UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JULIO DE MESQUITA FILHO"
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E CIÊNCIAS EXATAS

Trabalho de Formatura

Curso de Graduação em Engenharia Ambiental

TECNOLOGIAS E ALTERNATIVAS DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL COMO PROPOSTA PARA A GESTÃO DE ÁGUA NA UNIVERSIDADE

Gabriel Palocci de Lima Rodrigues

Profa. Dra. Clauciana Schmidt Bueno de Moraes

Rio Claro (SP)

2016

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Câmpus de Rio Claro

GABRIEL PALOCCI DE LIMA RODRIGUES

TECNOLOGIAS E ALTERNATIVAS DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL COMO PROPOSTA PARA A GESTÃO DE ÁGUA NA UNIVERSIDADE

Trabalho de Formatura apresentado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do grau de Engenheiro Ambiental.

Rio Claro - SP
2016

333.7 Rodrigues, Gabriel Palocci de Lima
R696t Tecnologias e alternativas de construção sustentável como proposta para a gestão de água na universidade / Gabriel Palocci de Lima Rodrigues. - Rio Claro, 2016
123 f. : il., figs., tabs., quadros

Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Ambiental) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Orientador: Clauciana Schmidt Bueno de Moraes

1. Economia ambiental. 2. Tecnologias ambientais. 3. Alternativas ambientais. 4. Conservação de água. 5. Reúso de água. I. Título.

Ficha Catalográfica elaborada pela STATI - Biblioteca da UNESP
Campus de Rio Claro/SP

GABRIEL PALOCCI DE LIMA RODRIGUES

TECNOLOGIAS E ALTERNATIVAS DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL COMO PROPOSTA PARA A GESTÃO DE ÁGUA NA UNIVERSIDADE

Trabalho de Formatura apresentado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do grau de Engenheiro Ambiental.

Comissão Examinadora

Profa. Dra. Clauciana Schmidt Bueno de Moraes (orientadora)

Profa. Dra. Vania Silvia Rosolen

Pesquisadora Caroline Antonelli Santesso

Rio Claro, 19 de Janeiro de 2016.

Assinatura do(a) aluno(a)

Assinatura do(a) orientador(a)

RESUMO

A universidade apresenta um papel primordial no desenvolvimento de estudos e projetos que visem ações e práticas mais sustentáveis, podendo dar início através de sua própria infraestrutura a edifícios mais eficientes no âmbito social, ambiental e econômico. Este trabalho tem como enfoque estudar a implementação de uma melhor gestão de recursos hídricos em prédios universitários, através do levantamento de medidas de conservação de água, que englobam a utilização de equipamentos economizadores, o reúso de águas cinzas e o aproveitamento de águas pluviais. Neste contexto, foram diagnosticadas as principais alternativas e tecnologias que podem e são utilizadas nas instituições de ensino, elucidando a existência de critérios para sua implantação. As medidas de conservação abordadas mostram-se possíveis, desde que planejadas seguindo padrões de qualidade exigidos e acompanhadas de avaliações técnicas, visando a preservação da saúde pública, e auferindo benefícios ambientais, econômicos e sociais. Foram realizadas proposições ao câmpus da Unesp de Rio Claro/SP após apurar-se quais tecnologias poderiam atender a uma construção com maior conservação da água e, consequentemente, um melhor retorno a comunidade, contribuindo para a difusão de tecnologias sustentáveis e acompanhando as novas tendências da sociedade em que a construção civil busca entrar em harmonia com o meio ambiente na qual é inserida.

Palavras-chave: Tecnologias ambientais. Alternativas ambientais. Conservação de água. Reúso de água.

ABSTRACT

The university has a key role in the development of studies and projects aimed at more sustainable actions and practices, it can start using its own infrastructure to more efficient buildings in social, environmental and economic context. This work focuses on studying the implementation of better water resources management in university buildings, by listing water conservation measures, which include using saving equipment, reuse of greywater and rainwater harvesting. In this context, the main alternatives and technologies that may be and are used in educational institutions are diagnosed, clarifying the existence of criteria for its implementation. The discussed conservation measures show themselves possible, as long as been planned following required quality standards and accompanied by technical assessments, in order to preserve public health, and achieving environmental, economic and social benefits. Some propositions were made to the campus of Unesp Rio Claro/SP, after ascertained which technologies could meet a construction with increased water conservation and a consequently greater return to the community, contributing to spread sustainable technologies and following new society trends in the construction industry, which seeks to be in harmony with its surrounding environment.

Keywords: Environmental technologies. Environmental alternatives. Water conservation. Water reuse.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema representativo de reúso direto (em cascata) 24
Figura 2 - Esquema representativo de reúso indireto (após tratamento) 24
Figura 3 - Modelo de válvula de duplo acionamento 37
Figura 4 - Modelo de bacia sanitária com segregação de urina 37
Figura 5 - Modelo de bacia sanitária a vácuo (esq.) e seu princípio de funcionamento (dir.) 37
Figura 6 - Modelo de bacias sanitárias acopladas ao lavatório por gravidade 38
Figura 7 - Modelo de válvula de sensor para mictório 40
Figura 8 - Modelo de válvula de funcionamento hidromecânico para mictório 40
Figura 9 - Modelo de mictório sem água 40
Figura 10 - Modelo de mictório feminino 41
Figura 11 - Modelo de mictório com lavatório acoplado 41
Figura 12 - Modelo de torneira com funcionamento hidromecânico 43
Figura 13 - Modelo de válvula de pé para torneira 43
Figura 14 - Modelos de torneiras eletrônicas com sensor de proximidade no corpo (esq.) e na parede (dir.) 43
Figura 15 - Modelo de válvula de fechamento automático para ducha e chuveiro 45
Figura 16 - Modelo de restritor de vazão para ducha e chuveiro 45
Figura 17 - Modelo de restritor de vazão constante 47
Figura 18 - Modelo de pulverizador 47
Figura 19 - Modelo de arejador e seu princípio de montagem 47
Figura 20 - Modelo de arejador de vazão constante e seu princípio de montagem 48
Figura 21 - Configuração básica do sistema de coleta e reúso de águas cinzas 51
Figura 22 - Modelo de reator anaeróbio compartimentado (RAC) 58
Figura 23 - Desenho esquemático do funcionamento do RAC 58
Figura 24 - Desenho esquemático do funcionamento do FAD 61
Figura 25 - Desenho esquemático do sistema de *wetland* 61
Figura 26 - Aspecto pretendido do sistema de *wetland* 62
Figura 27 - Modelo de sistema de RBC (esq.) e discos onde o biofilme é aderido (dir.) 62
Figura 28 - Modelo de sistema de tratamento por osmose reversa (esq.) e seu princípio de funcionamento (dir.) 65
Figura 29 - Placa indicativa de ponto de consumo de água de reúso 67

Figura 30 - Configuração básica do sistema de captação e aproveitamento de águas pluviais 69
Figura 31 - Área de coleta: telhado (esq.) e laje (dir.) 70
Figura 32 - Área de coleta: telhado e pátio 71
Figura 33 - Modelo de grade de calha percorrendo a extensão da mesma 73
Figura 34 - Desenho esquemático do funcionamento do reservatório de descarte 73
Figura 35 - Modelos de filtro de descida (esq.) e seu princípio de funcionamento (dir.) 74
Figura 36 - Exemplo de instalação do filtro de descida 74
Figura 37 - Modelo de filtro volumétrico e seu princípio de funcionamento 75
Figura 38 - Exemplo de localização do filtro volumétrico 75
Figura 39 - Modelo de filtro industrial e seu princípio de funcionamento 76
Figura 40 - Exemplo de localização do poço técnico para o filtro industrial 76
Figura 41 - Modelos de cisterna metálica 78
Figura 42 - Simulação de cisterna em alvenaria 78
Figura 43 - Modelo de cisterna pré-fabricada em polietileno 79
Figura 44 - Desenho esquemático de disposição do tanque de decantação 81
Figura 45 - Modelo de freio d'água (esq.) e sua disposição no reservatório (dir.) 82
Figura 46 - Modelo de sifão extravasor e sua disposição no reservatório 82
Figura 47 - Modelo de filtro flutuante de sucção e sua disposição no reservatório 82
Figura 48 - Placa de identificação de ponto de água pluvial 83
Figura 49 - Modelo de realimentador automático 88
Figura 50 - Ciclo dos equipamentos 95
Figura 51 - Esquema de funcionamento de irrigação subterrânea 103
Figura 52 - Configuração sugerida para o sistema de *wetland* 103
Figura 53 - Configuração de sistema de *wetland* sugerida pela Fluxo 103
Figura 54 - Área de coleta em coberturas inclinadas 105
Figura 55 - Configuração sugerida para o sistema de aproveitamento de águas pluviais 108

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros de qualidade para água de reúso não potável 28
Tabela 2 - Parâmetros de qualidade requeridos para uso de águas pluviais.....31
Tabela 3 - Precipitação no município de Rio Claro.....105

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Características da água pluvial na Cidade Universitária da USP.....30
Quadro 2 - Tecnologias e alternativas em equipamentos sanitários economizadores.....49
Quadro 3 - Tecnologias e alternativas para o sistema de coleta e reúso de águas cinzas.....68
Quadro 4 - Tecnologias e alternativas para o sistema de aproveitamento de águas pluviais ...84
Quadro 5 - Economia presumível baseada em hisórico de estudos de casos 91
Quadro 6 - Resultados de análises fisico-químicas de amostras de chuva coletadas no câmpus 106
Quadro 7 - Síntese das sugestões apresentadas..... 109

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCMAC	Associação Brasileira de Captação e Manejo de Água de Chuva
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACert	Auditoria, Certificação e Gerenciamento Socioambiental
ANA	Agência Nacional de Águas
AsBEA	Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura
CBCS	Conselho Brasileiro de Construção Sustentável
CEPAGRI	Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura
CIRRA	Centro Internacional de Referência em Reúso de Água
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
FAD	Flotação por Ar Dissolvido
FBAS	Filtro Biológico Aerado Submerso
IB	Instituto de Biociências
IGCE	Instituto de Geociências e Ciências Exatas
PBQP-H	Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH)
PURA	Programa Estadual de Uso Racional da Água
PRFV	Plástico reforçado com fibra de vidro
RAC	Reator Anaeróbio Compartimentado
RBC	Reator Biológico de Contato
SAR	Sistema Automático de Realimentação
SS	Sólidos suspensos
USP	Universidade de São Paulo
UV-C	Ultravioleta 200-300nm

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 12
2 OBJETIVOS 14
2.1 Objetivo Geral 14
2.2 Objetivos Específicos 14
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 15
3.1 A questão hídrica 15
3.2 Sustentabilidade, universidade e construção sustentável: da teoria a prática 17
3.3 A gestão de águas: busca do equilíbrio ambiental e econômico na construção 21
3.3.1 Reúso de águas 22
3.3.2 Águas Cinzas 25
3.3.3 Parâmetros de qualidade para Reúso de Águas 27
3.3.4 Aproveitamento de Águas Pluviais 28
3.3.5 Parâmetros de qualidade para aproveitamento de Águas Pluviais 30
4 METODOLOGIA 33
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO 34
5.1 Tecnologias e alternativas de conservação de água 34
5.1.1 Equipamentos Hidrossanitários 34
5.1.1.1 Bacias sanitárias 34
5.1.1.2 Mictórios 38
5.1.1.3 Torneiras 42
5.1.1.4 Chuveiros e duchas 44
5.1.1.5 Reguladores de vazão 45
5.1.2 Sistema de Coleta e Reúso de Água Cinza 51
5.1.2.1 Coleta 52
5.1.2.2 Reúso direto 54
5.1.2.3 Reúso indireto 54
5.1.2.3.1 Sistemas de Tratamento Preliminar 56
5.1.2.3.2 Sistemas de Tratamento Secundário 57
5.1.2.3.3 Sistemas de Tratamento Terciário 63
5.1.2.4 Armazenamento e Distribuição 66
5.1.3 Sistema de Captação e Aproveitamento de Água Pluvial 69

5.1.3.1 Captação 70
5.1.3.2 Pré-tratamento 71
5.1.3.3 Armazenamento 77
5.1.3.4 Tratamento 79
5.1.3.5 Distribuição 83
5.2 Considerações levantadas e aspectos de segurança 85
5.3 Aspectos econômicos e análises de custo 89
5.4 Aspectos ambientais e sociais 95
5.5 Sugestões para futuras e atuais edificações no câmpus da Unesp de Rio Claro 97
6 CONCLUSÃO 110
REFERÊNCIAS 112

1 INTRODUÇÃO

A questão hídrica vem ganhando notado espaço na discussão sobre a escassez dos recursos naturais, mostrando-se como um novo desafio para inúmeros países e regiões onde a oferta de água não acompanha o crescimento de sua demanda.

Dentro dessa narrativa, são cada vez mais necessárias as iniciativas orientadas à preservação e racionalização do uso deste recurso, tanto na esfera pública como na privada, principalmente associadas à busca de fontes alternativas de água.

Nesse contexto, surgem oportunidades para investir em práticas, técnicas e tecnologias voltadas ao aprimoramento da eficiência do uso desse recurso (ALBUQUERQUE NETO; JULIO, 2014).

Em muitos países, a prática de reúso de água vem sendo muito utilizada, tendo o Brasil realizado suas primeiras iniciativas nesta direção especialmente em regiões onde a escassez de água de boa qualidade para abastecimento público é mais expressiva, como acontece na Região Metropolitana de São Paulo (SABESP, 2004 apud MORELLI, 2005).

A captação da água de chuva é uma outra alternativa que vem se popularizando ao longo dos anos, por tratar-se de um recurso hídrico acessível independentemente das condições econômicas e sociais de seus interessados, sendo uma fonte de água doce que ainda não é passível de ser tributada pelo seu uso (NOSÉ, 2008).

O papel da universidade nesse contexto se faz indispensável, como agente catalisador no processo de transformação para um modo de vida mais eticamente, socialmente e ambientalmente responsável.

Na UNESP, câmpus de Rio Claro/SP, está em fase de elaboração e busca de recursos o projeto de construção de um Centro de Vivências, o qual deu origem a esta pesquisa, a fim de auxiliar na busca de soluções que sejam ambientalmente corretas e economicamente mais viáveis dentre as diversas tecnologias e alternativas já existentes no âmbito da construção sustentável, bem como deverá servir para adaptações de construções já edificadas. Este projeto está sendo acompanhado e tem o apoio das diretorias do Instituto de Geociências e Ciências Exatas (IGCE) e do Instituto de Biociências (IB) deste câmpus.

Neste trabalho, foram elencadas características, operação, vantagens, desvantagens, aspectos econômicos, ambientais e sociais do emprego de tecnologias e alternativas relacionadas a racionalização do consumo de água nas edificações universitárias, as quais englobam a utilização de equipamentos economizadores, a implantação de sistemas de coleta

e reúso de águas residuárias e a implantação de sistemas de captação e aproveitamento de águas pluviais.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Diagnosticar alternativas e tecnologias existentes para a gestão de águas em organizações, universidades e instituições de ensino, buscando as que considerem os aspectos sociais, econômicos e ambientais como benefícios da construção sustentável.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar uma listagem geral, formando uma base de dados das principais alternativas e tecnologias encontradas que possam ser utilizadas nas universidades e instituições de ensino, seja em edifícios já construídos ou em novas obras.
- Elencar os aspectos econômicos, ambientais e sociais da implantação de tecnologias e alternativas de conservação de água nos espaços universitários.
- Dentre as alternativas e tecnologias analisadas, descrever quais tecnologias poderiam atender a adaptações em edificações existentes ou novas edificações do câmpus da Unesp de Rio Claro/SP.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 A QUESTÃO HÍDRICA

Ao longo do tempo, a população urbana no mundo superou a população rural, as cidades cresceram demasiadamente rápido, e muitas delas - sobretudo nos países subdesenvolvidos - tiveram suas formas de organização injustas e ambientalmente desplanejadas.

Nesse cenário, a água tornou-se coadjuvante de uma urbanização caótica: embora seja essencial à vida, ao desenvolvimento econômico e ao bem-estar social, a água no meio urbano passou a contribuir com a poluição, a contaminação e a transmissão de doenças, assim como os desastres ambientais.

Mesmo em áreas rurais, a produção agrícola está ameaçando os corpos hídricos e a vegetação nativa remanescente, devido aos altos índices de contaminação com defensivos agrícolas, pesticidas, praguicidas e outros agroquímicos, além de resíduos provenientes da mineração e de outras atividades industriais.

De acordo com Netto (1991 apud OLIVEIRA, 2005), o consumo de água sofre influência não só de aspectos como o clima, o sistema de distribuição e tributação da água, o custo da água e a quantidade de habitantes na região, mas também pelos hábitos culturais e o padrão econômico da população.

Isso leva à reflexão sobre a forma como a civilização conduz a demanda por água: presume-se que o grau de desenvolvimento e o padrão econômico de uma população interfiram em seus hábitos culturais, geralmente induzindo à transição da alimentação natural por produtos industrializados e estimulando o superconsumo de bens supérfluos, ou seja, práticas que exigem um suprimento de água cada vez mais expressivo.

A água não só circula através dos rios, mares, oceanos e pelas massas de ar, mas também sob a forma social das mais variadas mercadorias tangíveis, como alimentos, tecidos, automóveis, minerais e demais matérias-primas (PORTO-GONÇALVES, 2004). Dessa forma, deve-se relacionar a gestão de águas não somente à organização das sociedades em termos territoriais, mas também culturais.

É evidente que, conforme cresce a demanda por água, eleva-se igualmente o risco de escassez desse recurso. Ribeiro Filho et al. (2006) e Hespanhol (2002) apontam que a má

distribuição e má utilização têm levado algumas regiões a apresentarem problemas de escassez hídrica.

Essa questão endossa a importância da adoção de práticas que busquem a conservação da água, através das tecnologias e alternativas disponíveis no país. Essas medidas permitem o racionamento, a captação o aproveitamento da água das mais variadas formas possíveis, com custos que variam de acordo com a tecnologia e a operação preconizada (NUNES, 2006).

O Brasil é um dos países com maior disponibilidade de água doce do mundo, detendo cerca de 14% do recurso hídrico global, e estando assim em uma situação privilegiada e estratégica para seu desenvolvimento (RIBEIRO FILHO et al., 2006).

Entretanto, a região do Nordeste semiárido brasileiro é um dos exemplos reais de como a escassez hídrica pode ser, segundo Nunes (2006) um aspecto limitante para o desenvolvimento e promoção da qualidade de vida na região, sem mencionar os aspectos políticos que envolvem todo o processo de gestão administrativa de uma região.

