2.570 L	Bacias sanitárias	2.891,25 L
Tanques	810 L	Pias da cozinha	640 L
Total águas cinzas	3.380 L	Total águas negras	3.531,25 L

Fonte: Própria autora (2020).

Tabela 24 – Avaliação do reuso de águas cinzas em capacidade máxima

Volume de águas cinzas	Demanda de água não potável
3.380 L	3.150,15 L

Fonte: Própria autora (2020).

Assim, tem-se que na capacidade máxima, o volume gerado de águas cinzas também atende aos fins não potáveis.

Dessa forma, tendo os fins não potáveis atendidos pela água de reuso, não consumindo água potável, pode-se ainda realizar mais uma comparação: as reduções de demanda de água potável da instituição em relação ao valor obtido

no panorama de consumo serão de 56,58% para a situação atual e 67,93% para a capacidade máxima.

4.5.2 Tratamento e distribuição de águas cinzas

Para o tratamento das águas será empregado um sistema de filtração seguido por desinfecção por cloração, como já especificado. O armazenamento do efluente será feito na cisterna já existente, de 18 m³, e pressurizado pelo conjunto motobomba e controlador de vazão presente na instituição, já que este conjunto já é adequado ao recalque de águas não potáveis.

O modelo de filtro selecionado é o modelo GBF500 REUSO da marca Globalfiltros, próprio para tratamento de águas cinzas. Este filtro inclui o dosador de cloro e possui 4 estágios de filtração, com uma vazão máxima de 500 litros por hora. A localização dos componentes do sistema pode ser vista no Apêndice A, que contém as plantas do projeto.

4.5.3 Tratamento e deposição das águas negras

Para o tratamento e disposição final das águas negras, que são aquelas cuja recuperação para reuso não é viável, serão utilizados os sistemas de tanque séptico e sumidouro, que já são os sistemas empregados na instituição. Para tal, deve-se observar o disposto na NBR 13969 que normatiza a disposição de esgoto in loco. Um dos parâmetros de grande importância para a correta operação do sistema sem prejuízos ambientais é a distância entre o fundo da vala de operação e o nível máximo do lençol freático, que deve ser de 1,5 m.

Para o dimensionamento dos tanques sépticos, a partir do método mostrado anteriormente, adotou-se um período de detenção dos despejos igual a 0,83 dias, já que o volume de águas negras, de 3531,25 L está entre o intervalo 3001 e 4500 L. Ademais, adotando o intervalo entre limpezas igual a 1 ano, e considerando que no mês mais frio a temperatura média está contida no intervalo de 10 a 20 °C, tem-se a taxa de acumulação de lodo igual a 65 dias. O resumo do cálculo está mostrado na tabela 25 abaixo.

Tabela 25 – Dimensionamento do tanque séptico

Parâmetro	Valor
N	450 alunos
C	7,85 litro/pessoa.dia
T	0,83 dias
K	65 dias
Lf	0,2 litro/pessoa.dia
Volume útil	9.780,94 litros

Legenda: N – Número de pessoas; C – Contribuição em despejos; T – Período de detenção; K – Taxa de acumulação de lodo digerido; Lf – Contribuição de lodo fesco.

Fonte: Própria autora (2020).

O modelo de fossa selecionado é o de 10.000 L da marca Acqualimp, com altura e diâmetro de 3,16 e 2,22 metros, respectivamente, como mostrado na imagem 40 abaixo.

Figura 40 – Fossa séptica 10.000 L Acqualimp

Fonte: Acqualimp (2020).

Após a saída do tanque séptico, o efluente passará por tratamento complementar por filtro anaeróbico, cujo dimensionamento pode ser observado na tabela 26.

Tabela 26 – Dimensionamento do filtro anaeróbico

Parâmetro	Valor
N	450 alunos
C	7,85 litro/pessoa.dia
T	0,83 dias
Volume útil	4.689,5 litros

Legenda: N – Número de pessoas; C – Contribuição em despejos; T – Período de detenção.

Fonte: Própria autora (2020).

Selecionou-se o filtro anaeróbico da marca Acqualimp, de 5.000 litros, de altura e diâmetro iguais a 1,84 e 2,24 metros, respectivamente, mostrado na figura 41.

Figura 41 – Filtro anaeróbico 5.000 L Acqualimp

Fonte: Acqualimp (2020).

Por fim, o efluente seguirá para os sumidouros por meio de caixa de distribuição. O Apêndice A apresenta os componentes do sistema de tratamento e disposição final das águas negras.