Além do Nordeste semiárido, Hespanhol (2002) ressalta que muitas regiões com recursos hídricos abundantes, mas insuficientes para satisfazer demandas excessivamente elevadas, como a Região Metropolitana de São Paulo, também experimentam conflitos de usos e sofrem restrições de consumo, as quais têm afetado o desenvolvimento econômico e a qualidade de vida. A exemplo disso, pode ser observada a bacia do Alto Tietê, a qual:

> *"...abriga uma população superior a 15 milhões de habitantes e um dos maiores complexos industriais do mundo, dispõe, pela sua condição característica de manancial de cabeceira, vazões insuficientes para a demanda da Região Metropolitana de São Paulo e municípios circunvizinhos. Esta condição, tem levado à busca incessante de recursos hídricos complementares de bacias vizinhas, que trazem, como consequência direta, aumentos consideráveis de custo, além dos evidentes problemas legais e político-institucionais associados".*

Para Gonçalves, R. (2006), o restabelecimento do equilíbrio entre oferta e demanda deste recurso ocorre através da aplicação de sistemas alternativos de usos da água como reúso, reciclagem, gestão da demanda, redução de perdas e minimização da geração de efluentes.

Em 1958, o Conselho Econômico e Social das Nações Unidas (UNITED NATIONS, 1958) estabeleceu uma política de gestão para áreas carentes de recursos hídricos que comporta o seguinte conceito: “a não ser que exista grande disponibilidade, nenhuma água de boa qualidade deve ser utilizada para usos que toleram águas de qualidade inferior”.

Dessa forma, águas de qualidade inferior, como as residuárias de origem doméstica, águas de drenagem agrícola e águas salobras, devem ser vistas como fontes alternativas para usos menos restritivos quando possível (HESPANHOL, 2002).

Nunes (2006) também aponta a captação e o aproveitamento de águas pluviais como "uma outra medida não-convencional para conservação da água", sendo uma prática bastante comum em muitos lugares do Brasil e do mundo, principalmente nas regiões áridas e semiáridas do Nordeste.

O setor privado, particularmente o industrial, vem gradualmente incorporando práticas de reúso e reciclagem, a fim de atingir benefícios significativos. Hespanhol (2002) aponta que as tarifas cobradas pela maioria das companhias de saneamento, assim como o estabelecimento e a implantação das estruturas de outorga e cobrança, tanto na adução de água quanto para o despejo de efluentes, têm levado as indústrias a atentar-se a tendências atuais e tecnologias disponíveis para reúso de águas.

Em 1997, a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) fez avançar as relações produtivas que utilizam a água como insumo básico, assegurando o compromisso à integridade das bacias hidrográficas brasileiras. Contudo, é essencial que exista comprometimento dos governos e esforços da sociedade para possibilitar que essa legislação e seus instrumentos avancem e sejam eficazes no disciplinamento do consumo desse recurso necessário (CNI; CBIC, 2012).

Isso nos leva a concluir que se faz urgente a necessidade de adotar padrões de vida e estratégias construtivas para minimizar o consumo de água e para reequilibrar o meio ambiente construído.

3.2 SUSTENTABILIDADE, UNIVERSIDADE E CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL: DA TEORIA A PRÁTICA

Ao longo dos anos muitos buscam e definem a sustentabilidade, sendo principalmente a partir dos anos 90 que a emergência de sua importância recebeu destaque em âmbito internacional (PINHEIRO, 2003).

O conceito de desenvolvimento sustentável surgiu tendo por princípio "integrar conservação da natureza e desenvolvimento, de modo a satisfazer as necessidades humanas fundamentais mantendo a integridade ecológica e respeitando a diversidade cultural e a autodeterminação social" (MONTIBELLER FILHO, 2004).

De acordo com Dalla Costa e Moraes (2012), a construção civil tem grande influência no desenvolvimento sustentável, já que movimenta grande quantidade de recursos e capital com a construção de edifícios públicos e privados, infraestrutura de base, saneamento básico e espaços públicos, tendo como objetivo prover moradia, educação, trabalho, saúde e lazer, respondendo às necessidades sociais e econômicas.

Contudo, tais atividades de suporte aos processos de desenvolvimento induzem, em muitos casos, a alterações substanciais no ambiente; e esses impactos podem afetar decisivamente o ambiente atual e futuro de forma negativa e irreversível.

Em Novembro de 1994, foi efetuada a Primeira Conferência Mundial sobre Construção Sustentável em Tampa, Flórida, onde a tendência da construção, no contexto da sustentabilidade, foi discutida. A construção sustentável, segundo Pinheiro (2003): "refere-se à aplicação da sustentabilidade às atividades construtivas, sendo definida como a criação e responsabilidade de gestão do ambiente construído, baseado nos princípios ecológicos e no uso eficiente de recursos".

Durante essa primeira conferência foram sugeridos desde logo os seguintes seis princípios (KIBERT, 1994 apud PINHEIRO, 2003) para a sustentabilidade na construção:

- Minimizar o consumo de recursos;
- Maximizar a reutilização dos recursos;
- Utilizar recursos renováveis e recicláveis;
- Proteger o ambiente natural;
- Criar um ambiente saudável e não tóxico;
- Fomentar a qualidade ao criar o ambiente construído.

O conceito de construção sustentável consolida, dessa forma, um novo paradigma na indústria da construção civil, a qual firma compromisso com os princípios de uma "economia verde", dispondo-se a lançar mão de práticas que melhorem o desempenho socioambiental. Essa renovação de mentalidade do mercado tem início no projeto e se estende até a obra efetiva, passando por uma escolha criteriosa de materiais e alternativas de menor impacto ao ambiente e à saúde humana (CNI; CBIC, 2012).

A Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura (AsBEA), o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS) e outras organizações elencam diversos princípios básicos da construção sustentável, dentre os quais Corrêa (2009) destaca:

- Aproveitamento de condições naturais locais;
- Utilização mínima de terreno e integração ao ambiente natural;
- Redução de impactos no entorno: paisagem, concentração de calor e sensação de bem-estar;
- Qualidade ambiental interna e externa;
- Gestão sustentável da implantação da obra;
- Adaptação às necessidades atuais e futuras dos usuários;
- Uso de matérias-primas que contribuam com a eficiência ambiental do processo;
- Redução do consumo energético;
- Redução do consumo de água;
- Redução, reutilização, reciclagem e disposição adequada dos resíduos sólidos;
- Introdução de inovações tecnológicas quando possível e viável;
- Educação ambiental com a conscientização dos envolvidos no processo.

Segundo Pinheiro (2003), edifícios que são construídos incorporando tais praticas asseguraram uma grande satisfação aos seus ocupantes, pela maior eficiência de operação e utilização de recursos, maior durabilidade, e a consequente garantia de uma manutenção reduzida e menos onerosa.

A seleção entre diferentes materiais, produtos ou sistemas empregados na construção civil pode considerar diferentes critérios, sejam estes econômicos, sociais, culturais e ambientais. Quanto aos equipamentos hidrossanitários, os critérios mais comumente considerados são a avaliação econômica e do consumo de recursos, como a água (KALBUSCH; GHISI, 2012).

No Brasil, a Agência Nacional de Águas (ANA), possui a função básica de proporcionar o desenvolvimento do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, criado pela Lei n^{o} 9.433 de 1997. Com isso, ressalta-se que o aprimoramento da gestão dos recursos hídricos como forma de evitar desperdícios e promover o uso racional da água no Brasil, é elemento essencial para a consolidação de uma cadeia produtiva sustentável na indústria e no mercado da construção (CNI; CBIC, 2012).

Muitas são as medidas de conservação de água praticadas com objetivo de reduzir o consumo de água, fazendo uso deste insumo de maneira sustentável e razoável, além de evitar a poluição dos recursos hídricos, através da produção de volumes reduzidos de esgoto (BONI, 2009). Roaf (2009) considera que poucas mudanças no estilo de vida dos frequentadores são

necessárias para diminuir o uso de águas tradicionais, através das varias medidas que contribuem para esse fim, como as descargas eficientes, canalizações de água otimizadas, uso de cisternas, entre outras.

Contudo, a experiência brasileira em captação e reúso planejado e institucionalizado ainda não se deu de forma ampla e abrangente, fazendo-se necessário implementar projetos pilotos. Essas unidades experimentais devem cobrir aspectos de diversas modalidades de captação de chuva e reúso de águas, e deverão fornecer subsídios para o desenvolvimento de padrões e normas, levando em consideração as condições e características geográficas nacionais.

O papel da universidade nesse contexto se faz imprescindível, na medida em que tais unidades poderão transformar-se em sistemas de demonstração, realizando treinamentos, pesquisas e o desenvolvimento do setor.

Segundo Unep (2012): "nenhuma instituição na sociedade moderna está mais apta e possui a maior obrigação de facilitar a transição para um futuro sustentável do que colégios e universidades", as quais possuem, por essência, o desafio de buscar práticas aprimoradas na criação e disseminação do conhecimento. Com isso, a transição para o sustentável deve trazer novos desafios, mas também tremendas oportunidades.

Deve-se levar em consideração ainda que a adequação de edifícios com soluções sustentáveis, ou mesmo a edificação de novos prédios e espaços na universidade com foco na busca e aplicação dos conceitos da construção sustentável podem ser considerados exemplos de projetos de vanguarda, trazendo benefícios à formação dos estudantes, sua organização e motivação, apresentando a universidade como um organismo vivo, não inerte e que deve constantemente auferir novos projetos, ideias e objetivos (SANTESSO et al., 2013).

Para Orr (2004, apud CASAGRANDE JÚNIOR; DEEKE, 2009), toda instituição de ensino possui, além de seu currículo explícito descrito em seu catálogo, algo que pode-se considerar como um currículo implícito, o qual consiste em seus edifícios, terrenos e operações. Somado a isso, Cortese (2000) afirma que seres humanos retêm de 10 a 20% do que ouvem ou lêem, e aproximadamente 80% do que experimentam, de acordo com educadores e psicólogos.

Dessa forma constata-se como a infraestrutura urbana repercute na sociedade em seu conjunto, de modo que infraestrutura que os estudantes observam nos campi, como eles se movem, do que se alimentam, de que forma se relacionam, como vivenciam determinados

espaços, qual noção de tempo e espaço constroem são questões que influenciam a capacidade de visualizar melhores alternativas (CASAGRANDE JÚNIOR; DEEKE, 2009).

Portanto, se faz urgente a adoção de práticas sustentáveis por meio dos edifícios e operações dos campi universitários, utilizando seus espaços e sua rotina de operação como ferramentas educacionais (CASAGRANDE JÚNIOR; DEEKE, 2009). Diante desse contexto, as universidades têm nas mãos uma grande oportunidade em termos de edificações em seus campi.

3.3 A GESTÃO DE ÁGUAS: BUSCA DO EQUILÍBRIO AMBIENTAL E ECONÔMICO NA CONSTRUÇÃO

A gestão de água ou gerenciamento dos recursos hídricos é o nome dado a atividade de planejar, desenvolver e administrar a utilização mais otimizada dos recursos hídricos, levando em conta todas as necessidades simultâneas de água e procurando distribuí-la de maneira equânime e satisfatória.

Toda iniciativa voltada a se fazer o uso eficiente da água configura benefícios para a edificação ao longo de toda sua vida útil, principalmente na fase de ocupação onde presume-se o maior consumo (CORRÊA, 2009).

Nesse contexto, é necessário aprofundar estudos relacionados à conservação de água potável (MAY, 2009). Rapoport (2004) destaca alternativas que vem sendo propostas para racionalização do consumo de água, tais como:

- Identificação e eliminação de vazamentos e perdas;
- Instalação de equipamentos hidráulicos sanitários de baixo consumo e alta eficiência;
- Aperfeiçoamento dos procedimentos de medição e cobrança;
- Reúso de águas residuais;
- Aproveitamento de águas pluviais.

Em 1991, o Governo Federal criou o Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H), com a finalidade aumentar a qualidade e produtividade da construção civil, criando e implantando de mecanismos de modernização tecnológica e gerencial. O PBQP-H estimula os produtores de materiais e componentes a desenvolver

programas de qualidade, em articulação com o setor e suas entidades representativas (ANA, 2005).

Philippi (2003) apresenta o reúso de águas residuárias como uma alternativa que tem apresentado bastante eficácia na conservação de recursos hídricos, o qual também é um importante instrumento de gestão ambiental e catalisador de tecnologias já definidas para a sua implantação. Segundo May (2009), tais estímulos de conservação de água potável, como o reúso de águas para a limpeza de vasos sanitários configuraria uma economia de um terço da quantidade necessária para atender o consumo doméstico.

Nessas condições o reúso se mostra, segundo Hespanhol (2002), como uma alternativa plausível para satisfazer demandas menos restritivas, que não exigem potabilidade, poupando as águas de melhor qualidade para usos mais nobres.

3.3.1 Reúso de águas

O reúso da água consiste em encontrar uma nova utilidade para águas que já foram anteriormente utilizadas, para isso respeitando a qualidade mínima requerida por padrões e normas sanitárias. Essas águas já utilizadas são definidas como águas residuárias ou águas servidas.

No meio urbano, o potencial de reúso de águas é muito abrangente e variado. A reutilização de água doméstica surge como uma opção que cada vez mais vem sendo praticada, além de constantemente vir apresentando tecnologias complexas e adequadas para sua adoção, com o objetivo de amortizar os problemas referentes a demanda e a oferta de água (SILVA et al., 2012). No entanto, os usos que exigem água com qualidade elevada podem configurar custos incompatíveis com os benefícios correspondentes, pelo fato de exigirem sistemas de tratamento e de controle mais complexos (HESPANHOL, 2002)

A Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental de São Paulo classifica o reúso de água em duas categorias: reúso potável e reúso nao potável. O reúso potável da água é uma alternativa associada a riscos muito elevados, segundo Pombo (2011), dada a considerável presença de organismos patogênicos e de compostos orgânicos sintéticos na grande maioria dos efluentes disponíveis para reúso. Portanto, a complexidade e os elevados custos associados aos processos e tratamentos levariam à inviabilidade econômica, não havendo, ainda, garantia de uma proteção adequada a saúde dos usuários.

Sendo assim, o reúso potável de águas servidas torna-se praticamente inaceitável, devendo o reúso para fins não potáveis ser avaliado preferencialmente.

Portanto, é essencial conhecer as diversas utilizações da água dentro de uma edificação, assim como estabelecer onde será possível usar este recurso, tendo um plano de gestão como base (BONI, 2009). Os maiores potenciais de reúso não potáveis são os que utilizam águas para:

- Irrigação de parques e jardins públicos, centros esportivos, campos de futebol, quadras de golfe, gramados e áreas ajardinadas de escolas e universidades;
- Irrigação de áreas ajardinadas ao redor de avenidas, rodovias, edifícios públicos, residenciais e industriais;
- Sistemas decorativos aquáticos, tais como fontes e chafarizes, espelhos e quedas d'água;
- Descargas sanitárias em banheiros públicos e em residências, edifícios comerciais e industriais;
- Limpeza de pisos e pátios;
- Lavagem de automóveis, motocicletas, trens e ônibus públicos;
- Limpeza e desobstrução galerias de águas pluviais e redes de esgoto;
- Reserva de proteção contra incêndios;
- Assentamento de poeira em obras;
- Preparação e cura de concreto não-estrutural em canteiros de obra;
- Estabelecimento de umidade ótima em compactação e solos;
- Geração de energia;
- Refrigeração de equipamentos.

Embora usos não potáveis envolvam menores riscos, ANA (2005) ressalta a importância destes estarem associados a um sistema de gestão e monitoramento constante, para assegurar a saúde pública e sua eficiência.

Considerando a qualidade das águas que se pretende o reúso, Pombo (2011) indica que este pode ser realizado das seguintes formas:

i. O efluente pode ser reusado diretamente em outras operações (Figura 1), quando o nível de contaminação não interfere no processo seguinte, conhecido como reúso em cascata;
ii. E indiretamente, que é o reúso do efluente tratado (Figura 2), sendo realizado em processos diferentes da origem.

Seguindo na direção de minimizar a demanda de água e a geração de efluentes, é interessante priorizar o reúso em cascata, pois tanto o consumo de água quanto o volume de efluentes a serem tratados são ao mesmo tempo reduzidos (MIERZWA e HESPANHOL, 2005).

Para serem reutilizadas no segundo caso, as águas servidas devem ser submetidas a tratamentos específicos, cumprindo níveis de tratamento recomendados e critérios de segurança. Os níveis de tratamento, os critérios de segurança a serem adotados e os investimentos associados serão estabelecidos de acordo com a finalidade específica do reúso.

Figura 1 - Esquema representativo de reúso direto (em cascata)
Fonte: Elaborado pelo autor, com base em Pombo (2011)

Figura 2 - Esquema representativo de reúso indireto (após tratamento)
Fonte: Elaborado pelo autor, com base em Pombo (2011)

Existem diversas tecnologias de tratamento de efluentes, que podem ser definidas de acordo com a necessidade, o custo e o objetivo que se deseja atingir. De forma que não há exigência de submeter o efluente a determinados tratamentos quando o seu uso pretendido não o requer (CAL, 2011).

De acordo com a origem do efluente, Otterpohl (2001) classifica as águas residuárias da seguinte maneira:

- Águas cinzas: efluentes provenientes dos chuveiros, banheiras, lavatórios de banheiro e máquinas de lavar roupas. Essas águas são ricas em sabão, sólidos suspensos, matéria orgânica (cabelo, sangue) e podem possuir pequenas quantidades de bactérias;
- Águas negras: efluentes provenientes dos vasos sanitários, bidês, mictórios e pias de cozinha, Essas águas são ricas em matéria orgânica e bactérias com potencial patogênico;
- Águas amarelas: efluente representado somente pela urina;
- Águas marrons: efluente representado somente pelas fezes.

3.3.2 Águas Cinzas

As águas cinzas são, conforme Nunes (2006), os efluentes produzidos em residências, edifícios comerciais, escolas, entre outros, oriundos dos lavatórios, chuveiros, banheiras, tanques e máquinas de lavar roupa. Portanto são águas geradas em pontos diversos, o que as confere características distintas, provocando diferenças em sua constituição.

De acordo com Rapoport (2004), as águas cinzas provenientes da lavagem de roupas podem conter concentrações que vão de 107 UFC/100ml (primeira lavagem), até 25 UFC/100ml (segunda lavagem) de coliformes termotolerantes. A concentração de produtos químicos é alta devido aos sabões empregados que contém sódio, fosfato, boro, surfactantes, amônia e nitrogênio, e também apresentam sólidos em suspensão e alta turbidez.