4.6 GUIAS DE CONSUMO EFICIENTE

Tendo em vista que os usuários da instituição são ambos adultos e crianças na faixa etária de 2 a 10 anos, elaborou-se duas formas diferentes de programa de conscientização, uma sendo direcionada às crianças, e uma aos funcionários. Os guias de uso consciente podem ser observados nos Apêndices B e C deste trabalho.

Não é possível que se calcule a economia de água que os guias podem proporcionar a partir das mudanças no comportamento dos usuários. Dessa forma, não serão feitas mudanças nos volumes do balanço hídrico nessa seção, contudo, pode-se dizer que a educação ambiental é um importante pilar para a mudança de paradigma necessária para que se difunda amplamente a aplicação de sistemas de reuso de água em edificações.

5 CONCLUSÕES

O presente trabalho teve o objetivo de projetar a aplicação de um sistema Net Zero Água na Escola Municipal Edmundo Odebrecht, no município de Londrina – PR. Para que se atingisse tal objetivo, buscou-se estudar as fontes alternativas de água que pudessem ser adotadas a fim de se suprir a demanda da instituição. Ademais, analisou-se também as tecnologias acerca de tratamento de água e efluentes disponíveis, visando projetar um sistema que funcionaria satisfatoriamente na prática. Acrescenta-se também que buscou-se aproveitar ao máximo as instalações e equipamentos hidráulicos já existentes na escola a fim de reduzir o custo da implantação.

Primeiramente analisou-se o comportamento do consumo da água nas instituições de ensino na cidade, obtendo-se, assim, um valor de consumo per capita esperado. Em seguida buscou-se caracterizar a instituição tanto em seus aspectos construtivos, como em seu consumo de água para cada função, resultando em um mapeamento de seus usos. Com esse mapeamento em mãos foi possível que se identificasse os ambientes e os consumos de maior demanda de água, o que fundamentou as propostas de substituições de equipamentos.

Definiu-se que seria utilizada água pluvial para suprir os fins potáveis da escola, e que se reaproveitaria as águas cinzas para o atendimento dos fins não potáveis. Dessa forma, dimensionou-se o sistema de armazenamento de água pluvial e seu respectivo sistema de potabilização. O método de potabilização adotado foi o de ultrafiltração, que promove a remoção de patógenos produzindo uma água de boa qualidade. Determinou-se que os efluentes cinzas passarão por filtração e cloração antes de seguirem para os pontos de uso não potáveis. Em relação aos efluentes negros, que não são reutilizados, projetou-se tratamento por fossa séptica e filtro anaeróbico seguido de deposição em sumidouros.

Por fim elaborou-se guias de práticas conscientes de utilização das instalações hidráulicas da escola, direcionadas aos alunos e aos funcionários, que incluem professores, administração, limpeza e cozinha. Não é possível que se mensure a economia de água que estes guias promoveriam, contudo, eles funcionam como forma de educação ambiental e podem apresentar importantes resultados a longo prazo.

Os cálculos efetuados neste trabalho foram feitos para dois cenários:

para a escola operando atualmente, com o número de alunos matriculados igual a 240, e com a escola operando em capacidade máxima, onde o número de alunos é de 450. Para ambas as situações não foi possível que se suprisse totalmente a demanda de água potável por meio da captação da água pluvial, e devido a impossibilidade de se realizar captação de água subterrânea nesta área, não foi possível que se obtivesse o título de Net Zero Água, mas sim de Near Net Zero Água, o que significa que a instituição opera de maneira próxima à total autossuficiência de água.

Para a escola funcionando com a quantidade atual de alunos tem-se que ela suprirá totalmente sua demanda de água potável em 76,71% do tempo. À medida que a instituição se aproximar de sua capacidade máxima de alunos, esse valor se reduzirá, atingindo seu mínimo em 66,52%, quando a escola estará com todas suas vagas preenchidas. Porém, a demanda de água não potável será suprida 100% do tempo a partir do uso de águas cinzas.

Apesar de não se ter atingido o objetivo primário de transformar a instituição em questão em uma edificação Net Zero Água devido às limitações do local, o resultado final do trabalho foi satisfatório por ter sido obtida uma instituição de ensino que promove o reuso da água, o consumo consciente e produz grande parte de sua água consumida. O título de Near Net Zero Água também poderá alavancar outras formas de eficiência da edificação, como a energética. Além disso, a escola pode se tornar uma referência na eficiência hídrica para edificações semelhantes.

É importante que se ressalte que projetos desse tipo sempre são preferencialmente implantados em fase de projeto, uma vez que sua implementação em edificações já existentes é dificultada.

Em relação à certificação LEED O+M, conclui-se que a edificação poderá atender os pré-requisitos relacionados à eficiência hídrica, que estipulam a redução do consumo de água e promovem a aferição mapeada dos usos. Também seria possível que se atingisse alguns créditos adicionais da certificação que digam respeito a oportunidades adicionais de redução de consumo e rastreamento dos usos.

Em relação à certificação Aqua, existe possibilidade de cumprir medidas nas frentes de Uso Sustentável, Gestão Sustentável e Edifício Sustentável. Por fim, também será possível que se obtenha o Selo Escola Sustentável como

certificação municipal que ateste os esforços para promover o desenvolvimento sustentável em relação à gestão da água.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho buscou projetar a aplicação de um sistema de produção e tratamento de água em uma escola, porém, seriam necessários estudos complementares de instalações hidráulicas mais detalhados para que sua aplicação fosse feita, além de ensaios no local. A partir dos resultados obtidos e das dificuldades encontradas na elaboração deste trabalho, sugere-se para trabalhos futuros os seguintes tópicos:

- a) Estudo da viabilidade econômica por meio da análise dos custos de implantação e tempo de retorno do investimento;
- b) Realização de medidas de consumo in loco uma vez que a escola volte a operar normalmente após a pandemia, para que se valide ou corrija os valores calculados neste trabalho;
- c) Estudo da aplicação deste sistema ou semelhante em outras edificações em fase de projeto;
- d) Estudo da aplicação deste sistema ou semelhante em em outras edificações de mesma tipologia (instituições educacionais) para comparação de resultados.

REFERÊNCIAS

- ACQUALIMP. **Fossa séptica e filtro anaeróbico**. Disponível em: <https://www.acqualimp.com/wp-content/uploads/2016/01/manual-fossa-filtro.pdf>. Acesso em: 28 dez. 2020.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Sistema de informações sobre recursos hídricos**. Brasília, 2020.
- AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. **2019 state of the water industry report**. 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10844: Instalações prediais de águas pluviais**. Rio de Janeiro. 1989.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13969: Tanques sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação**. Rio de Janeiro. 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15527: Aproveitamento de água de chuva de coberturas para fins não potáveis – Requisitos**. Rio de Janeiro. 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5626: Instalação predial de água fria**. Rio de Janeiro. 1998.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7229: Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos**. Rio de Janeiro. 1993.
- BODANESE, Marcos. Case Energia e Água Zero Eurobusiness. *In*: 91º ENCONTRO NACIONAL DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO, 2019. **Sinduscon-Rio**. Rio de Janeiro, maio 2019. Disponível em: <https://cbic.org.br/wp-content/uploads/2019/05/11h50-12h05-Case-Energia-e-Agua-zero-Eurobusiness-Marcos-Bodanese.pdf>. Acesso em: 09 set. 2020.
- BRASIL. Portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde, de 03 de outubro de 2017. Define os procedimentos de controle e da vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Ministério da Saúde, Brasília, DF, 11 dez. 2017. Anexo XX, p 205 a 217.
- BRUGGEN, B. Van der; BRAEKEN, L. The challenge of zero discharge: from water balance to regeneration. **Desalination**, v. 188, n. 1-3, p.177-183, fev. 2006.
- BURIAN, Steven J.; NIX, Stephan J.; PITT, Robert E.; DURRANS, S. Rocky. Urban wastewater management in the United States: past, presente and future. **Journal of Urban Technology**. v. 7, n. 3, p. 33-62, dez. 2000.
- CARVALHO, Nathália Leal; HENTZ, Paulo; SILVA, Josemar Marques; BARCELLOS, Afonso Lopes. Reutilização de águas residuárias. **Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas – UFSM, Santa Maria**. Santa Maria, v. 14, n. 2, março 2014, p.

3164-3171.

CELITE. **Smart Clean Harpic – Caixa Acoplada para Celite 3/6 litros**. Disponível em: <https://www.celite.com.br/produtos/smart-clean-harpic-caixa-acoplada-para-celite-36-litros-1555700015301/>. Acesso em: 22 out. 2020.

COMPANIA ESPÍRITO SANTENSE DE SANEAMENTO. **Manual ambiental de projetos e obras**: anexo VI – manual ambiental de diretrizes e recomendações para concepção de projeto de sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário. 2010.

DOCOL. **Misturador para cozinha de parede 1/2” e 3/4” Riva**. Disponível em: <https://www.docol.com.br/00490106-misturador-para-cozinha-de-parede-1-2-e-3-4-riva-p987383>. Acesso em: 22 out. 2020.