Os efluentes provenientes de cozinha apresentam partículas de comida, óleo, gordura, coms concentrações elevadas de coliformes termotolerantes (2x109 UFC/100 ml) e detergentes, os quais conferem alcalinidade (RAPOPORT, 2004).

As águas cinzas provenientes de chuveiros e pias de banheiros são consideradas aparentemente como as menos contaminadas, ainda de acordo com Rapoport (2004). A concentração de coliformes termotolerantes pode variar de 104 a 106 UFC/100 ml. Também apresentam produtos químicos, porém estes encontram-se mais diluídos. Os sabões, xampus, pastas de dente e outros produtos químicos são os contaminantes mais comuns.

De acordo com Philippi et al. (2005), a presença de microrganismos patogênicos nas águas cinzas pode estar associada à lavagem das mãos após o uso o vaso sanitário, banho em

crianças, lavagem de vegetais crus etc. A água cinza pode então conter contaminações das mais variadas, pela vasta flexibilidade de uso dos aparelhos sanitários, sendo comum os episódios de usuários que fazem a higienização no banho, após utilizares a bacia sanitária, ou a limpeza de ferimentos nos lavatórios, ou ainda a ocorrência de urina no efluente de banho (ANA, 2005).

Segundo NSW HEALTH (2000), a composição das águas cinzas também varia de acordo com alguns fatores dinâmicos do local, tais como o número de usuários, seus hábitos alimentares, sua distribuição etária e seus padrões de consumo. Além disso, a qualidade da água distribuida também tem influência na qualidade do efluente produzido (CAL, 2011).

Desse modo, para que as águas cinzas possam ser reutilizados é necessário ou desejado lançar mão de tratamentos adequados, incluindo desinfecção, a qual surtirá o efeito pretendido desde que o efluente seja anteriormente tratado, possibilitando a redução da concentração de sólidos suspensos e a redução a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) (NSW HEALTH, 2000).

Dessa forma, as águas cinzas tem recebido especial enfoque como possibilidade para reúso, visto que são menos contaminadas que as águas negras no que tange a inexistência de fezes, urina, papel higiênico, entre outros (RAPOPORT, 2004), de forma que um tratamento não muito complexo poderia ser eficaz no atendimento a demandas pretendidas, como por exemplo o reúso em bacias sanitárias (CAL, 2011).

A utilização de esgotos tem sido adotada ao longo dos séculos em muitas regiões do planeta, onde a água de boa qualidade não está disponível ou facilmente acessível. Dessa forma, águas de menor importância, tais como as residuárias, de drenagem agrícola ou águas de elevada salinidade vem sendo utilizadas especialmente nos cultivos agrícolas e na aqüicultura. No entanto, essa modalidade de utilização não institucionalizada, não planejada pode ser realizada sem qualquer apreço a saúde, ao meio ambiente a ao manejo agrícola adequado (HESPANHOL, 2012).

A água de reúso é uma opção adequada do ponto de vista ambiental, uma vez que contribui para redução da captação e consequentemente, das vazões de lançamento de efluentes. No entanto, para que possa se possa lançar mão, deve-se considerar o fator de saúde pública. Dessa forma, em alguns países do mundo existem padrões para reúso que fazem dessa uma prática comum. Já no território brasileiro, estas práticas são observadas em um estágio preliminar (RAPOPORT, 2004).

3.3.3 Parâmetros de qualidade para Reúso de Águas

Dentre as funções da Organização Mundial da Saúde, está a proposição regulações e de recomendações relacionadas a assuntos globais de saúde pública e de saúde do meio ambiente (WHO, 1990).

Também como função da OMS está o estabelecimento de diretrizes para o uso seguro de esgotos, com base em pesquisas científicas e estudos epidemiológicos, os quais providenciam orientações e informações voltadas a tomada de decisões, objetivando prevenir riscos à saúde pública e ao meio ambiente (HESPANHOL, 2012).

O objetivo do estabelecimentos de diretrizes não é sua aplicação direta e absoluta em todos os lugares do mundo, mas sim de possuirem natureza meramente orientativa, orientadas a estabelecer uma base de riscos aceitáveis, de forma a desenvolver uma referência comum em âmbito nacional, para o desenvolvimento de normas e padrões (HESPANHOL; PROST, 1994).

A Agência Nacional de Águas (ANA) estabelece apenas critérios gerais para reutilização de água potável, mas a normatização específica para os prédios comerciais e residenciais ainda não existe. No tocante à legislação que trata de reúso de água, existe no Brasil, a Resolução n° 54 de 2005, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), que estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, se referindo ao uso planejado de água de reúso, conduzida ao local de utilização, sem lançamento ou diluição prévia em corpos hídricos superficiais ou subterrâneos (BRASIL, 2005).

O Brasil carece, ainda, de normatização e diretrizes que estabeleçam solidamente os conceitos, padrões e limites de reúso das águas cinzas em residências, setor comercial e industrial. Contudo, alguns parâmetros podem ser extraídos das normas apresentadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), mais especificamente, da NBR 13.969:1997 (ABNT, 1997).

A NBR 13.969 (ABNT, 1997) é a norma que apresenta padrões de qualidade para esgotos tratados correspondendo-os a seus usos previstos. Essa norma aborda certos parâmetros para o reúso de tais efluentes, afirmando que deve-se considerar todos os tipos de reúso que o usuário necessitar, recomendando que os usos para todas as áreas devem ser estimados devendo estar de acordo com o volume total de reúso (CAL, 2011).

De acordo com May (2009), além do estabelecimento do sistema de reúso e os usos preconizados para as águas tratadas, a norma também aborda a vazão de águas a serem reutilizadas, o grau de tratamento exigido, o sistema de armazenamento e distribuição e, também, um manual de operação e treinamento dos responsáveis pelo sistema de reúso.

A NBR 13.969 prevê ainda, graus progressivos de tratamento dos esgotos para o reúso, dependendo do nível de exigência de qualidade para a qual este efluente tratado será reusado. Com isso, a norma divide esses efluentes em classes para o reuso (ABNT, 1997):

- Classe 1: lavagem de veículos e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água, com possível aspiração de aerossóis pelo operador incluído chafarizes;
- Classe 2: lavagens de pisos, calçadas e irrigação de jardins, manutenção de lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes;
- Classe 3: reúso nas descargas de vasos sanitários;
- Classe 4: reúso nos pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual.

Na Tabela 1 são descritos alguns parâmetros de controle da água de reúso não potável descritos no item 5.6.4 da NBR 13.969 (ABNT, 1997).

Tabela 1 - Parâmetros de qualidade para água de reúso não potável

Classes	**Parâmetros**					
NBR 13969/1997	Turbidez (uT)	pH	SDT (mg/L)	Cloro residual (mg/L)	Oxigênio dissolvido (mg/L)	Coliformes termotolerantes (NMP/100mL)
Classe 1	< 5	6,0 e 8,0	< 200	0,5 e 1,5	-	< 200
Classe 2	< 5	-	-	< 0,5	-	< 500
Classe 3	< 10	-	-	-	-	< 500
Classe 4	-	-	-	-	> 2,0	< 5000

Fonte: ABNT (1997 apud MAY, 2009)

3.3.4 Aproveitamento de Águas Pluviais

A utilização de sistemas para captação e aproveitamento de águas pluviais é considerada por Nunes (2006) como sendo relativamente simples e econômica, cujo

funcionamento consiste em captação, armazenamento e tratamento, fornecendo água de qualidade compatível com usos menos nobres, os quais não exigem potabilidade.

Nos tempos atuais, o aproveitamento de águas pluviais é praticado em muitas regiões áridas e semiáridas do mundo, inclusive no Brasil (ANA, 2005). O aproveitamento dessa água pode colaborar para a conservação dos recursos hídricos de qualidade superior e para a prevenção da escassez da água potável nos sistemas de distribuição (BEZERRA et al., 2010).

As possibilidades de uso da água de chuva são semelhantes àquelas para reutilização de águas servidas. A água captada poderia ser utilizada em bacias sanitárias, mictórios, limpeza de pisos e paredes, lavagem de veículos, rega de jardim, lavagem de roupas, reserva para combate a incêndios.

Em relação à qualidade da água pluvial, alguns dados foram na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP) referentes a amostras de água provenientes da cobertura de um prédio local, os resultados obtidos são apresentados no Quadro 1. Nas amostras, foram constatadas as seguintes características:

- propriedades de água mole;
- pH entre 5,8 e 7,6;
- $DBO_{5,20}$ menor que 10;
- presença de coliformes totais em mais de 89% das amostras realizadas;
- presença de bactérias: clostrídio sulfito redutor (91% das amostras) que podem provocar intoxicação alimentar, entre outras doenças; enterococos (98% das amostras) que podem provocar diarreia aguda; e pseudomonas (em 17% das amostras) que podem provocar infecções urinárias.

Tendo isso em consideração, o abastecimento de água através da utilização de águas pluviais exige a mesma gestão da qualidade e quantidade requeridas para o reúso de águas cinzas. A utilização de águas pluviais pode ser realizada desde que haja controle de qualidade e inspeções da exigência de tratamento adequado, visando o não comprometimento da saúde de seus usuários, nem tampouco do funcionamento dos sistemas envolvidos (ANA, 2005).

Quadro 1 - Características da água pluvial na Cidade Universitária da USP

Variável	água coletada na tubulação			Reservatório
	Mínimo	Médio	Máximo	Médio
Cor (uH)	20	52,5	218	23,0
Turbidez (UNT)	0,6	1,6	7,1	0,8
Alcalinidade (mg/L)	4	30,6	60	18,8
pH	5,8	7,0	7,6	6,7
Condutividade (mS/cm)	7,0	63,4	126,2	25,7
Dureza (mg/L)	4,0	39,4	68,0	19,6
Cálcio (mg/L)	ND	15,0	24,3	4,7
Magnésio (mg/L)	ND	1,1	2,2	0,5
Ferro (mg/L)	0,01	0,14	1,65	0,06
Cloretos (mg/L)	2,0	8,8	14,0	12,2
Sulfatos (mg/L)	2,0	8,3	21,0	5,1
ST (mg/L)	10	88	320	25
SST (mg/L)	2	30	183	2
SSV (mg/L)	0	15	72	2
SDT (mg/L)	2	58	177	24
SDV (mg/L)	0	39	128	24
OD (mg/L)	1,6	20	42	17,6
DBO (mg/L)	0,4	2,5	5,2	1,5
Nitrato (mg/L)	0,5	4,7	20	3,1
Nitrito (mg/L)	0,1	0,8	3,8	0,1
Coliformes totais[a] em 100ml	<1	>70	>80	>65

Fonte: May (2004 apud SAUTCHÜK et al., 2005)

3.3.5 Parâmetros de qualidade para aproveitamento de Águas Pluviais

Em 2007, foi publicada a NBR 15.527 (ABNT, 2007), que trata do aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis em áreas urbanas. A norma descreve no item 4.5.1 que os padrões de qualidade podem ser definidos de acordo com a utilização prevista. Na Tabela 2 observam-se os parâmetros de qualidade requeridos para uso de águas pluviais abordados.

Diante da grave crise de escassez de água enfrentada no país neste ano, está em tramitação no Senado o projeto de Lei PLS 324/2015, que estabelece para novas construções residenciais, comerciais e industriais, públicas ou privadas, apresentar em seu projeto técnico item referente à captação de água pluvial para reúso não potável, com a intenção de impedir o desperdício de água em atividades que não exijam potabilidade, como as atividades de limpeza. A proposta também exige que as construções atuais sejam adaptadas quando técnica e financeiramente viável (BRASIL, 2015).

Tabela 2 - Parâmetros de qualidade requeridos para uso de águas pluviais

Parâmetros	Faixa
Coliformes totais	Ausência em 100 mL
Coliformes termotolerantes	Ausência em 100mL
Cloro residual livre	0,5 a 3,0 mg/L
Turbidez	< 2,0 uT, para usos menos restritivos < 5,0 uT
Cor aparente	< 15 uH
pH	pH de 6,0 a 8,0

Fonte: ABNT (2007 apud MAY, 2009)

Torna-se necessário desenvolver mecanismos que institucionalizem, regulamentem e incentivem a busca de fontes alternativas de água, estimulando os setores brasileiros que estão iniciando tais práticas e impulsionando aqueles que ainda não iniciaram a adoção dessas medidas (FIORI; FERNANDES; PIZZO, 2006).

Nesse sentido, alguns municípios brasileiros já promulgam legislações referentes a essa problemática, visando regulamentar a busca de fontes alternativas de água nas edificações (GONÇALVES, R., 2006).

O Governo do Estado de São Paulo, através do decreto 45.805 de 15 de Maio de 2001, estabeleceu o Programa Estadual de Uso Racional da Água (PURA), ferramenta de incentivo ao uso racional e eficiente dos recursos hídricos, promovendo a busca por alternativas tecnológicas e a aplicação de programas de aproveitamento de água nas regiões críticas (RAPOPORT, 2004).

De acordo com May (2009), algumas cidades e Estados brasileiros já desenvolveram leis que regulamentam a captação das águas pluviais com fins de proporcionar a conservação de água potável e, ainda, reduzir problemas de inundações nas áreas altamente pavimentadas e impermeabilizadas.

Na cidade de São Paulo, a Lei n° 13.276 de 4 de janeiro de 2002, regulamentada pelo Decreto n° 41.814, de 16 de março de 2002, obriga a construção de pequenos reservatórios de contenção de águas pluviais nas edificações (SÃO PAULO, 2002). Esta lei descreve que obras realizadas a partir de 4 de janeiro de 2002 devem implantar o sistema conhecido como "piscininhas" quando a área impermeabilizada for superior a 500 m^2. E também para reformas, nas quais deverá ser feita a instalação das "piscininhas" quando houver aumento de área impermeabilizada igual ou superior a 100 m^2 (MAY, 2009).

Já em Curitiba, existe a Lei n^o 10.785 de 18 de setembro de 2003 que regulamenta a criação do Programa de Conservação e Uso Racional de Águas em Edificações (CURITIBA,

2003), que tem por objetivo conscientizar os usuários da relevância da conservação da água potável, instituindo medidas que proporcionem sua conservação, seu uso racional e a utilização de fontes alternativas para a captação de água em novas edificações (MAY, 2009).

Também na cidade de Curitiba, foi publicado em 2007 o Decreto Municipal 212/2007 (CURITIBA, 2007), para efetivar o Decreto Municipal 293/2006, que trata do aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis (CURITIBA, 2006).

No município de Maringá, a Lei n° 6345 de 15 de outubro de 2003, institui o programa de reaproveitamento de águas de Maringá (MARINGÁ, 2003), através do qual possibilita aos munícipes a instalação de reservatórios para a contenção de águas servidas; a captação de águas das chuvas, e dispositivos para o aproveitamento dessas águas na descarga de vasos sanitários, lavagem de mictórios, lavagem de pisos, terraços dentre outras operações (MAY, 2009).

Mais recentemente, em 2011, na cidade de Niterói/RJ, a Lei Municipal 2.856/11 exige que as novas edificações com mais de 500 metros quadrados a terem um sistema de reúso de águas cinzas e pluviais (NITERÓI, 2011). De acordo com Bezerra et al. (2010), diversas outras cidades brasileiras também estão elaborando legislações semelhantes.

Além dos incentivos legais, foi fundada em 1999 no Brasil a Associação Brasileira de Captação e Manejo de Água de Chuva (ABCMAC), uma entidade sem fins lucrativos com a missão de propulsionar no país ações voltadas ao aproveitamento racional e eficiente da água pluvial.

Também no Brasil, existe o Centro Internacional de Referência em Reúso de Água (CIRRA), uma entidade sem fins lucrativos, vinculado ao Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Este privilégio institucional proporciona integrar-se a uma infraestrutura científica atualizada, formada por agentes qualificados. Dessa forma, o CIRRA tem por objetivo o desenvolvimento de pesquisas e tecnologias apropriadas, promover treinamento e divulgação de informações com vistas em propulsionar, institucionalizar e regulamentar as práticas de reúso de água no país (CIRRA, 2015).

4 METODOLOGIA

A primeira etapa desenvolvida neste trabalho baseou-se na pesquisa bibliográfica de conceitos, definições e outros aspectos importantes acerca do tema, com o objetivo de levantar o conhecimento já produzido na área, a partir da consulta de artigos, revistas científicas e outros trabalhos acadêmicos.

Posteriormente, foram consultadas outras publicações científicas, catálogos de produtos e fornecedores e informações através da internet, diagnosticando as tecnologias e alternativas de conservação de água existentes e viáveis que possam contribuir com a sustentabilidade na universidade.

Em seguida, algumas considerações e proposições foram levantadas a partir do que havia sido obtido ao longo do trabalho, apurando o que fosse mais indicado, de forma geral, para inserção em novas construções ou construções já existentes no câmpus da Unesp de Rio Claro/SP.

É importante ressaltar que esta pesquisa está vinculada com o grupo de pesquisa ACert - Auditoria, Certificação e Gerenciamento Socioambiental (CNPq/UNESP), na linha de pesquisa de construção sustentável (certificações e práticas), o qual acompanhou todo o desenvolvimento do projeto.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 TECNOLOGIAS E ALTERNATIVAS DE CONSERVAÇÃO DE ÁGUA

5.1.1 Equipamentos Hidrossanitários

Um dos principais fatores a determinar o consumo de água ao longo da vida útil das edificações é a especificação das louças, metais sanitários e equipamentos hidráulicos nelas utilizados (ANA, 2005).

Dessa forma, é altamente interessante que equipamentos e dispositivos economizadores de água sejam previstos nas edificações universitárias, considerando-se preferencialmente as tecnologias e alternativas cujos componentes apresentem maior durabilidade, de forma a viabilizar os custos provenientes de manutenção.

Atualmente, existe no mercado brasileiro uma grande variedade de marcas internacionais e nacionais de aparelhos sanitários economizadores de água, que têm como objetivo atender às necessidades dos usuários, promovendo o uso racional da água para as atividades a que se destinam.

A seguir são apresentadas algumas alternativas e tecnologias em aparelhos sanitários economizadoras de água disponíveis no mercado brasileiro, suas principais especificações, vantagens e desvantagens.

5.1.1.1 Bacias sanitárias

Bacias sanitárias com válvulas de duplo acionamento

O duplo acionamento oferece ao usuário a possibilidade de escolha entre dois volumes diferentes de descarga: um de 6 L e outro de 3 L (ALBUQUERQUE NETO; JULIO, 2014), como mostra a Figura 3. Este equipamento possibilita a utilização da água de acordo com a necessidade específica, ou seja, no caso da bacia sanitária ter uma quantidade menor ou maior de dejetos líquidos e sólidos.

Essa tecnologia possibilita uma economia de aproximadamente 37,5% em comparação ao aparelho convencional, considerando-se que, de acordo com Albuquerque Neto e Julio (2014), este consome cerca de 6 L por acionamento, e que as descargas para dejetos líquidos

correspondem a 80% dos acionamentos. Tal consideração será a mesma utilizada nos itens subsequentes.

Bacias sanitárias de descarga econômica

O acionamento da válvula de descarga libera apenas 2 L de água. Nesse caso, os dejetos são despejados diretamente na tubulação de esgoto do edifício, através de um basculante, auxiliado pela própria dinâmica da água (ALBUQUERQUE NETO; JULIO, 2014). Além disso, a lâmina d'água que impede a passagem dos gases e de insetos provenientes das instalações de esgoto requer apenas 200 mL.

Entretanto, de acordo com Oliveira (1999 apud Nunes, 2006), a minimização das vazões para volumes menores que 6 L pode ocasionar inconvenientes nos ramais e coletores da edificação, em decorrência da menor altura da lâmina d'água e da reduzida capacidade de geração de ondas que fazem o transporte dos dejetos.

Essa tecnologia possibilita uma economia de aproximadamente 67% em comparação ao aparelho convencional, utilizando-se da mesma consideração exposta no item anterior.

Bacias sanitárias com segregação de urina

Sua função é conduzir a urina (águas amarelas) para um fim diferente daquele destinado às fezes e ao papel higiênico (águas negras), como mostra a Figura 4. A segregação ocorre por meio de dois compartimentos separados, sendo um específico para urina e outro para os dejetos sólidos, contando então com uma válvula de descarga dupla (descarga longa de 4 L a 6 L, e descarga curta de 0,15 L a 0,2 L) (ALBUQUERQUE NETO; JULIO, 2014).

Essa tecnologia é indicada prevendo o tratamento e posterior utilização das águas amarelas, e pode atingir a economia de cerca de 95% em comparação ao aparelho convencional, utilizando-se da mesma consideração exposta no primeiro item.

Bacias sanitárias de descarga a vácuo

Assim como nos sanitários dos aviões, o vaso sanitário a vácuo (Figura 5) coleta os dejetos através de uma central de vácuo automatizada (HAFNER, 2007). Nesta bacia, o consumo é de apenas 1,2 L de água por descarga, que é usada apenas para lavagem da

superfície interna e do poço da bacia, pois quando a descarga é acionada, a diferença de pressão suga o efluente em direção à rede coletora.

De acordo com Alves et al. (2006), o sistema a vácuo exige quantias elevadas de energia elétrica para que as bombas de vácuo e os outros componentes funcionem, em torno de 3 W.h por descarga. Portanto, apesar do reduzido consumo de água, a utilização desse sistema em situações banais pode não ser interessante, devido ao elevado consumo de energia elétrica e aos custos de implantação e manutenção da central de vácuo do sistema (HAFNER, 2007).

Essa tecnologia possibilita uma economia de aproximadamente 80% em comparação ao aparelho convencional, utilizando-se da mesma consideração exposta no primeiro item.

Bacia sanitária acoplada ao lavatório por bombeamento

Nesse sistema, a água utilizada no lavatório passa por um filtro e é armazenada em baixo da cuba. Quando a descarga da bacia é acionada, a água armazenada é bombeada em direção ao reservatório da bacia, que a utilizará na descarga seguinte.

Tomando a hipótese de que esse volume será suficiente para a limpeza da bacia, dispensando a água da rede de distribuição, essa tecnologia possibilita uma economia de até 100% em comparação ao aparelho convencional, utilizando-se da mesma consideração exposta no item anterior.

Bacia sanitária acoplada ao lavatório por gravidade

Já no sistema de acoplamento por gravidade a água utilizada no lavatório é conduzida pela gravidade e armazenada diretamente no tanque da bacia sanitária, para ser usada na descarga (Figura 6).

Contudo, algumas desvantagens levantadas por Hafner (2007) na operação e manutenção podem ser citadas, como o risco de proliferação de microrganismos no efluente armazenado, principalmente em períodos longos de não utilização da descarga, uma vez que esse conjunto não contempla qualquer sistema de tratamento. Essa utilização é conhecida como reúso em cascata, que será melhor abordada na seção 5.1.2.2.

Semelhante à tecnologia descrita anteriormente, essa pode chegar à economia de 100% quando comparada ao aparelho convencional, utilizando-se da mesma consideração exposta no primeiro item.

Figura 3 - Modelo de válvula de duplo acionamento

Fonte: Docol (2015)

Figura 4 - Modelo de bacia sanitária com segregação de urina

Fonte: Rich Earth Institute (2015)

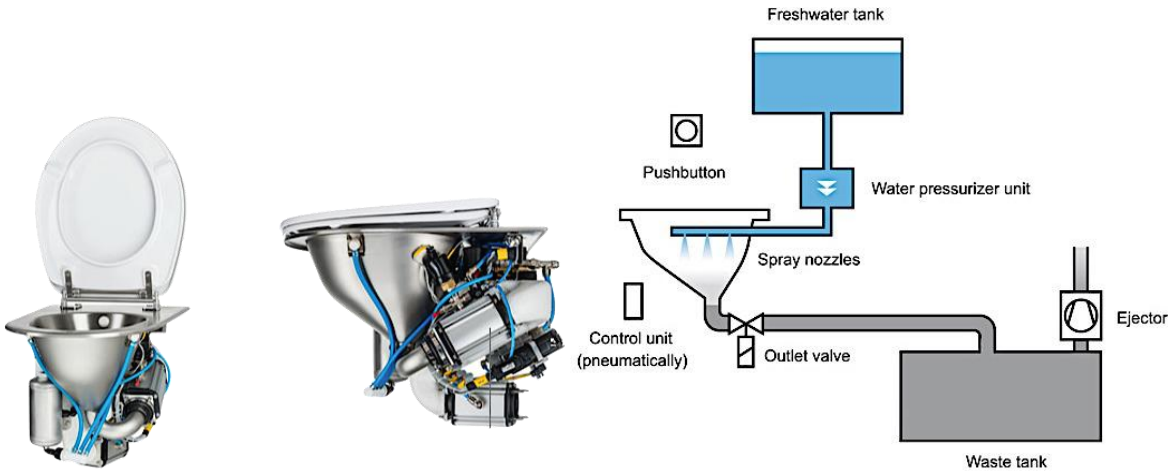

Figura 5 - Modelo de bacia sanitária a vácuo (esq.) e seu princípio de funcionamento (dir.)

Fonte: Evac Train (2015)

Figura 6 - Modelo de bacias sanitárias acopladas ao lavatório por gravidade
Fonte: B&Q (2015) e Roca (2015)

5.1.1.2 Mictórios

Mictório de funcionamento por sensor

A descarga neste tipo de mictório é acionada automaticamente por sensor (Figura 7), não havendo a possibilidade do usuário aumentar ou reduzir a quantidade de água liberada, que estará pré-determinada em 1,2 L em média, e será descarregada no momento em que o usuário se afasta do mictório (ALBUQUERQUE NETO; JULIO, 2014).

Além da vantagem econômica, o sistema favorece a higiene do usuário, visto que este não requer contato direto com algum componente. E no caso de válvulas eletrônicas embutidas na parede, eleva-se a resistência a atos de vandalismo, tornando o sistema apropriado para locais de uso público e coletivo, como os edifícios universitários.

A alimentação do sistema pode ser feita através de baterias alcalinas de 6 e 9 VDC, ou pelo próprio sistema elétrico da edificação, conforme as características físicas do local onde o equipamento será instalado (ANA, 2005).

Essa tecnologia possibilita uma economia de até 80% em comparação aos mictórios e vasos sanitários convencionais, considerando-se que, de acordo com Albuquerque Neto e Julio (2014), o uso de descargas para dejetos líquidos consome 1,2 L por acionamento no mictório convencional e 6 L por acionamento no vaso sanitário convencional. Tal consideração será a mesma utilizada nos itens subsequentes.

Mictório de funcionamento hidromecânico

A descarga destes mictórios se dá por um dispositivo mecânico acionado por meio de um leve toque, o qual libera um fluxo de água programado para cessar após determinado tempo, geralmente de 6 a 10 segundos, correspondendo a descargas de, em média, 1,2 L por acionamento (ALBUQUERQUE NETO; JULIO, 2014).

Essa tecnologia possibilita uma economia de até 80%, utilizando-se da mesma consideração exposta no item anterior.

Mictorio com válvula temporizada

Os mictórios com válvulas temporizadas de descarga operam com acionamento programado para determinado intervalo (HAFNER, 2007). O temporizador eletrônico permite a regulagem tanto do intervalo entre as descargas quanto do tempo de duração dessas (ANA, 2005).

Este sistema pode ser empregado em mictórios com alta frequência de uso, porém possui a desvantagem de possibilitar o desperdício de água, por não diferenciar picos e vales de fluxo de usuários, sendo acionado independentemente do mictório estar sendo usado ou não.

Mictório sem água

Esse sistema (Figura 9) dispõe de um cartucho que contém um líquido selante. Esse líquido tem uma composição predominantemente alcoólica, que lhe confere densidade menor que a da urina, e portanto permanece em suspensão na mesma, deixando-a passar pela tubulação e depois vedando a abertura, impedindo a saída de odores. A urina é conduzida por gravidade para a rede de coleta, sem a necessidade de água.

O cartucho mencionado deve ser descartado e substituído periodicamente, devido a obstrução de suas cavidades pelo material bioquímico acumulado em seu interior, bem como pelo carreamento do líquido responsável pela selagem (ALBUQUERQUE NETO; JULIO, 2014).

Por não necessitar de água, essa tecnologia possibilita uma economia de 100%, utilizando-se da mesma consideração exposta no primeiro item.

Figura 7 - Modelo de válvula de sensor para mictório

Fonte: Fabrimar (2015)

Figura 8 - Modelo de válvula de funcionamento hidromecânico para mictório

Fonte: Docol (2015)

Figura 9 - Modelo de mictório sem água

Fonte: Urimat (2015)

Mictório feminino

O mictório feminino dispõe das mesmas características operacionais dos mictórios masculinos, porém com design anatomicamente adaptado, como mostra a Figura 10.

Considerando que o uso de descargas para dejetos líquidos é de 80%, e também considerando o exposto no primeiro item, essa tecnologia acaba por reduzir o consumo de água também nos banheiros femininos e unissex.

Mictório com lavatório acoplado

Estes modelos de mictórios contam com um lavatório acoplado na parte superior (Figura 11), que possibilita a lavagem das mãos logo após o uso. Dessa forma, "assim que a torneira é acionada, a água escorre para a parte de baixo da estrutura e é reaproveitada como descarga" (ALBUQUERQUE NETO; JULIO, 2014).

Por prescindir da descarga de água da rede de distribuição, essa tecnologia possibilita uma economia de até 100%, utilizando-se da mesma consideração exposta no primeiro item.

Figura 10 - Modelo de mictório feminino
Fonte: IKZ Haustechnik (2015)

Figura 11 - Modelo de mictório com lavatório acoplado
Fonte: Stand (2015)

5.1.1.3 Torneiras

Torneira com funcionamento hidromecânico

O fluxo de água liberado por essas torneiras é acionado através de um leve toque em uma válvula mecânica (Figura 12), que se fecha automaticamente após um determinado período (ALBUQUERQUE NETO; JULIO, 2014). A temporização do ciclo de funcionamento induz a redução do uso de água, desde que devidamente programado para cessar o fluxo após um curto período de tempo. Entretanto, ANA (2005) aponta que esse período não deve ser muito reduzido, evitando que o usuário precise acioná-lo muitas vezes para uma única lavagem, além de ocasionar certo desconforto.

Além disso, a alta freqüência de uso e ações de vandalismo podem provocar problemas de desregulagem do tempo de vazão programado (NUNES, 2006).

Essa tecnologia possibilita uma economia de cerca de 48%, segundo ANA (2005), em comparação ao aparelho convencional.

Torneira com funcionamento hidromecânico por válvula de pé

No funcionamento deste sistema, o fluxo da água ocorre durante o tempo em que o usuário permanecer pressionando com o pé um dispositivo de acionamento (Figura 13) instalado no nível do chão em frente à torneira (SCHMIDT, 2004).

É indicado a ambientes onde não deve haver contato direto das mãos na torneira do lavatório, e deve ser utilizado somente onde se espera utilização consciente por seus usuários, sendo adequado para as unidades laboratoriais dos edifícios universitários, que seguem protocolos de segurança e possuem acesso mais restrito.

Torneira eletrônica com sensor de proximidade

Os aparelhos dotados deste mecanismo (Figura 14) possuem um sensor de presença que é acionado ao detectar a presença do usuário, liberando a água para o uso, e interrompendo o fornecimento assim que o usuário afasta-se do sensor.

A alimentação elétrica do sistema se dá pelo uso de baterias ou pela rede de distribuição elétrica do local (127/220V), podendo esse sistema, de acordo com Schmidt

(2004), estar localizado no corpo da torneira ou na parede. ANA (2005) considera que uma solução adequada às ações de vandalismo seria a opção pelo sensor no corpo da torneira.

A aplicação dessa tecnologia é indicada em locais onde exista grande probabilidade das válvulas das torneiras serem deixadas abertas (MATEUS, 2004), como no caso de blocos universitários com maior circulação. Entretanto, como o funcionamento dessas torneiras depende de energia elétrica, o uso com frequência naturalmente provoca um aumento significativo no consumo de energia elétrica (NUNES, 2006).

Essa tecnologia possibilita uma economia de até 80% (DECA, 2015) em comparação ao aparelho convencional.

Figura 12 - Modelo de torneira com funcionamento hidromecânico

Fonte: Docol (2015)

Figura 13 - Modelo de válvula de pé para torneira

Fonte: Meber (2015)

Figura 14 - Modelos de torneiras eletrônicas com sensor de proximidade no corpo (esq.) e na parede (dir.)

Fonte: Fabrimar (2015)

5.1.1.4 Chuveiros e duchas

Chuveiros e duchas com válvula de fechamento automático

Esses aparelhos (Figura 15) possuem o mesmo princípio de funcionamento das torneiras hidromecânicas, porém com um ciclo de ação temporal de 35 segundos em média (NUNES, 2006) ou seja, possuem uma válvula de fechamento automático, fazendo com que os mesmos sejam fechados após o referido período de uso. Esses temporizadores podem ser utilizados tanto em duchas com mistura de água fria e água quente, bem como em chuveiros elétricos (ALBUQUERQUE NETO; JULIO, 2014).

Essa tecnologia possibilita uma economia de 30% a 62% (DECA, 2015), dependendo da pressão da tubulação local, em comparação ao aparelho convencional. Tal redução é de grande importância considerando-se que os chuveiros são responsáveis por consumos elevados em vestiários de uso coletivo, como no caso dos ginásios universitários.

Chuveiros e duchas com restritor de vazão

Uma intervenção possível em chuveiros e duchas de ambientes sanitários públicos ou residenciais é a utilização de um restritor de vazões excessivas (Figura 16), normalmente empregado em condições de alta pressão, possibilitando a regulagem da vazão a níveis de conforto e economia.

Os restritores são disponíveis em versões de 8, 14 e 16 L/min devendo ser aplicados em locais com pressão acima de 10 mca. Há restritores de vazão que reduzem a vazão em duchas de 20 a 25 L/min para 14 L/min (DECA, 2015).

Entretanto, os restritores de vazão tem como desvantagens a impossibilidade de regulagem da vazão quando há diferença de pressão entre água quente e fria, além de sofrerem entupimentos com certa facilidade, necessitando de desmontagem e limpeza periódica (ANA, 2005).

Essa tecnologia possibilita uma economia de até 80% (DECA, 2015) em comparação ao aparelho convencional.

Figura 15 - Modelo de válvula de fechamento automático para ducha e chuveiro
Fonte: Docol (2015)

Figura 16 - Modelo de restritor de vazão para ducha e chuveiro
Fonte: Docol (2015)

5.1.1.5 Reguladores de vazão

Os reguladores de vazão são dispositivos internos que muitas vezes passam desapercebidos pelos usuários, contudo possibilitam uma significativa redução de consumo (HAFNER, 2007).

Restritor de vazão constante

Além dos restritores de vazão para chuveiros, conforme descrito acima, estão também disponíveis no mercado os restritores de vazão tanto para torneiras como também para misturadores (Figura 17), que devem ser utilizados apenas para pressões superiores a 10 mca (ALBUQUERQUE NETO; JULIO, 2014).

Quando regulados adequadamente, possibilitam reduções bastante significativas de consumo, principalmente quando instalados junto as torneiras de funcionamento hidromecânico (ANA, 2005).

Essa tecnologia possibilita uma economia de 60% (DECA, 2015) em comparação ao aparelho convencional.

Pulverizador

O pulverizador (Figura 18) é um pequeno dispositivo acoplado na saída de água da torneira, que converte o jato de água em um feixe de pequenos jatos, sem a necessidade de introdução de ar. (ALBUQUERQUE NETO; JULIO, 2014). De acordo com Hafner (2007) os pulverizadores diminuem a vazão para 0,06 L/s a 0,12 L/s.

Arejador

Um arejador é um dispositivo que pode ser utilizado tanto em torneiras como em chuveiros (Figura 19), com o objetivo de introduzir ar à água, permitindo a sensação de maior volume (OLIVEIRA; HENKES, 2015) de forma que o usuário não sinta tanta diferença de vazão durante o uso. O equipamento direciona o fluxo de água, de forma a evitar a dispersão do jato, além de reduzir os espirros e respingos de água (HAFNER, 2007). Sua aplicação é indicada principalmente para torneiras de cozinhas e lavatórios onde não sejam necessários grandes volumes de água (MATEUS, 2004).

Ainda de acordo com Hafner (2007), o arejador é um equipamento simples e bastante eficiente, de custo muito reduzido, e aplicação simples sem exigência de manutenção.

De acordo com a NBR 10.281:2003 (ABNT, 2003), essa tecnologia possibilita uma economia de 50% em comparação ao aparelho convencional.