DOCOL. **Torneira para banheiro Alfa PressMatic**. Disponível em: <https://www.docol.com.br/00446106-torneira-para-banheiro-alfa-pressmatic-p988235>. Acesso em: 16 dez. 2020.

DOCOL. **Torneira para banheiro bica alta Nova Pertutti**. Disponível em: <https://www.docol.com.br/00903906-torneira-para-banheiro-bica-alta-nova-pertutti-p988331>. Acesso em: 22 out. 2020.

DOCOL. **Torneira para jardim com canopla 1130 Nova Pertutti**. Disponível em: <https://www.docol.com.br/00903706-torneira-para-jardim-com-canopla-1130-nova-pertutti-p988711>. Acesso em: 22 out. 2020

ENGLEHARDT *ET AL*. Net Zero Water management: Achieving energy positive municipal water supply. **Environmental Science: Water Research & Technology**, n. 2, p. 250-260, mar. 2016.

FASOLA, Gabriel Balparda; GHISI, Enedir; MARINOSKI, Ana Kelly; BORINELLI, Jaffer Bressan. Potencial de economia de água em duas escolas em Florianópolis, SC. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 11, n. 4, out/dez 2011, p. 65-78.

FORTLEV. **Catálogo Técnico: Separador de folhas**. Disponível em: https://www.fortlev.com.br/wp-content/uploads/2020/05/Cat%C3%A1logo_Tecnico_Separador-de-Folhas-Fortlev.pdf.

FORTLEV. **Catálogo Técnico: Tanque**. Disponível em: https://www.fortlev.com.br/wp-content/uploads/2020/01/Manual_tecnico_fortlev_tanque.pdf.

FRANKLIN ELETRIC. **Tabela de seleção de bombas e motobombas**. Out. 2019.

FUNDAÇÃO VANZOLINI. **Referencial AQUA-HQE Edifícios em Operação – Uso Sustentável**. 2016. Disponível em: <https://vanzolini.org.br/aqua/wp-content/uploads/sites/9/2016/10/AQUA-HQE-REF-US-2016-09.pdf>. Acesso em: 17 ago. 2020.

FUNDAÇÃO VANZOLINI. **Referencial AQUA-HQE Edifícios em Operação –**

Gestão Sustentável. 2016. Disponível em: <https://vanzolini.org.br/aqua/wp-content/uploads/sites/9/2016/10/AQUA-HQE-REF-GS-2016-09.pdf>. Acesso em: 17 ago. 2020.

FUNDAÇÃO VANZOLINI. **Referencial AQUA-HQE Edifícios em Operação – Edifício Sustentável.** 2016. Disponível em: <https://vanzolini.org.br/aqua/wp-content/uploads/sites/9/2016/10/AQUA-HQE-REF-ES-2016-09.pdf>. Acesso em: 17 ago. 2020.

FUNDAÇÃO VANZOLINI. **Regras de Certificação AQUA-HQE Edifícios em Operação.** 2016. Disponível em: <https://vanzolini.org.br/aqua/wp-content/uploads/sites/9/2016/10/AQUA-HQE-Regras-de-certificac%CC%A7a%CC%83o-OP-2016-09-1.pdf>. Acesso em: 17 ago. 2020.

GBC BRASIL. **Compreenda o LEED.** Disponível em: <https://www.gbcbrasil.org.br/wp-content/uploads/2017/09/Compreenda-o-LEED-1.pdf>. Acesso em: 17 ago. 2020.

GBC BRASIL. **LEED v4 para Operação e Manutenção de Edifícios.** 2014. Disponível em: https://www.gbcbrasil.org.br/wp-content/uploads/2019/08/LEED-v4-EBOM_10.01.14_PT.pdf. Acesso em: 17 ago. 2020.

GBC BRASIL. **Primeiro edifício LEED Zero Água usa diversas estratégias para chegar no zero.** Disponível em: <https://www.gbcbrasil.org.br/primeiro-edificio-leed-zero-agua-usa-diversas-estrategias-para-chegar-no-zero/>. Acesso em: 09 set. 2020.

GHISI, E.; CORDOVA, M. M. **Netuno 4.** Programa computacional. Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil. Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br/>. 2014.

GLOBALFILTROS. **Filtro reuso água de banho e máquina de lavar roupas GBF500.** Disponível em: https://globalfiltros.mercadoshops.com.br/MLB-698366361-filtros-reuso-agua-de-banho-e-maquina-lavar-roupas-gbf500-_JM?quantity=1&variation=41622167527. Acesso em: 26 dez. 2020.