Arejador de vazão constante

O arejador de vazão constante (Figura 20) possui, além das características de um arejador convencional, um fluxo contínuo e limitado à vazão de 6 litros por minuto, mesmo com o registro aberto ao máximo, reduzindo o consumo em aproximadamente 30% (ANA,

2005) quando comparado com arejadores convencionais, ou seja, uma economia de cerca de 65% em relação ao aparelho convencional sem arejador.

Figura 17 - Modelo de restritor de vazão constante
Fonte: Censi (2015)

Figura 18 - Modelo de pulverizador
Fonte: Sustentarqui (2015)

Figura 19 - Modelo de arejador e seu princípio de montagem
Fonte: Deca (2015) e Meber (2015)

Figura 20 - Modelo de arejador de vazão constante e seu princípio de montagem
Fonte: Fabrimar (2015) e The Family Handyman (2015)

As principais características, vantagens e desvantagens das tecnologias e alternativas levantadas de equipamentos sanitários economizadores estão condensadas no Quadro 2.

Quadro 2 - Tecnologias e alternativas em equipamentos sanitários economizadores

TECNOLOGIA/ALTERNATIVA		PRINCIPAL CARACTERÍSTICA	PRINCIPAL VANTAGEM	PRINCIPAL DESVANTAGEM
BACIAS	Bacias sanitárias com válvulas de duplo acionamento	Possibilidade de selecionar uma descarga mais volumosa (6 L) e outra menos (3 L)	Possibilita a utilização da água de acordo com a necessidade específica	Não informado
	Bacias sanitárias de descarga econômica	O acionamento da válvula de descarga libera apenas 2 L de água	Dejetos despejados diretamente no canal do esgoto por meio da própria dinâmica da água	Podem ocorrer problemas de autolimpeza
	Bacias sanitárias com segregação de urina	Conduzem a urina para um destino diferente ao das fezes	Indicada prevendo o tratamento e posterior utilização das águas amarelas	Não informado
	Bacias sanitárias de descarga a vácuo	O consumo é de apenas 1,2 L de água para cada descarga, necessário apenas para limpar a superfície.	Consumo de água extremamente baixo	O consumo elevado de energia elétrica, o investimento e a manutenção exigida pelo sistema de vácuo
	Bacia sanitária acoplada ao lavatório por bombeamento	Água utilizada no lavatório passa por um filtro e é bombeada para o tanque da bacia sanitária quando acionada a descarga	Dispensa a água da rede de distribuição	Volume disponível pode não ser suficiente de acordo com a necessidade específica
	Bacia sanitária acoplada ao lavatório por gravidade	A água utilizada no lavatório é conduzida diretamente para o tanque da bacia sanitária, para ser usada na descarga	Dispensa a água da rede de distribuição	Risco de proliferação de microrganismos devido a ausência de tratamento
MICTÓRIOS	Mictório de funcionamento por sensor	A descarga é acionada automaticamente por sensor, com volume pré-determinado de 1,2 L em média	Volume de descarga fixo, além de ser mais higiênico e resistente	Consumo de energia elétrica
	Mictório de funcionamento hidromecânico	O fluxo d'água é interrompido automaticamente após um determinado tempo	Volume de descarga fixo	Não informado
	Mictório com válvula temporizada	Válvulas de descarga acionadas automaticamente após determinado intervalo de tempo	Ideal para mictórios com alta frequência de uso	Válvula acionada independentemente do mictório estar sendo usado ou não.
	Mictório sem água	Dispõe de componentes que permitem a passagem da urina para a rede coletora sem a necessidade de água	Prescinde de utilização de água em sua operação	O sistema requer manutenção e substituição periódica de componentes
	Mictório feminino	Mictório anatomicamente adaptado para utilização feminina	Pretende evitar o desperdício de água também em banheiros femininos e unissex	Não informado
	Mictório com lavatório acoplado	Mictório com um lavatório projetado na parte de cima, que reutiliza a água da lavagem das mãos na descarga	Prescinde da descarga de água da rede de distribuição	Não informado

Quadro 2 - Tecnologias e alternativas em equipamentos sanitários economizadores (continuação)

TECNOLOGIA/ALTERNATIVA		PRINCIPAL CARACTERÍSTICA	PRINCIPAL VANTAGEM	PRINCIPAL DESVANTAGEM
TORNEIRAS	Torneira com funcionamento hidromecânico	A água é interrompida automaticamente após um período predeterminado	Reduzido consumo de água em razão da temporização do fluxo	Apresentam problemas de desregulagem ao longo do tempo
	Torneira com funcionamento hidromecânico por válvula de pé	O fluxo da água é liberado enquanto o usuário permanece com o pé sobre a válvula de acionamento instalado no piso	Prescinde de contato direto das mãos na torneira do lavatório	Indicado apenas onde se espera utilização consciente e correta
	Torneira eletrônica com sensor de proximidade	Possuem um sensor de presença que é acionado ao detectar que o usuário está próximo	O fluxo de água é interrompido assim que o usuário se afasta do sensor	Utilização frequente pode acarretar um aumento considerável nas despesas de energia elétrica
	Torneiras de menor ângulo de abertura	Permitem o fornecimento e o corte do fluxo de água mais rapidamente	Pressupõe-se menores desperdícios	Não informado
CHUVEIROS E DUCHAS	Chuveiros e duchas com válvula de fechamento automático	Possuem uma válvula de fechamento automático que interrompe o fluxo de água após cerca de 35 segundos	Reduz de forma significativa o consumo em locais com uso frequente, como vestiários	Não informado
	Chuveiros e duchas com restritor de vazão	Possuem um restritor de vazões excessivas que possibilita a redução da vazão a um nível confortável e econômico	Redução do consumo expressiva em locais com pressão superior a 10 mca	Complicações nos casos com diferença na pressão entre as águas frias e quentes e entupimentos
REGULADORES DE VAZÃO	Restritor de vazão constante	Restringem a vazão de torneiras e misturadores em tubulações com pressão superior a 10 mca	Reduções muito significativas principalmente quando usado em conjunto com outra alternativa ou tecnologia economizadora	Não informado
	Pulverizador	Altera o jato de água para um feixe de jatos menores	Diminuem a vazão para 0,06 L/s a 0,12 L/s	Não informado
	Arejador	Mistura ar à água, reduzindo a vazão e dando a sensação de maior volume, além de direcionar o fluxo, diminuindo desperdícios.	É um dispositivo simples, que garante eficiência a um custo reduzido	Não informado
	Arejador de vazão constante	Além das características de um arejador convencional, limita a vazão a 6 litros por minuto	Incrementa a redução de consumo do arejador convencional	Não informado

Fonte: Elaborado pelo autor, com base em Albuquerque Neto e Julio (2014), Alves et al. (2006), ANA (2005), Deca (2015), Hafner (2007), Nunes (2006), Oliveira e Henkes (2015) e Schmidt (2004)

5.1.2 Sistema de Coleta e Reúso de Água Cinza

De acordo com Santos, D. (2002) e ANA (2005), a configuração básica de um sistema de coleta e reúso de águas cinzas seria: o sistema de coleta de água cinza, o sistema predial de condução de água (ramais, tubos de queda e condutores), a unidade de tratamento de água cinza (por exemplo, gradeamento, decantação, filtro e desinfecção) o reservatório de armazenamento de água tratada, e a rede de distribuição de água tratada, podendo ser necessário um sistema de recalque e um reservatório superior para a distribuição por gravidade aos seus ponto de consumo. Esse esquema é apresentado na Figura 21.

Figura 21 - Configuração básica do sistema de coleta e reúso de águas cinzas

Fonte: ANA (2005)

Os componentes do sistema podem apresentar tecnologias e alternativas variadas conforme os objetivos de cada projeto, como serão apresentadas a seguir. Para melhor elucidação, estas foram agrupadas ao longo deste trabalho em quatro etapas:

1. Coleta
2. Reúso em cascata
3. Reúso após tratamento
4. Armazenamento e distribuição

5.1.2.1 Coleta

Segundo Sella (2011), o sistema de coleta das águas cinzas deve seguir às recomendações de uma norma, por exemplo a NBR 8.160:1999, que estabelece exigências e recomendações referentes ao projeto, execução e manutenção dos sistemas de esgoto, assegurando a saúde pública dos usuários (ABNT, 1999, p. 1)

Pontos de coleta

Segundo ANA (2005), "os pontos de coleta de águas cinzas devem ser determinados em função do tipo de água cinza a ser coletada e em função da configuração hidráulica do edifício". Em uma edificação de qualquer tipo, as fontes típicas de águas cinzas são aquelas que provêm do uso de chuveiros, lavatórios, pias, tanques e máquinas de lavar louças e roupas. Já nos casos de blocos universitários didáticos e administrativos, presume-se que a utilização de equipamentos de lavagem de roupas inexistirá, de forma que essa fonte será desconsiderada ao longo deste trabalho.

Nas instalações universitárias, é presumido que o maior consumo, e portanto maior geração de água servida, se dará nos banheiros, vestiários e refeitórios, de forma que as principais fontes de água cinza nesse caso seriam, respectivamente, os lavatórios, as duchas e chuveiros, e as pias de cozinha.

Tubulações independentes

Como relatado anteriormente, as águas oriundas dessas fontes têm como contaminantes mais comuns os sabões, xampus, pastas de dente e alguns outros produtos químicos (ver 3.3.2). É afirmado por alguns autores que as águas cinzas provenientes de chuveiros e lavatórios de banheiros são consideradas aparentemente como as menos contaminadas, enquanto que as águas cinzas provenientes da cozinha apresentam partículas de comidas, óleos, gorduras e detergentes, tornando-as mais poluídas que as demais.

Dessa forma, é interessante que a coleta das águas cinzas provenientes da cozinha dos refeitórios compreendam tubulações separadas das águas cinzas de demais fontes, para que sejam conduzidas a tratamentos diferenciados.

Das tubulações de coleta, a água pode seguir diretamente para o reúso em cascata (que prescinde de tratamento), ou para o sistema de tratamento, ou para reservatórios de acumulação de águas cinzas brutas.

Reservatório de acumulação de águas cinzas

As águas cinzas provenientes dos pontos de coleta podem ser encaminhadas e armazenadas em reservatórios de acumulação, para que se atinja um melhor balanço entre o volume gerado e a demanda a ser atendida nas próximas etapas (MAY, 2009).

Surendran e Wheatley (1998 apud JEFFERSON et al., 1999) mostraram que, em um dia, o volume produzido de águas cinzas é próximo do volume requerido pelas descargas dos vasos sanitários. Contudo, May (2009) afirma que "as águas cinzas são geradas num período curto de tempo enquanto que o uso das águas cinzas para a descarga do vaso sanitário ocorre de maneira distribuída ao longo do dia", de forma que os períodos da tarde e da madrugada sofreriam com um déficit de água, o qual poderia ser minimizado com a utilização do reservatório de acumulação de águas cinzas. Apesar de proporcionarem maior estabilidade no sistema, seria necessário uma maior disposição de espaço físico para a instalação do reservatório. No entanto, nas instalações universitárias não é previsto que se ocorra esse problema, uma vez que o horário de operação dos blocos geralmente não compreende períodos de madrugada.

Dixon e Butler (1999 apud RAPOPORT, 2004) analisaram o processo de armazenagem de águas cinzas brutas e confirmaram a ocorrência de processos físicos e biológicos nestas, como sedimentação dos sólidos em suspensão, crescimento de bactérias aeróbicas, liberação de gases a partir de matéria orgânica sedimentada e aeração atmosférica. Com isso, observaram que a armazenagem por 24h poderia melhorar a qualidade da água devido ao rápido decaimento de parâmetros orgânicos. Porém, a armazenagem por cerca de 48h levaria a redução de oxigênio dissolvido, a qual poderia ocasionar inconvenientes estéticos nessas águas.

5.1.2.2 Reúso direto

Conforme mencionado na seção 3.3.1, a prática de reúso de água pode ser implantada de duas maneiras distintas (MIERZWA, 2002): através de reúso direto (em cascata) ou indireto (após tratamento do efluente).

Na modalidade de reúso direto, o efluente produzido por uma determinada operação é diretamente usado em uma outra operação, por possuir características compatíveis com os parâmetros de qualidade de água exigidos para aquela finalidade.

A identificação da atividade na qual o reúso em cascata será aplicado é de extrema importância, devendo "existir uma relação direta entre quantidade e qualidade do efluente disponível, com a demanda e os padrões de qualidade exigidos" (MIERZWA; HESPANHOL, 2005). Devido a tais exigências, são poucas as operações que produzem efluentes apropriados para demais usos, sendo essa modalidade de reúso bastante limitada.

Alguns exemplos de reúso direto já foram dados anteriormente, nas seções 5.1.1.1 e 5.1.1.2, no caso das bacias e mictórios que reutilizam a água originada nos lavatórios. Uma outra possibilidade de reúso em cascata nas instalações universitária é o bombeamento para irrigação de áreas verdes. Entretanto, a irrigação por meio de reúso direto deve ser preferencialmente subterrânea, para evitar contato humano com a água, atentando-se aos parâmetros exigidos por Norma (ver 3.3.3).

Após avaliadas e implantadas todas as alternativas compatíveis com reúso em cascata, deve-se considerar a opção pelo reúso de efluentes tratados (MIERZWA; HESPANHOL, 2005).

5.1.2.3 Reúso indireto

A modalidade de reúso mais discutida atualmente corresponde ao reúso indireto de águas, que consiste na utilização dos efluentes após submetidos a uma etapa de tratamento (POMBO, 2011).

Segundo Eriksson et al. (2002 apud MAY, 2009), as águas cinzas podem ser usadas em diversas finalidades. Contudo, o tipo de tratamento utilizado e o destino final são aspectos que determinam o sucesso do sistema de reúso.

Existe atualmente uma extensa base de dados relacionada às principais tecnologias de tratamento disponíveis, bem como uma grande variedade de equipamentos e sistemas de

tratamento de águas, que são capazes de produzir efluentes com os diversos parâmetros de qualidade necessários (SAUTCHÜK ET AL., 2005).

Desta forma, a etapa de tratamento não é um aspecto limitante para o desenvolvimento de iniciativas orientadas a proporcionar o uso racional da água. A principal cautela consiste na estratégia a ser desenvolvida para atingir os resultados mais apropriados para o cumprimento das demandas nos vários níveis de qualidade exigidos conforme a finalidade pretendida (SAUTCHÜK ET AL., 2005).

Segundo Morelli (2005), o sistema de tratamento é uma seqüência de operações e processos unitários definidos em razão de três requisitos:

- Das características do líquido a ser tratado, que variam conforme a procedência do efluente;
- Dos objetivos pretendidos com o tratamento, que exigem diferentes parâmetros de qualidade, conforme a classe na qual estiverem enquadrados;
- E da capacidade de remoção de cada processo unitário, que varia conforme o nível de tratamento, podendo ser necessário mais de um processo.

As processos e operações unitárias de tratamento devem ser capazes de regular a concentração dos contaminantes presentes nos efluentes para os parâmetros exigidos em normas, adequando-os ao reúso subsequente (SAUTCHÜK ET AL., 2005).

Esses processos de tratamento acabam por ser mais complexos que os preconizados para as águas pluviais, devido à maior concentração de contaminantes característicos das águas cinzas. Devendo ser efetuados estudos de tratabilidade que lancem mão tanto de tratamentos físico-químicos como também biológicos (ANA, 2005).

Geralmente é necessária a combinação de duas ou mais técnicas de tratamento para ser possível obter água no grau de qualidade apropriado. Sendo, muitas vezes, necessário utilizar tecnologias específicas para a eliminação dos contaminantes presentes nas águas cinzas (SAUTCHÜK et al., 2005).

Segundo Gonçalves, R. (2006) e considerando todas as recomendações analisadas por Hafner (2007), o processo completo de tratamento das águas cinzas compreende três a quatro etapas. A primeira delas seria o tratamento preliminar, com finalidade de remoção de sólidos grosseiros, através de processos e operações físicas de gradeamento. A segunda etapa seria o tratamento secundário, através de processos biológicos em reatores aeróbicos ou anaeróbicos,

continuados por sedimentação e filtração, caso necessárias para a produção de efluentes com maior qualidade. A terceira etapa é o tratamento terciário com desinfecção, visando a inativação de possíveis microrganismos patogênicos, podendo ser realizada pela cloração, radiação ultravioleta ou ozonização. Em alguns casos pode ser necessária, ainda, a correção do pH através da adição de ácidos ou bases, preconizada para a proteção das tubulações, equipamentos hidráulicos e peças sanitárias.

Conforme a grande variabilidade, tanto da origem do efluente quanto da finalidade a que se pretende o efluente tratado, uma ampla variedade de operações ou sequências de processos são possíveis de serem realizados (MANCUSO; SANTOS, 2003).

A seguir são apresentadas as principais tecnologias e alternativas de sistemas de tratamento de águas cinzas encontradas na literatura sobre o tema, e disponíveis no mercado brasileiro.

5.1.2.3.1 Sistemas de Tratamento Preliminar

Gradeamento

Esse equipamento compõe o chamado tratamento primário de efluente e tem por funcionalidade a retenção de sólidos grosseiros, de forma a prevenir o desgaste por abrasão dos equipamentos do sistema, a acumulação de material inerte nos sistemas de tratamento e obstrução das tubulações (FLUXO, 2015). Devido à retenção de sólidos, exige manutenção periódica.

Caixa de gordura

As caixas de gordura possibilitam a retenção de gorduras, evitando a sobrecarga na rede coletora, o acúmulo nas tubulações, e nas etapas de tratamento e aspectos indesejáveis na etapa posterior (FLUXO, 2015).

Essa unidade é importante principalmente para o tratamento da água cinza proveniente das pias de cozinha dos refeitórios e copas. Devido à retenção de gorduras, exige manutenção periódica.

5.1.2.3.2 Sistemas de Tratamento Secundário

Tratamento anaeróbio por Reator Anaeróbio Compartimentado (RAC)

O reator anaeróbio compartimentado é constituído por um tanque com algumas câmaras dispostas em série (Figura 22), as quais são segregadas, existindo um separador trifásico na última das câmaras. O fluxo do efluente em cada uma delas é vertical e ascendente. Quanto à operação, o reator compartimentado permite separação de algumas etapas do tratamento (BAZZARELLA, 2005).

O reator anaeróbio compreende um leito de lodo biológico denso e de alta atividade metabólica, que promove a digestão anaeróbia da matéria orgânica presente na água cinza em fluxo ascendente (FLUXO, 2015). Essas reações produzem biogás, que é eliminado na atmosfera por meio de uma tubulação no último compartimento (Figura 23).