GONÇALVES, Ricardo Franci; BASTOS, Fernanda Pereira. Potabilização de água de chuva através de filtração lenta e desinfecção ultravioleta para abastecimento descentralizado de comunidades. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO E MANEJO DE ÁGUA DE CHUVA*, 8, 2012, Campina Grande, v. 8.

HOGAN, Daniel Joseph, **Crescimento populacional e desenvolvimento sustentável.** Lua Nova, São Paulo, n. 31, p. 57-78, dez. 1993.

IBGE. **Sinopse por setores.** Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/sinopseporsetores/?nivel=st>. Acesso em: 04 set. 2020.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Principais estatísticas.** Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/saneamento/principais-estatisticas>. Acesso em: 11 abr. 2020.

JOUSTRA, Caryssa; YEH, Daniel. Decision Support modeling for Net Zero water buildings. **Proceedings of the Winter Simulation Conference 2014.** Savannah, p.

3176-3187, 2014.

JOUSTRA, Caryssa; YEH, Daniel. Framework for Net Zero and net-positive building water circle management, **Building research and information**, v. 43, n. 1, p. 121-132, 2015.

KÖNIG, KLAUS W. **Innovative water concepts – Service water utilization in buildings**. Berlin Senate Department for Urban Development. Berlin. 2007

LONDRINA. **Lei Municipal nº 12.948, de 13 de novembro de 2019**. Dispõe sobre a criação, implementação e selo do Programa Escola Sustentável na rede escolar do Município de Londrina, e dá outras providências. Londrina: Câmara Municipal, 2019.

LONDRINA. **Lei Municipal nº 7.485, de 20 de julho de 1998**. Dispõe sobre o uso e a ocupação do solo na zona urbana e de expansão urbana de Londrina, e dá outras providências. Londrina: Câmara Municipal. 1998.

MARINS, Natália; MOURA, Daniel A. Análise da utilização de equipamento economizador na promoção de uso racional de água em prédio público. *In*: VI CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 2015, Porto Alegre. **IBEAS – Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais**.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Manual Prático para Uso e Conservação da Água em Prédios Públicos**. Brasília. 2014.

MIORANDO, Taizi; BRIÃO, Vandrê Barbosa; GIRARDELLI, Laisa. Potabilização de água de chuva por ultrafiltração. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 22, n.3, p. 481-490, maio/jun 2017.

MORTON, Jennie. **A path to Net Zero water**: flood your building with these water reclamation strategies. *Buildings*, p. 28-31, ago. 2013.

NELSON, Valerie I. **New approaches in decentralized water infrastructure**. Coalition for alternative wastewater treatment. 2008.

NUNES, Luiz Gustavo Costa Ferreira; SOARES, Anna Elis Paz; SILVA, Juliana Karla da; SILVA, Simone Rosa da. Uso racional da água em uma escola pública de Recife-PE: percepção dos usuários. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis, v. 7, n. 1, jan/mar. 2018, p. 822-835.

PENTAIR. **X-Flor Aquaflex 20 Ultrafiltration Membrane – Membrane element datasheet**. 2019.

PENTAIR. **X-Flow Aquaflex**. Disponível em: <https://xflow.pentair.com/pt-pt/products/aquaflex>. Acesso em: 18 dez. 2020.

PENTAIR. **X-Flow X-Line Rack – Vertical dead-end ultrafiltration**. Disponível em: <https://xflow.pentair.com/pt-pt/products/x-line>. Acesso em: 23 dez. 2020.

PENTAIR. **X-Flow X-Line Rack**. Disponível em: <https://xflow.pentair.com/pt-pt/products/x-line>. Acesso em: 23 dez. 2020.

PREFEITURA DE LONDRINA. **Distrito da Warta**, Londrina, 28 nov. 2019. Disponível em: <http://www.londrina.pr.gov.br/distritos-da-zona-rural/distrito-da-warta>. Acesso em: 04 set. 2020.

PREFEITURA DE LONDRINA. **Edmundo Odebrecht**. Disponível em: <http://www.londrina.pr.gov.br/menu-oculto-educacao/conheca-a-escola/e-m-edmundo-odebrecht>. Acesso em: 03 set. 2020.

Prefeitura e MRV inauguram primeira escola municipal do Distrito da Warta, em Londrina. **Agora Londrina**, Londrina, 11 fev. 2020. Disponível em: <https://agoralondrina.wordpress.com/2020/02/11/prefeitura-e-mrv-inauguram-primeira-escola-municipal-do-distrito-da-warta-em-londrina/>. Acesso em: 04 set. 2020.