O RAC tem um bom desepenho em relação a remoção de matéria orgânica num baixo tempo de detenção hidráulica, além da baixa produção de lodo. Entretanto, ainda seria necessária uma etapa complementar de remoção e inativação de patógenos, que não são significativamente afetados pelo trabamento anaerório (BAZZARELLA, 2005).

Tratamento aeróbio por Filtro Biológico Aerado Submerso (FBAS)

Os filtros biológicos aerados submersos (FBAS), são também conhecidos por sistemas de aeração por contato, e compreendem reatores biológicos à base de culturas de microrganismos que se proliferam em um meio suporte. São compreendidos por um tanque que recebe um material poroso, pelo qual a água cinza e ar fluem constantemente. Tal meio é submetido a imersão absoluta devido ao fluxo hidráulico (FLUXO, 2015).

A operação do FBAS pode ser realizada em fluxo ascendente ou descendente, contando ainda com difusores de bolhas de ar dispostos na parte inferior do equipamento, de forma a proporcionar a aeração necessária no sistema (BAZZARELLA, 2005).

A necessidade da aeração se dá pela manutenção das condições aeróbias no reator, além de erodir o biofilme, prevenindo a acumulação no meio suporte, e de provocar turbulência que assegura o contato do substrato com os microrganismos (RUSTEN, 1984 apud AISEE; ALÉM SOBRINHO, 2001). O biofilme de excesso produzido no FBAS é

liberado no efluente e deve ser retido por decantação, que promove a segregação de lodo e efluente tratado.

Figura 22 - Modelo de reator anaeróbio compartimentado (RAC)
Fonte: Aguapé Engenharia e Projetos Ecológicos (2015)

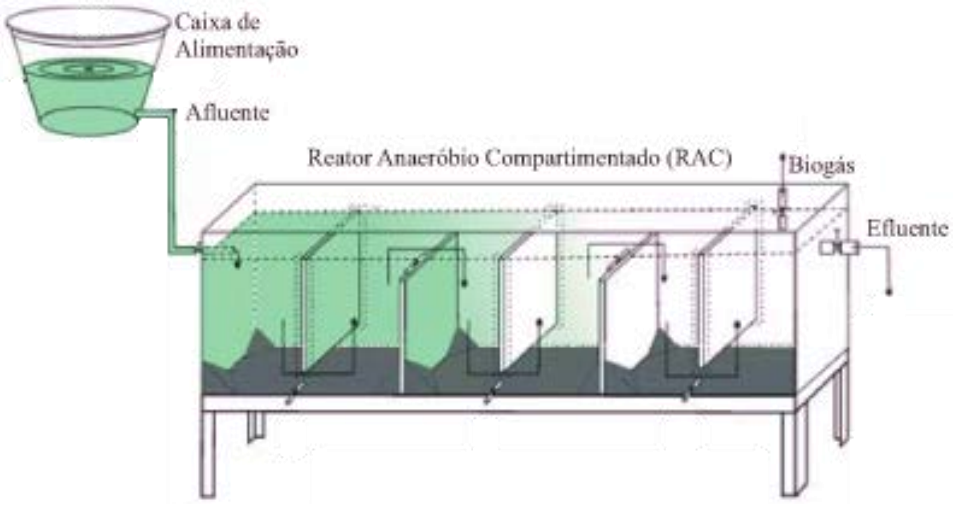

Figura 23 - Desenho esquemático do funcionamento do RAC
Fonte: Adaptado de Leite et al. (2009)

Tratamento aeróbio por Flotação por Ar Dissolvido (FAD)

A flotação por ar dissolvido baseia-se na injeção do ar no efluente em uma câmara pressurizada. Quando ocorre a despressurização da mistura na câmara, são formadas microbolhas que aderem-se às impurezas em suspensão, como mostra a Figura 24, reduzindo sua densidade e promovendo sua condução a superfície onde são removidas (OKTE, 2008).

É um sistema de operação simples e econômica, voltado para a recuperação e remoção de sólidos, óleos, gorduras, microrganismos, demais substâncias orgânicas e íons, além da redução da demanda química de oxigênio (DQO) e da DBO, e do espessamento de lodo no tratamento de águas residuárias (OKTE, 2008).

Tratamento aeróbio por Zona de Raízes

O sistema de zona de raízes, também conhecido como jardim filtrante ou *wetland* é composto basicamente por brita, areia grossa e espécies vegetais específicas. Esse conjunto de materiais é disposto em camadas, que agem como filtros físicos para o material particulado, sendo a última camada formada por plantas que realizam o tratamento biológico da água cinza recebida (Figura 25).

De acordo com Maciel (2003), as espécies vegetais selecionadas precisam liberar oxigênio por suas raízes, permitindo a proliferação de bactérias hospedeiras que convertam a carga orgânica das águas cinzas em nutrientes para a vegetação.

Os *wetlands* são frequentemente considerados os sistemas mais adequados, por apresentarem operação simplificada e econômica, sem produção de lodo e sem necessidade de alimentação elétrica. São sistemas flexíveis a variâncias de carga e removem bactérias e outros microrganismos com alta eficiência. Além disso, contam com a possibilidade de sua perfeita integração à paisagem natural (PLATZER; HOFFMANN; CARDIA, 2007), conforme mostra a Figura 26. É um sistema predominantemente biológico, não utilizando produtos químicos e não produzindo metano. Com isso, não ocorrem odores desagradáveis característico de processos anaeróbios (FERREIRA, 2005).

Existe no mercado brasileiro modelos de *wetlands* pré-fabricadas, em compartimentos de plástico reforçado com fibra de vidro (PRFV) resistentes à corrosão (FLUXO, 2015).

Dentre as espécies de plantas que podem ser utilizadas no tratamento por *wetlands*, cerca de 150 espécies levam a resultados satisfatórios, das quais destacam-se: *Pharabmites australis; Typha latifoia; Acorus calamus; Iris pseudocorus; Schoenaplectus lacustris, Papirus sp*. (FERREIRA, 2005).

No entanto, Kuviatkoski, Goudard e Ramos (2004) apontam que esse sistema tem como desvantagens a limitação relacionada à topografia do terreno e a exigência de amplas áreas para a sua implantação.

Tratamento aeróbio por Reator Biológico de Contato (RBC)

O reator biológico de contato, popularmente conhecido como biodisco, é composto por discos rotativos que permitem o fornecimento artificial de oxigênio para o meio onde os microorganismos aeróbios são predominantes, realizando a remoção da carga orgânica.

De acordo com May (2009), as bactérias aeróbias, que são as responsáveis pela biodigestão contínua dos poluentes através da oxidação do carbono orgânico nele contido, colmatam as superfícies dos discos (Figura 27) parcialmente submersos, os quais giram e provocam a aeração e imersão cíclica das colônias de bactérias no efluente. As bactérias concentram-se cada vez mais nas superfícies dos discos, compondo grandes colônias, que configuram espessas camadas de biofilme. Em decorrência do constante crescimento das colônias de bactérias e, consequentemente da espessura do biofilme, as bactérias que estão nas camadas mais interna da sofrem dificuldade de contato com o oxigênio do ar quando o disco gira, incorrendo na sua morte. Com isso, o biofilme se desprende dos discos e é decantado, ocorrendo a formação de um lodo ativo, visto que as bactérias que estavam nas camadas mais superficiais do biofilme ainda estão em atividade (MAY, 2009).

Segundo May (2009), o uso do sistema de biodisco para tratamento das águas cinzas tem as vantagens de ser mais compacto que os sistemas de tratamento convencionais, possuir motor com baixa emissão de ruído, não liberar odores desagradáveis, poder ser instalado enclausurado e apresentar baixo consumo de energia.

Filtragem em areia

O filtro de areia compreende camadas em série de brita, areia grossa, areia fina e até carvão. A filtragem é feita por meio da passagem da água nessas camadas, que filtram por meios físicos (retenção) e bioquímicos (oxidação) a água devido aos microrganismos fixos nas superfícies dos grãos de areia. Entretanto, este sistema apresenta limitações, devido a possibilidade de entupimento que reduz a eficiência do tratamento, exigindo manutenção e substituição frequentes.

A eficiência do filtro é reduzida na medida em que os sólidos vão sendo removidos. Quando há perda de carga excessiva ou liberação de sólidos suspensos no efluente, encerra-se o ciclo de filtração, sendo necessária a realização da limpeza do leito filtrante. Essa limpeza pode ser realizada através da retrolavagem, na qual água e ar passam em fluxo contrário

através do leito. Os sólidos que se encontravam retidos são então descartados juntos com a água da retrolavagem, deixando o leito preparado para o próximo ciclo de filtração (SANTOS NETO et al., 2003).

Filtragem em carvão ativado

O carvão ativo ou ativado é uma forma de carbono de grande porosidade, responsável por adsorver moléculas sem que ocorra a alteração da composição química do produto tratado (SANTOS M., 2006).

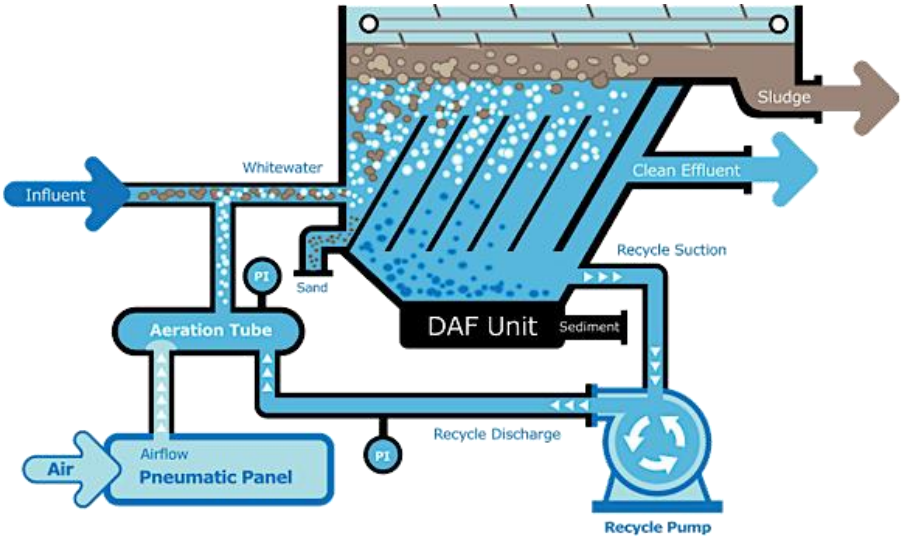

Figura 24 - Desenho esquemático do funcionamento do FAD

Fonte: FRC Systems International (2015)

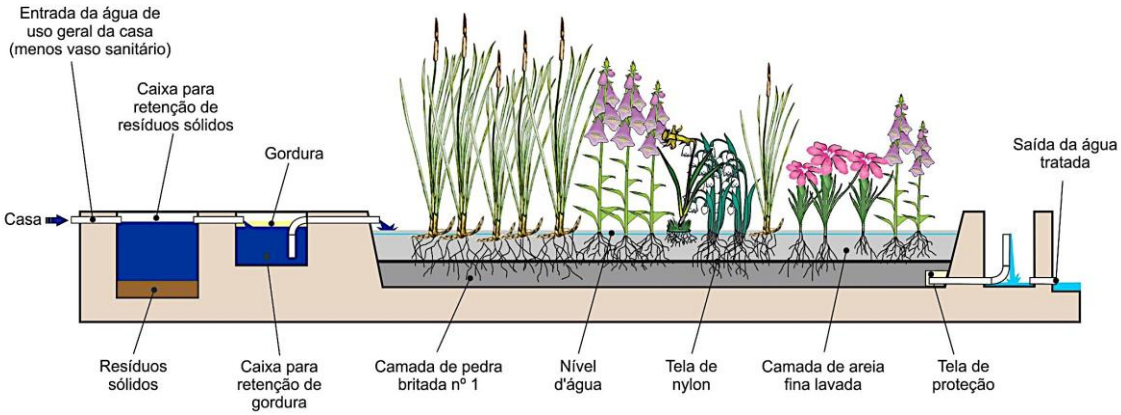

Figura 25 - Desenho esquemático do sistema de *wetland*

Fonte: Embrapa (2015)

Figura 26 - Aspecto pretendido do sistema de *wetland*

Fonte: Embrapa (2015)

Figura 27 - Modelo de sistema de RBC (esq.) e discos onde o biofilme é aderido (dir.)

Fonte: May (2009)

A filtragem funciona através da adsorção física de pequenas moléculas, devido a grande área superficial. Com isso, de acordo com Santos M. (2006) é eficiente na remoção de clorados, bactérias, carga orgânica e alguns sais, removendo também a cor, o sabor e o odor.

Entretanto, a remoção de carga orgânica se dá para concentrações abaixo de 200 mg/L, seu tempo de vida é curto, exigindo substituições a um alto custo, além de não remover a amônia presente na água.

5.1.2.3.3 Sistemas de Tratamento Terciário

Ozonização

O ozônio (O_3) é um agente oxidante que pode ser utilizado para branquear amido, óleos e ceras, além de desinfetar, purificar e esterilizar a água (SANTOS, M., 2006). O processo de ozonização funciona através de descargas elétricas de 20.000v em ar seco. O ar resultante contendo ozônio (O_3) é borbulhado através da água por 10 minutos, reagindo com radicais livres.

A degradação da matéria orgânica ocorre em compostos menores caso o radical ($O^{\cdot}$) permaneça em contato por tempo suficiente para a formação de dióxido de carbono e água (SANTOS, M., 2006). Com isso, de acordo com Santos M. (2006), é eficiente na remoção de bactérias, carga orgânica e alguns sais, removendo também a cor, o sabor e o odor.

Entretanto, o radical ($O^{\cdot}$) é tão instável, que só pode ser gerado in loco, o que eleva o custo da sua aplicação, além disso reage com halogênios formando compostos tóxicos (bromatos) e não remove amônia.

Radiação Ultravioleta (UV-C)

Funciona através da irradiação de luz UV-C (200-300nm) no fluxo do efluente por 10 minutos no mínimo. A radiação eletromagnética UV-C provoca dano fotoquímico instantâneo no DNA dos microrganismos, impedindo sua duplicação.

Através da radiação UV-C ocorre uma considerável redução no uso de produtos químicos, os quais podem ser liberados no meio ambiente podendo ainda, tornarem-se subprodutos de elevado potencial prejudicial (ECOCASA, 2015).

Com isso, de acordo com Santos, M. (2006), é eficiente na remoção de bactérias, vírus, algas e protozoários, carga orgânica e alguns sais, removendo também a cor, o sabor e o odor, e gerando reduzida quantidade de resíduo. Entretanto, a radiação UV-C sofre interferência de ferro dissolvido e compostos húmicos, que absorvem a luz, reduzindo a quantidade disponível para desinfecção. Também sofre interferência de sólidos suspensos (SS) que absorvem a luz e espalham a radiação.

Oxidação com Peróxido de Hidrogênio (H_2O_2)

O peróxido de hidrogênio (H_2O_2) é um metabólito natural de muitos microrganismos, o que torna-o um agente oxidante capaz de decompor a matéria orgânica em oxigênio e água (SANTOS, M., 2006).

A aplicação de H_2O_2 tem crescido consideravelmente nos processos de tratamento de efluentes, principalmente pela transformação da matéria orgânica em dióxido de carbono e água com baixa geração de resíduos sólidos, além de ser um líquido totalmente miscível com água, facilitando sua dosagem e controle (TEIXEIRA; JARDIM, 2004).

O processo funciona através da oxidação da matéria orgânica pela ação dos radicais livres do peróxido. Com isso, de acordo com Santos M. (2006), é eficiente na remoção de microrganismos, carga orgânica e alguns sais, removendo também a cor, o sabor e o odor, e gerando reduzida quantidade de resíduo. Entretanto, o processo de oxidação sofre interferência de SS, além de envolver alto custo e grandes quantidades de peróxido.

Osmose reversa

A separação por membranas ocorre com a segregação seletiva de sólidos imiscíveis ou solutos dissolvidos no meio. No processo de separação, a membrana permite a travessia de determinados componentes, e impede a passagem de outros (MIERZWA; HESPANHOL, 2005).

O processo de osmose reversa funciona através da aplicação mecânica de uma pressão superior à pressão osmótica do lado da solução mais concentrada, ou seja, da água cinza, ficando retidos os íons dos sais nela dissolvidos (SANTOS, M., 2006), conforme mostra a Figura 28.

Com isso, é de acordo com Santos M. (2006) eficiente na remoção de microrganismos, materiais particulados e endotoxinas. Entretanto, as membranas de osmose reversa apresentam custos muito elevados e exigem etapas anteriores de tratamento de forma a minimizar a ocorrência de entupimentos.

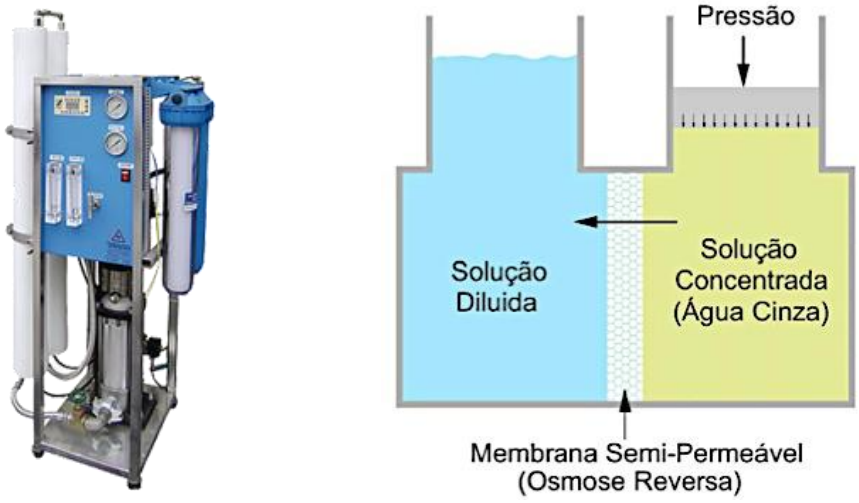

Figura 28 - Modelo de sistema de tratamento por osmose reversa (esq.) e seu princípio de funcionamento (dir.)
Fonte: Aquacontroll (2015) e Okte (2008)

Cloração

Os derivados clorados apresentam alto poder oxidante, formando reações com vários compostos presentes nas águas residuárias (BAZZARELLA, 2005). A aplicação de dióxido de cloro funciona através do radical (ClO_2^-), que oxida a matéria orgânica por mecanismo de extração de elétrons.