PROCOPIAK, L. K.; JEDYN, G.; TAKAHASHI, R. O uso da água em uma escola pública de Curitiba e o consumo responsável. **Revista Educação Ambiental em ação**. n. 46, 2014.

SANEPAR. **Tabela de consumos potenciais**. Disponível em: http://site.sanepar.com.br/sites/site.sanepar.com.br/files/informacoes-tecnicas/projeto-hidrossanitario/tabela_consumos_potenciais_2010.pdf. Acesso em: 28 ago. 2020.

SANT'ANA, Daniel Richard; MEDEIROS, Lídia Batista; SANTOS, Suzanna Almeida dos. **Cadernos de conservação de água em edificações: reuso de águas cinzas**. Brasília: Editora FAU-UNB 2018, 47 p.

SANT'ANA, Daniel; BOEGER, Louise; MONTEIRO, Lilian. Aproveitamento de águas pluviais e o reuso de águas cinzas em edifícios residenciais em Brasília – parte 2: viabilidade técnica e econômica. **Água e Sociedade**, Paranoá, Brasília, n. 10, p. 85-93, 2013.

SILVA, Alex Barbosa Campos; PORTES, Amanda Costa; FARIA, Paulo Gil Siqueira de; ANDRADE, Ricardo Maurício de Freitas; TEIXEIRA, Celimar Azambuja. Aproveitamento de água de chuva e reuso de água cinza em uma edificação comercial. **Engenharia e Construção Civil**. Curitiba, v. 3, n. 1, jan/jun 2016, p. 57-65.

SILVA, Gilmar da. **Aproveitamento de água de chuva em um prédio industrial e numa escola pública – estudo de caso**. 2007. 87 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

SISOLAK, Joel. SPATARO, Kate. **Toward net zero water: best management practices for decentralized sourcing and treatment**. Cascadia Green Building Council. 2011.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **24º diagnóstico dos serviços de água e esgoto**. Brasília: 2019.

SUBTIL, Eduardo Lucas; CAVALHERO, Amanda; SANCHEZ, Aline Alves. Sistemas descentralizados de tratamento de esgoto e reuso de água. **Ciência e Tecnologia Ambiental: Conceitos e Perspectivas**. UFABIC, c. 9, setembro 2016, p. 201-220.

TAINE, Lais. Novo prédio da escola da Warta começa a atender no próximo ano letivo. **Folha de Londrina**, Londrina, 18 dez. 2019. Disponível em: <https://www.folhadelondrina.com.br/cidades/novo-predio-da-escola-da-warta-comeca-a-atender-no-proximo-ano-letivo-2978342e.html>. Acesso em: 03 set. 2020

TOMAZ, Plínio. **Aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não potáveis**. 4ª edição. São Paulo: Navegar Editora, 2011.

TSUTIYA, Milton Tomotuki. **Abastecimento de água**. 3ª edição. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Handbook for managing onsite and clustered (descentralized) wastewater treatment systems**. 2005.

USGBC. **LEED Zero Program Guide**. 2020. Disponível em: https://www.usgbc.org/sites/default/files/2020-04/LEED_Zero_Program%20Guide_April%202020.pdf. Acesso em: 19 out. 2020.

USGBC. **Water Use Reduction Additional Guidance**. 2016. Disponível em: https://www.usgbc.org/sites/default/files/Water%20Use%20Reduction%20Additional%20Guidance%2010-17-2016%20v9_0.pdf. Acesso em: 19 out. 2020.

VARBANETS, Maryna Peter; ZURBRÜGG, Chris; SWARTZ, Chris; PRONK, Wouter. Decentralized systems for potable water and the potencial of membrane technology. **Water Research**, v. 43, n.2, fev 2009, p. 245-265.

WAP. **Linha L STD – Manual de instruções lavadora**. 2015. Disponível em: <https://wap.ind.br/wp-content/uploads/2018/05/Manual-Linha-L-STD.pdf>. Acesso em: 24 dez. 2020.

WISBECK, Elisabeth; SANDRI, Edgar K.; SOARES, Andrea L. M.; MEDEIROS, Sandra H. W. Desinfecção de água de chuva por radiação ultravioleta. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 16, n. 4, out/dez 2011, p. 337-342.

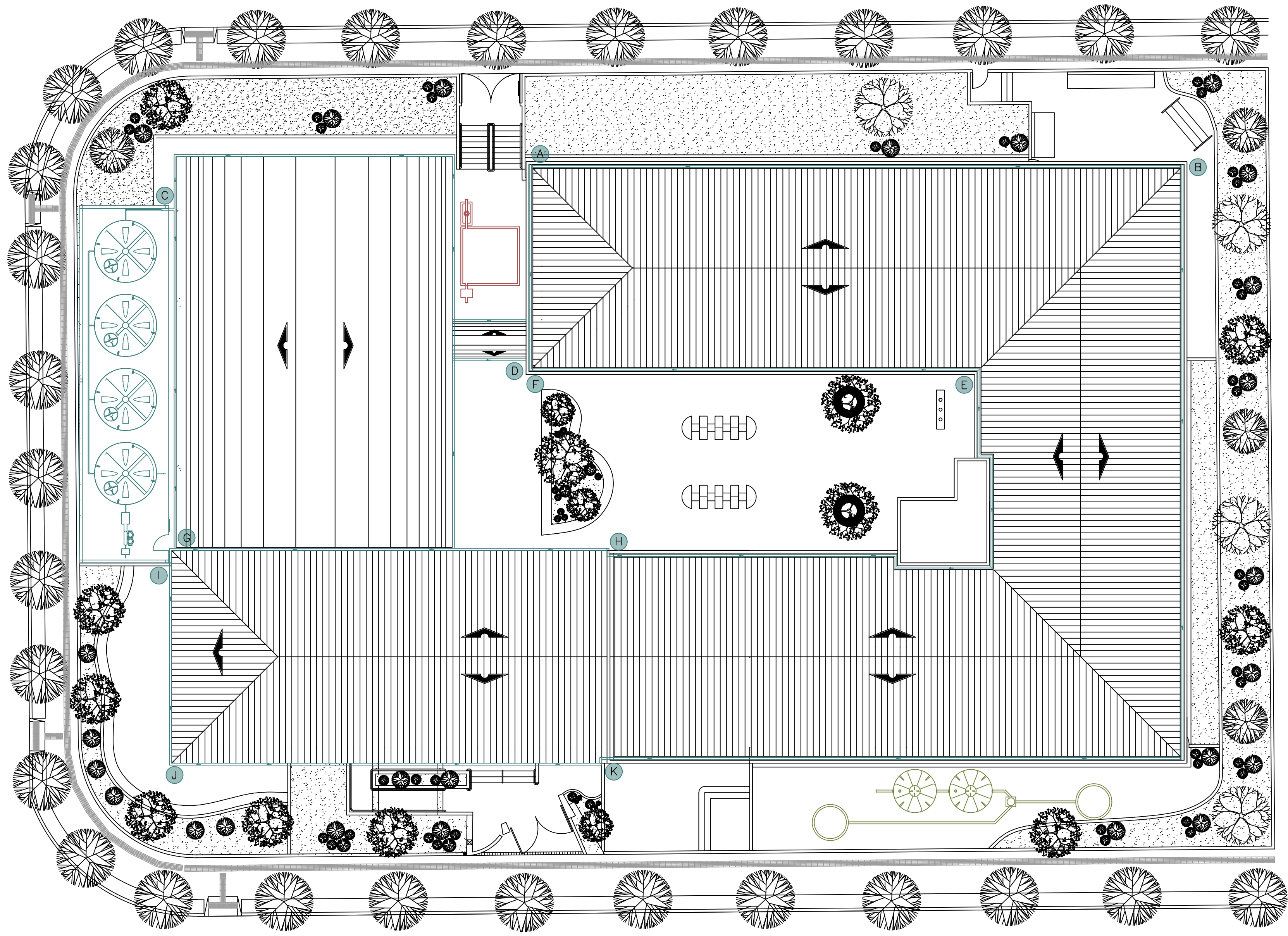
WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Investing in water and sanitation: UN-water global analysis and assessment of sanitation and drinking-water GLASS 2014 report**. 2014.

YWASHIMA, Laís Aparecida. **Avaliação do uso da água em edifícios escolares públicos e análise da viabilidade econômica da instalação de tecnologias economizadoras nos pontos de consumo**. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2005.