Com isso, de acordo com Santos M. (2006), é eficiente na remoção de microrganismos, carga orgânica e alguns sais, removendo também a cor, o sabor e o odor, e gerando reduzida quantidade de resíduo. Além disso, não gera cloraminas. Entretanto, o dióxido de cloro é explosivo, reage com halogênios formando compostos tóxicos (bromatos), pode gerar íons clorito e clorato, não remove amônia, e também possui um curto tempo de vida a um alto custo.

Por outro lado, segundo Santos M. (2006), a aplicação de hipoclorito de sódio é de baixo custo e eficiente também na remoção de amônia, além da remoção de microrganismos, carga orgânica e alguns sais, removendo também a cor, o sabor e o odor, e gerando reduzida quantidade de resíduo. Entretanto, pode ocorrer a formação de subprodutos clorados (cloraminas e trihalomentanos), cujos danos aos seres vivos ainda tem sido estudados. (KIM et al., 2002).

Existem modelos de cloradores no mercado brasileiro que dispõem de flanges para fácil adição de pastilhas de cloro, em sistema simplificado de regulagem de teor, através de válvulas de esfera em plástico industrial.

O clorador de pastilha é um dispositivo simples, que deve ser confeccionado de materiais resistentes à corrosão química, e permite a abrasão de pastilhas de hipoclorito de cálcio armazenadas em seu interior pelo contato com o efluente a ser tratado, formando a solução clorada que será responsável pela desinfecção do elfuente (AISSE et al., 2003).

5.1.2.4 Armazenamento e Distribuição

Após as etapas de tratamento, o efluente tratado deve ser destinado para um reservatório específico, totalmente independente do reservatório de água potável, para ser posteriormente distribuído aos pontos de consumo.

Reservatório de água de reúso

Este reservatório por objetivo armazenar o efluente tratado destinado para reúso, devendo ser específico para este fim. Os reservatórios de água de reúso e água potável devem ser completamente independentes, sendo necessária uma parede dupla entre eles (GONÇALVES, R. et al., 2010).

Dessa forma, o reservatório de água de reúso funcionará como uma "caixa d'água" específica para usos restritos e predestinados, como descarga de vasos sanitários, limpeza de pisos, irrigação de áreas verdes e uso ornamental.

A posição do reservatório dependerá de uma avaliação técnica, levando em consideração as características da edificação e os pontos de consumo pretendidos. O reservatório poderá ser posicionado no subsolo, apoiado no nível do chão ou apoiado sobre a laje do edifício, havendo para os dois primeiros casos a necessidade de bombear a água para os pontos de consumo, enquanto que para o terceiro caso, a distribuição de água ocorreria por gravidade.

Entretanto, a alocação de reservatórios sobre as edificações acarreta um considerável aumento da carga na estrutura das mesmas, sendo possivelmente inviável a instalação no topo de prédios já construídos, também pela necessidade de espaço. Contudo, pode ser adequada em edificações ainda na fase de projeto (FERREIRA, 2005).

Pontos de distribuição de água de reúso

Todos os pontos de consumo de água de reúso devem ter acesso restrito e identificação adequada (SELLA, 2011), conforme apresentado na Figura 29. Essa medida diz respeito a questões de segurança que serão abordadas na seção 5.2.

Além da distinção entre as tubulações de águas cinzas conforme suas origens, cabe ressaltar que o sistema de coleta de água cinza, assim como o sistema de distribuição de água de reúso, devem ser concebidos e operados de forma independente dos outros sistemas hidráulicos existentes na edificação.

Dessa forma, todo o sistema hidrossanitário predial deve contemplar linhas independentes e específicas para o fornecimento de água de reúso e de água potável. Por essa razão, a implantação de rede dupla de distribuição nas instalações universitárias é mais indicada para novas edificações, pois a implantação em empreendimentos já existentes pode representar obras bastante onerosas e de difícil realização (RAPOPORT, 2004).

Figura 29 - Placa indicativa de ponto de consumo de água de reúso
Fonte: Interclube Interlagos (2015)

As principais características, vantagens e desvantagens das tecnologias e alternativas levantadas para o sistema de coleta e reúso de águas cinzas estão condensadas no Quadro 3.

Quadro 3 - Tecnologias e alternativas para o sistema de coleta e reúso de águas cinzas

TECNOLOGIA/ALTERNATIVA		PRINCIPAL CARACTERÍSTICA	PRINCIPAL VANTAGEM	PRINCIPAL DESVANTAGEM
COLETA	Reservatório de acumulação de águas cinzas	Armazenar as águas provenientes dos pontos de coleta	Melhor balanço entre o volume gerado e a demanda a ser atendida	A estocagem após determinado tempo pode levar a inconvenientes estéticos
SISTEMAS DE TRATAMENTO PRELIMINAR	Gradeamento	Retenção de sólidos grosseiros	Evita o desgaste dos equipamentos, o acúmulo nos reatores e entupimentos	Manutenção periódica
	Caixa de gordura	Retenção de gorduras provenientes principalmente das pias de cozinha dos refeitórios e copas	Evita a obstrução e o acúmulo nas unidades de tratamento e aspectos desagradáveis	Manutenção periódica
SISTEMAS DE TRATAMENTO SECUNDÁRIO	Tratamento anaeróbio por Reator Anaeróbio Compartimentado (RAC)	Compreende um leito de lodo biológico denso, com alta atividade metabólica	Digestão anaeróbia da matéria orgânica, com reduzida geração de lodo	requer etapa complementar para remoção de matéria orgânica
	Tratamento aeróbio por Filtro Biológico Aerado Submerso (FBAS)	Reator biológico à base de microrganismos sustentados em um meio suporte	Promove a segregação de lodo e efluente tratado	Requer etapa posterior de decantação
	Tratamento aeróbio por Flotação por Ar Dissolvido (FAD)	Dissolução do ar no meio líquido, favorecendo o arraste de partículas	Simples operação e um dos mais econômicos	Não informado
	Tratamento aeróbio por Zona de Raízes	Camadas que agem como filtros físicos para o material particulado, e plantas que realizam o tratamento biológico	Muito flexíveis contra variâncias de carga e possibilidade de integração à paisagem natural	Limitação com relação à topografia e extensão do terreno
	Tratamento aeróbio por Reator Biológico de Contato (RBC)	Discos rotativos que fornecem oxigênio para o meio liquido	Mais compacto que os sistemas convencionais	Não informado
	Filtragem em areia	Camadas em série de brita, areia grossa, areia fina e até carvão	Filtra por meios físicos (retenção) e bioquímicos (oxidação) a água	Possibilidade de entupimento que reduz a eficiência do tratamento
	Filtragem em carvão ativado	Adsorção física de pequenas moléculas	Remoção de clorados, bactérias, carga orgânica e alguns sais	Tempo de vida curto, exigindo substituições a um alto custo
SISTEMAS DE TRATAMENTO TERCIÁRIO	Ozonização	Ozônio é borbulhado através da água	Radical ($O^{\cdot}$) degrada a matéria orgânica em compostos menores	Formação de compostos tóxicos (bromatos)
	Radiação UV-C	Irradiação de luz UV-C (200-300nm) no fluxo do efluente	Dano fotoquímico no DNA de microrganismos, impedindo sua duplicação	Sofre interferência de ferro dissolvido e SS
	Oxidação com H_2O_2	Oxidação da matéria orgânica pela ação dos radicais livres do peróxido	Remoção de microrganismos, carga orgânica e alguns sais	Sofre interferência de SS, além de envolver alto custo e grandes quantidades de peróxido
	Osmose reversa	Aplicação mecânica de uma pressão maior que a osmótica ao lado que contém a água cinza	Remoção de microrganismos, materiais particulados e endotoxinas	Custos muito elevados, ocorrência de entupimentos
	Cloração	Oxida a matéria orgânica por mecanismo de extração de elétrons	Remoção de microrganismos, carga orgânica e alguns sais, gerando reduzida quantidade de resíduo	Formação de compostos tóxicos (bromatos) ou subprodutos clorados (cloraminas e trihalomentanos)

Fonte: Elaborado pelo autor, com base em Bazzarella (2005), Rapoport (2004), Kuviatkoski, Goudard e Ramos (2004), May (2009), Okte (2008) Platzer, Hoffmann e Cardia (2007) e Santos M. (2006)

5.1.3 Sistema de Captação e Aproveitamento de Água Pluvial

A configuração básica de um sistema de reaproveitamento de águas pluviais apresenta a área de captação por telhados, lajes ou pátios; a condução de água por calhas, condutores verticais e horizontais; a unidade de tratamento; e o reservatório de acumulação dessas águas (SANTOS, D., 2002).

Basicamente, o sistema (Figura 30) consiste em reter a água precipitada na área de captação, atentando ao cuidado de se descartar o volume inicial dessa água, que é considerado necessário para a limpeza do telhado. Em seguida, essa água passa por um processo de filtragem que retira impurezas grosseiras e galhos, para então armazenar a água filtrada em uma cisterna adequada (FERREIRA, 2005). Por fim, a água deve passar por um ou mais processos de tratamento, para que se atinja os níveis de qualidade correspondentes aos usos pretendidos.

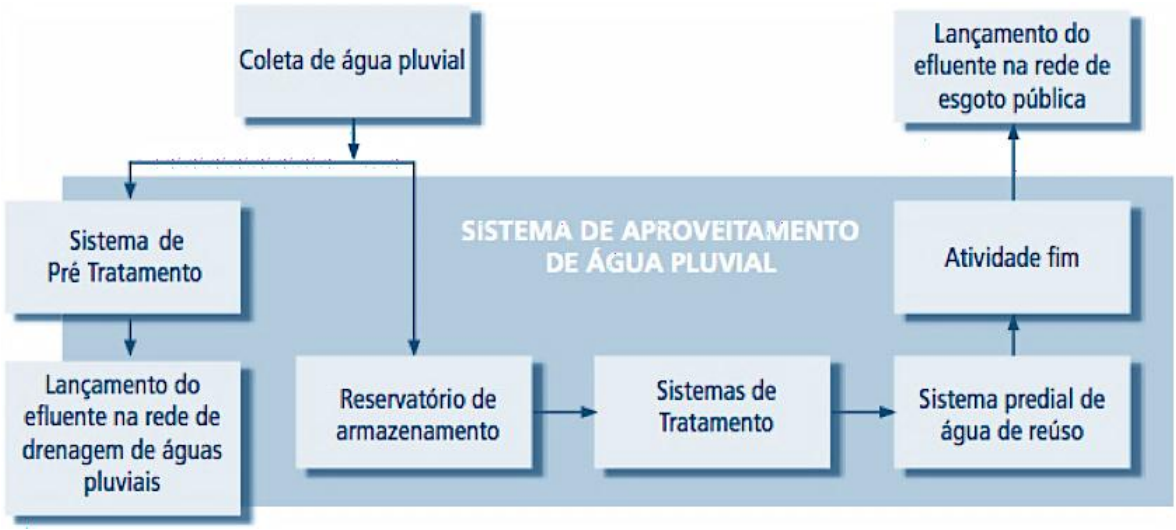

Figura 30 - Configuração básica do sistema de captação e aproveitamento de águas pluviais
Fonte: Adaptado de ANA (2005)

Os componentes do sistema podem apresentar tecnologias e alternativas variadas conforme os objetivos de cada projeto, como serão apresentadas a seguir. Para melhor elucidação, estas foram agrupadas ao longo deste trabalho em cinco etapas:

1. Captação
2. Pré-tratamento
3. Armazenamento

4. Tratamento

5. Distribuição

5.1.3.1 Captação

Na etapa de captação, a água pode ser coletada de áreas impermeáveis, geralmente telhados, lajes, pátios, ou áreas de estacionamento, conforme mostram a Figura 31 e a Figura 32. As superfícies lisas são as mais apropriadas, como a ardósia, telhas de barro e telhas de concreto envernizadas, contribuindo para um escoamento superficial satisfatório.

Telhados e lajes

O telhado para a captação de águas pluviais pode ser constituido de diversos materiais como cerâmica, fibrocimento, zinco, ferro galvanizado, concreto armado, plástico, vidro, policarbonato, acrílico, manta asfáltica, entre outros. (MAY, 2009).

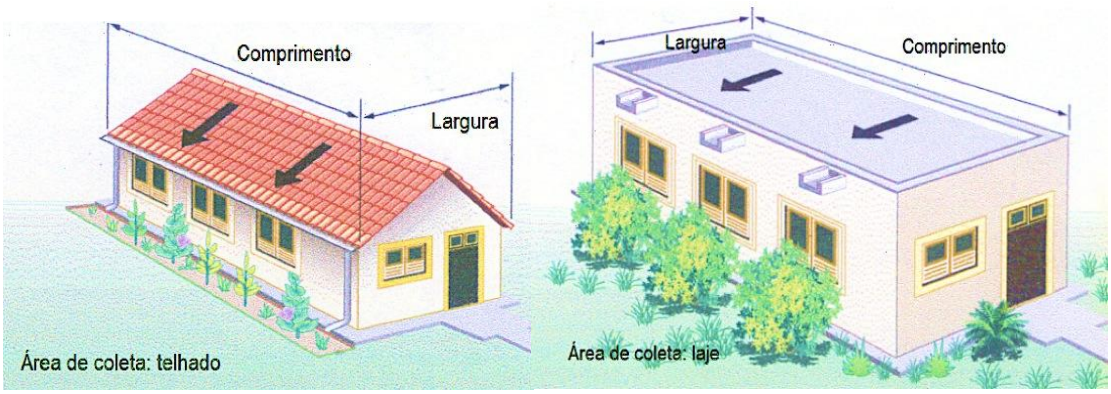

Figura 31 - Área de coleta: telhado (esq.) e laje (dir.)
Fonte: Waterfall (2002 apud May, 2009)

Pátios e áreas de estacionamento

Podem ser utilizas também as áreas de pátios, calçadas e estacionamentos para a captação dessas águas, contudo deverá haver um sistema preliminar de tratamento apropriado para a separação dos detritos, papéis e plásticos que são normalmente esperados nesses locais, além da separação de óleos e graxas provenientes de automóveis, a fim de que não haja

comprometimentos do sistema operacional de coleta e tratamento das águas pluviais (MAY, 2009).

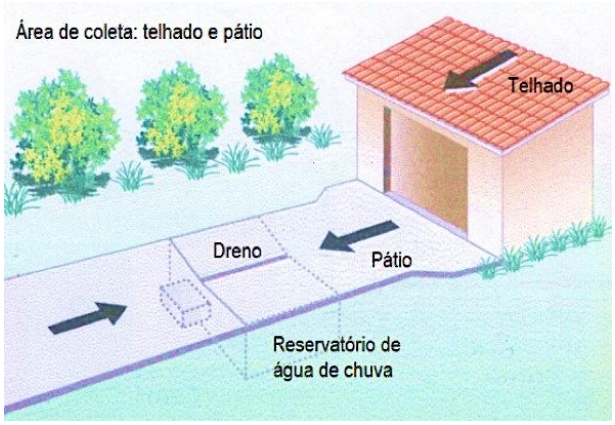

Figura 32 - Área de coleta: telhado e pátio
Fonte: Waterfall (2002 apud May, 2009)

5.1.3.2 Pré-tratamento

Nas áreas de captação, existe acesso de pequenos animais como pássaros, pequenos roedores, gatos, insetos, entre outros, sendo grande a probabilidade de conterem fezes ou até mesmo animais mortos, além da presença de poeira, galhos, folhas de árvores e outras impurezas que são levadas pelo vento (MAY, 2009).

Por isso, o sistema de coleta e aproveitamento de águas pluviais deve estar munido de processos de pré-tratamento das águas oriundas da área de captação, separando-as de impurezas como folhas, galhos, insetos e musgos, a fim de direcionar apenas água em condições de armazenamento para as etapas seguintes.

Grades de calha

Para que não ocorra entupimentos nos condutores das águas provenientes do telhado, podem ser previstas peneiras para o impedimento de folhas, galhos e outras impurezas. Estas podem ser instaladas na saída da calha ou ainda percorrendo toda a extensão da mesma (Figura 33).

Reservatório de descarte

É recomendável o descarte da porção inicial da água da chuva, sobretudo após longos períodos de estiagem. A porção inicial contém a maior parte das impurezas presentes na área de coleta, sendo seu descarte essencial para melhorar a qualidade da água encaminhada para as próximas etapas do sistema.

O reservatório de descarte destina-se à retenção da água captada no momento inicial da precipitação, visando o posterior descarte (ANA, 2005) e funciona da seguinte maneira: a porção inicial da chuva é interceptada por ou um mais tonéis verticais contendo uma boia em seu interior. Na medida em que os tonéis são preenchidos, a boia é conduzida para cima, até alcançar a abertura do tonel e vedá-la, impedindo a entrada de mais águas, que serão então conduzidas às próximas etapas do sistema (Figura 34). As águas retidas nos tonéis são posteriormente descartadas.

O volume de descarte adequado é discutido, havendo diferentes metodologias para estimá-lo. Algumas delas consideram o tempo como determinante do volume, sugerindo o descarte dos minutos iniciais da chuva. Outras metodologias consideram a quantidade de chuva, sugerindo o descarte da chuva inicial que compreende 0,4 a 1,5 milímetros por metro quadrado de área de captação (HAFNER, 2007).

Ao invés do reservatório de descarte, pode-se utilizar filtros para segregação das impurezas. No mercado brasileiro, estão disponíveis sistemas de filtragem fabricados para instalação em calhas de coleta e em tubulações de descida das águas pluviais. Esses sistemas segregam as impurezas e as direcionam para o descarte na galeria pluvial, enquanto que as águas filtradas escoam para o reservatório de armazenamento (HAFNER, 2007).

Filtro de descida

Os filtros de descida (Figura 35) são instalados diretamente na tubulação de descida dos telhados (Figura 36) com reduzida necessidade de manutenção. Promovem a separação das impurezas como folhas, galhos, insetos e musgo, enquanto a água pluvial segue pela tubulação normalmente.

Essa tecnologia retém cerca de 90% da água captada, com capacidade de filtrar partículas de até 0,28 mm. A instalação é por encaixe telescópico, não exigindo mão de obra especializada e podendo ser realizada em construções existentes. Existe disponível no

mercado modelos nos diâmetros 75 mm, 80 mm e 100 mm, e indicados para áreas de captação de até 150 m².