APÊNDICES

APÊNDICE A

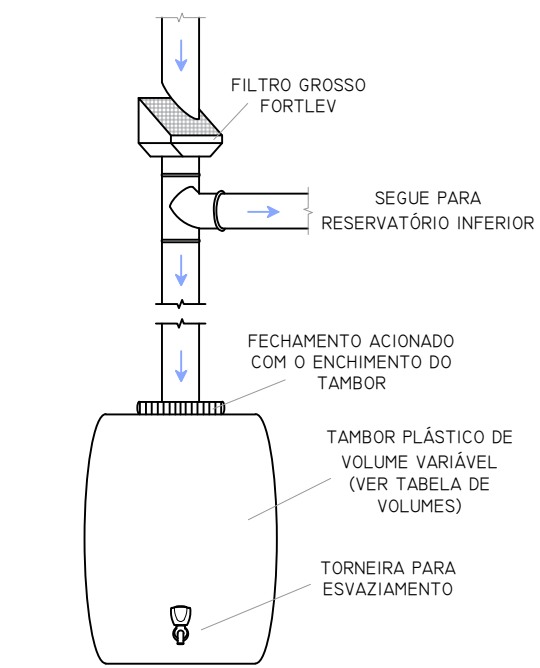
Projeto de aplicação de sistema Near Net Zero Água na Escola Municipal Edmundo
Odebrecht




1 PLANTA DE IMPLANTAÇÃO
ESCALA 1:150

LEGENDA DE SÍMBOLOS E CORES			
	SENTIDO DO FLUXO		SISTEMA DE CAPTAÇÃO E TRATAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS
	IDENTIFICAÇÃO DO DISPOSITIVO DE DESCARTE INICIAL (VER TABELA)		SISTEMA DE REUSO DE ÁGUAS CINZAS
			SISTEMA DE TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO DE ÁGUAS NEGRAS

VOLUMES DOS TAMBORES DE DESCARTE DA PRIMEIRA CHUVA			
ID	ÁREA DA COBERTURA CORRESPONDENTE (m²)	VOLUME MÍNIMO A SER DESCARTADO (m³)	VOLUME DO TAMBOR (L)
A	145	0,29	300
B	130	0,26	300
C	295	0,59	600
D	31	0,05	100
E	75	0,15	150
F	120	0,24	250
G	107	0,21	250
H	107	0,21	250
I	30	0,06	60
J	110	0,22	250
K	135	0,27	300



2 DETALHE 01
SEM ESCALA



Universidade
Estadual de Londrina

TÍTULO DO PROJETO
SISTEMA NEAR NET ZERO ÁGUA - ESCOLA EDMUNDO ODEBRECHT

CONTEÚDO DA PRANCHA
PLANTA DE IMPLANTAÇÃO E DETALHE DO DISPOSITIVO DE DESCARTE INICIAL

AUTORA
MARIANA RESENDE FRAIZ

DATA
DEZ. 2020

PRANCHA
1/2



APÊNDICE B

Guia de consumo consciente destinado a alunos da instituição

Vamos usar a água da melhor maneira!



A água é preciosa! Só ligue a torneira quando for usar



Se perceber água vazando, avise um adulto



Existem muitas brincadeiras divertidas! Não use água para brincar



Não jogue nenhum tipo de lixo nos vasos sanitários



Beber água é muito importante! Se mantenha hidratado



APÊNDICE C

Guia de consumo consciente destinado aos funcionários da instituição

GUIA DE USO CONSCIENTE DA ÁGUA

PRÁTICAS SIMPLES COM UM GRANDE IMPACTO



CONSERVE ÁGUA. NÃO ESTÁ USANDO? FECHE!

O sistema de tratamento de águas operante em nossa instituição depende diretamente da demanda de água dos usuários. Dessa forma, evitar desperdícios é uma peça chave para que se tenha sempre disponível a água potável produzida na escola.

DESCARTE SEU LIXO DE FORMA CORRETA.

**LIXOS SÓLIDOS DEVEM SER JOGADOS NOS
RECIPIENTES ADEQUADOS!**

O efluente produzido nas pias dos banheiros é reutilizado nos vasos sanitários e na limpeza dos pisos. Assim, é muito importante que ele não seja contaminado com outros tipos de resíduos.



PARTICIPE NA GESTÃO INTEGRADA DA ÁGUA

**FISCALIZE PROBLEMAS NA OPERAÇÃO
E COMUNIQUE SUAS IDEIAS!**

A constante melhoria no sistema conta com ações de todos, desde identificação de vazamentos e práticas indesejadas, como ao se propor ideias.

PROMOVA A EDUCAÇÃO AMBIENTAL

EXPLIQUE COMO A ÁGUA É PRODUZIDA NA ESCOLA!

O entendimento dos sistemas de tratamento e reuso de água da escola por parte de seus alunos é uma excelente forma de se introduzir conceitos sobre o meio ambiente e seus recursos.



DIVULGAÇÃO PARA A COMUNIDADE EXTERNA

DISSEMINAR OS RESULTADOS OBTIDOS!

A organização de palestras e atividades que apresentem de forma transparente as metas alcançadas e os objetivos traçados são importantes para que a instituição possa se tornar uma referência para as demais.