Figura 33 - Modelo de grade de calha percorrendo a extensão da mesma

Fonte: L.B. Plastics, Inc. (2015)

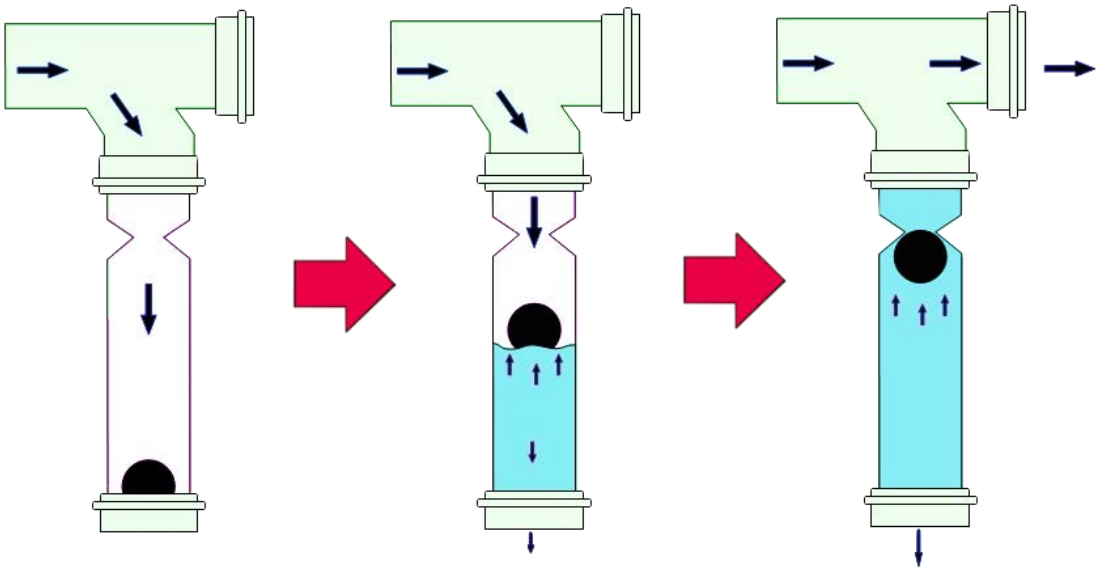

Figura 34 - Desenho esquemático do funcionamento do reservatório de descarte

Fonte: Adaptado de Sempre Sustentável (2015)

Figura 35 - Modelos de filtro de descida (esq.) e seu princípio de funcionamento (dir.)
Fonte: 3P Technik (2015) e Wisy (2015)

Figura 36 - Exemplo de instalação do filtro de descida
Fonte: The Rain Saver (2015)

Filtro volumétrico

Os filtros de modelo volumétrico ou "vórtice" (Figura 37) são instalados no ponto de união das tubulações coletoras da água pluvial, sendo então mais eficientes. Promovem a separação das impurezas como folhas, galhos, insetos e musgo, com reduzida necessidade de manutenção.

Essa tecnologia retém cerca de 90% da água captada, com capacidade de filtrar partículas de até 0,28 mm. A instalação é subterrânea com prolongador que permite instalação a qualquer profundidade (Figura 38).

Existe disponível no mercado modelos indicados para áreas de captação de até 3.000 m², com capacidade de operar cargas de até 60 toneladas.

Figura 37 - Modelo de filtro volumétrico e seu princípio de funcionamento

Fonte: 3P Technik (2015)

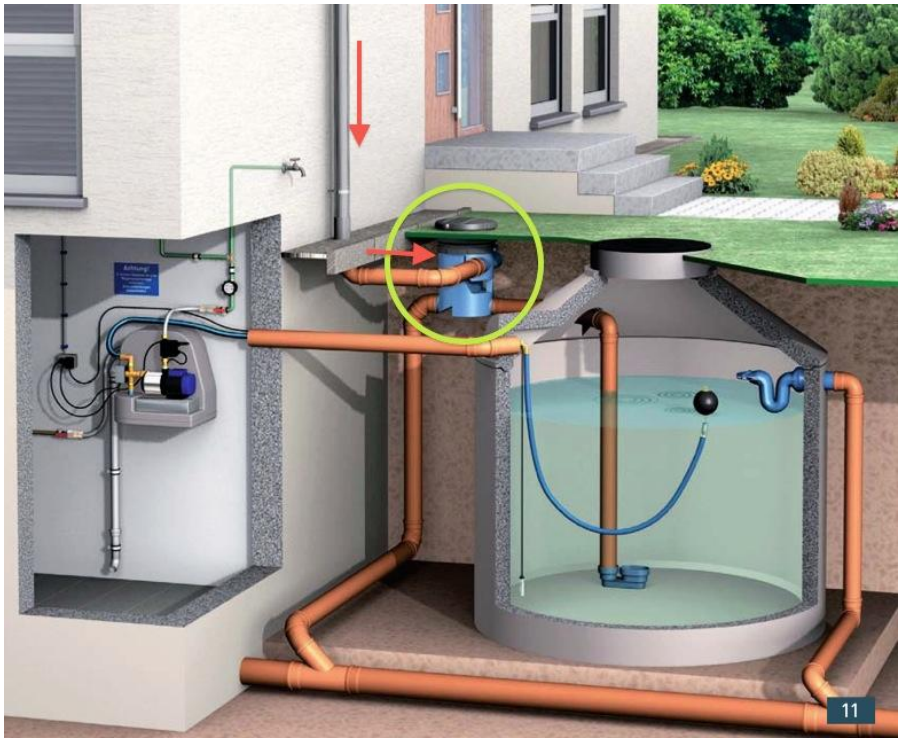

Figura 38 - Exemplo de localização do filtro volumétrico

Fonte: Adaptado de 3P Technik (2015)

Filtro industrial

Os filtros de água de chuva de modelo industrial (Figura 39) são indicados para áreas de captação maiores e precisam ser instalados dentro um poço técnico, conforme mostra a Figura 40. Essa tecnologia dispõe de um sistema duplo de limpeza (peneira grossa, depois fina), objetivando alta eficiência independente da vazão.

Existem modelos com capacidade relativa de processamento para áreas de até 3933 m² e vazão máxima do elemento filtrante de até 64,8 m^3 de água por hora.

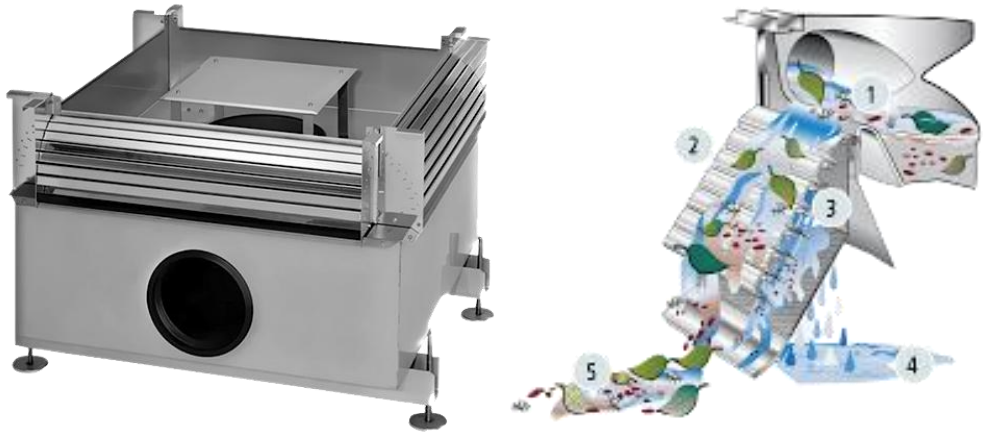

Figura 39 - Modelo de filtro industrial e seu princípio de funcionamento
Fonte: 3P Technik (2015)

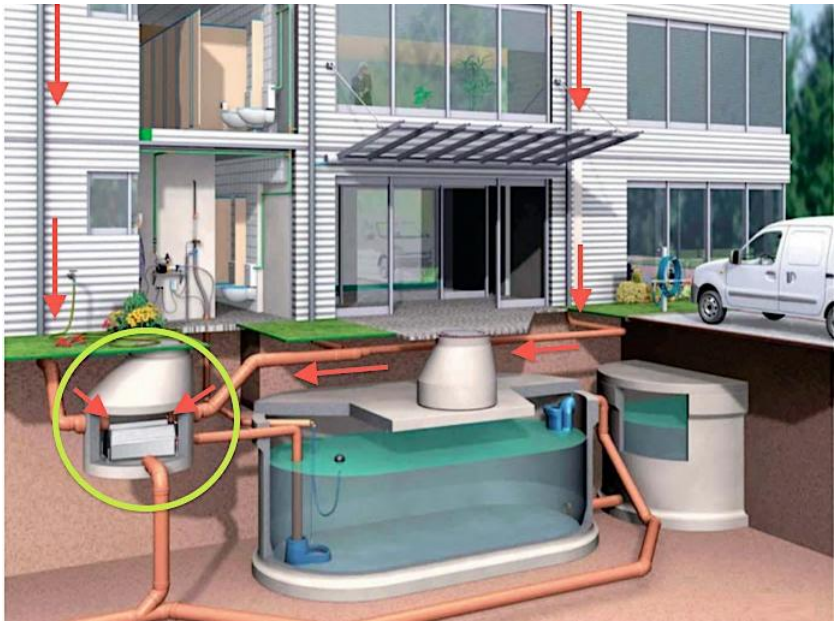

Figura 40 - Exemplo de localização do poço técnico para o filtro industrial
Fonte: Adaptado de 3P Technik (2015)

5.1.3.3 Armazenamento

A água pré-tratada é então encaminhada para um reservatório de armazenamento de água, que é o principal elemento de um projeto de aproveitamento de águas pluviais. Esses reservatórios, também chamados de cisternas, podem ficar situados ao lado da edificação ou ainda construídos sob o terreno, normalmente ficam enterrados para evitar exposição à luz e proliferação de algas, além de manter a água a uma temperatura mais baixa. Para a melhor adequação da cisterna deve-se analisar cada caso isoladamente, visando a maior economia e comodidade dos usuários.

De acordo com ANA (2005), o cálculo de volume se dá em base anual, levando em conta o regime de precipitação local e as especificidades de demanda da edificação. Podendo ser utilizada uma bateria de reservatórios interligados, dependendo do volume a ser armazenado e da área disponível para o armazenamento (MAY, 2009).

Segundo Ferreira (2005), a armazenagem em cisternas deve garantir um patamar apropriado de qualidade e evitar eventuais ocorrências de contaminação. Estes reservatórios podem ser construídos nos mais diversos materiais, cuja escolha dependerá do seu fim, capacidade volumétrica, custo e necessidades. Os materiais atualmente utilizados de forma mais comum são concreto, aço, fibra de vidro e polietileno.

Cisternas metálicas

Macomber (2001 apud Marinoski et al. 2004) aponta que cisternas metálicas com forros plásticos possuem custo reduzido e simplicidade de instalação, entretanto apresentam reduzida resistência e durabilidade. Quanto às cisternas de aço, mesmo apresentando um balanço positivo entre despesa e durabilidade, sofrem interferência de oxidação e deterioração no seu interior. A Figura 41 apresenta modelos de cisternas metálicas.

Cisternas em alvenaria

As cisternas em alvenaria e/ou concreto armado (Figura 42) devem ser elaboradas em consonância com todas as premissas e especificidades do sistema de aproveitamento de águas pluviais, incluindo as especificidades do solo, os limites da área e suas utilizações, até mesmo os impermeabilizantes apropriados para uso. Apesar da durabilidade conferida pelos

reservatórios em alvenaria, sua remoção ou reutilização em outros locais é impraticável (FERREIRA, 2005).

Figura 41 - Modelos de cisterna metálica

Fonte: Innovative Water Solutions (2015) e The Earth Times (2015)

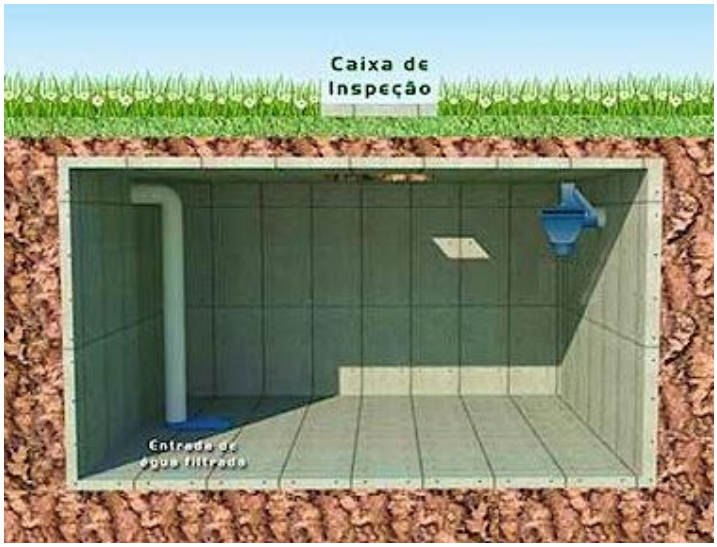

Figura 42 - Simulação de cisterna em alvenaria

Fonte: Adaptado de Ecocasa (2015)

Cisternas em fibra de vidro ou polietileno

Reservatórios de fibra de vidro e polietileno possuem estruturas leves e resistentes a raios ultravioletas, além de serem pré-fabricados e facilmente encontrados no mercado. Entretanto, deve haver o cuidado de certificar-se que não possuem materiais tóxicos em sua composição (FERREIRA, 2005).

Devido ao fato de serem pré-fabricadas, como mostra a Figura 43, proporcionam conexão adequada com os tubos, acesso facilitado ao seu interior, volumes apropriados a cada projeto, resistência a aplicação subsuperficial sem a exigir obras de contenção, simples manejo, dentre outras especificidades observadas na norma técnica que orienta o armazenamento de água (ECOCASA, 2015).

Figura 43 - Modelo de cisterna pré-fabricada em polietileno
Fonte: Bakof Tec (2015)

5.1.3.4 Tratamento

O sistema de tratamento das águas pluviais é iniciado dentro do próprio reservatório de armazenamento, e dependerá da qualidade da água captada e do seu destino final. De forma geral, observando-se os usos mais prováveis em edifícios universitários (irrigação de áreas verdes, lavagens de pisos, descarga em vasos sanitário, etc.) são adotados sistemas de tratamento que compreendem sedimentação simples, filtração simples e desinfecção com cloro ou através de radiação ultravioleta. Caso seja necessário, podem ser empregados sistemas que providenciem níveis de qualidade maiores, através de processos com produtos químicos, sedimentação avançada, filtração dupla, atém mesmo processos de oxidação e de membrana (ANA, 2005), como foram apresentados para o tratamento de águas cinzas na seção 5.1.2.3.3.

Tanque de decantação

Nos sistemas mais simples, o tanque de decantação (Figura 44) proporciona a segregação das impurezas que ainda restaram na área de cobertura mesmo após realizado o pré-tratamento da água captada. Pode ser implantado dentro ou fora do reservatório, e permanecerá com a água por um determinado tempo, no qual os resíduos mais densos serão decantados, devendo então ser esvaziado periodicamente. Tratando-se de um sistema mais simples, tem melhor funcionamento quando as precipitações não são muito expressivas, de modo que uma vazão significativa de captação da água dificultaria o processo.

Freio d'água

O freio d'água é um dispositivo localizado no interior na cisterna, acoplado a tubulação de entrada da água pré-tratada, que tem como função induzir a sedimentação e oxigenação da água, de forma que as finas partículas mais pesadas de impurezas se depositam no fundo e as mais leves flutuem na superfície do tanque (Figura 45). Na camada de partículas que se sedimentam forma-se um biofilme, que influencia positivamente a água armazenada. O freio d'água previne que esses sedimentos sofram agitação, ao mesmo tempo que oxigenam a parcela mais inferior da água armazenada (3P TECHNIK, 2015), evitando que ali ocorram processos anaeróbios.

Sifão extravasor

O sifão extravasor da cisterna, também conhecido como ladrão (Figura 46), é desenhado para realizar a aspiração da lâmina superficial da água armazenada, removendo automaticamente as partículas leves da superfície da água quando o tanque extravasa.

Para a garantia de qualidade apropriada da água é necessário que a cisterna extravase periodicamente, prevenindo possíveis complicações na água. A camada que flutua (poeira, pólen) poderia tomar superfície impedindo a passagem de oxigênio para a água, podendo acarretar em um processo anaeróbio de decomposição (3P TECHNIK, 2015).

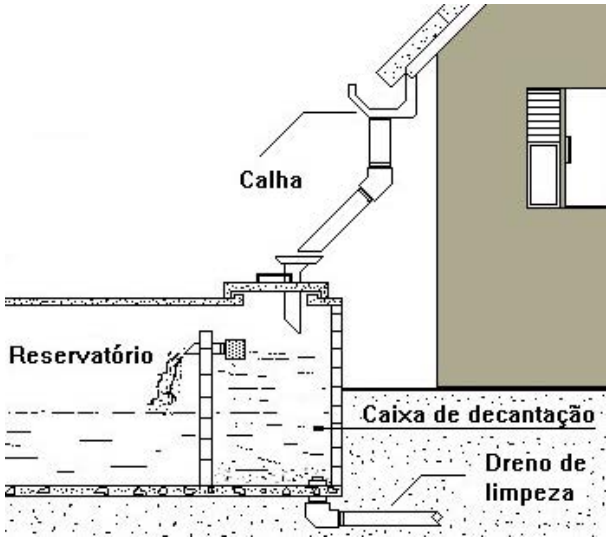

Figura 44 - Desenho esquemático de disposição do tanque de decantação

Fonte: Adaptado de Portal Metalica (2015)

Filtro flutuante de sucção

O filtro flutuante de sucção é instalado na mangueira da bomba que realiza o recalque da água da cisterna para alimentar os pontos de consumo ou o reservatório superior. Realizam a filtragem das impurezas que possivelmente ainda encontrem-se na cisterna, assegurando a qualidade da água e prevenindo complicações com a bomba (AQUASTOCK, 2015).

A água de chuva não deveria ser captada diretamente do ponto mais baixo dentro da cisterna, para que as partículas de sedimentos não sejam levantadas e sugadas. O flutuador esférico proporciona que a região de sucção siga o nível de água, assegurando que a água seja sugada na camada com menos impurezas: imediatamente sob a superfície (AQUASTOCK, 2015), como mostra a Figura 47.

Filtram partículas de até 0,3 mm e podem ser adaptados a qualquer bomba. Há modelos no mercado disponíveis em diversas bitolas, para diferentes vazões.

A água bombeada para fora do reservatório, em direção aos pontos de consumo, deve passar por outras etapas de tratamento conforme o uso desejado. As etapas mais comuns observadas na literatura foram as já apresentadas: filtragem em areia, cloração e radiação UV-C (ver seções 5.1.2.3.2 e 5.1.2.3.3).

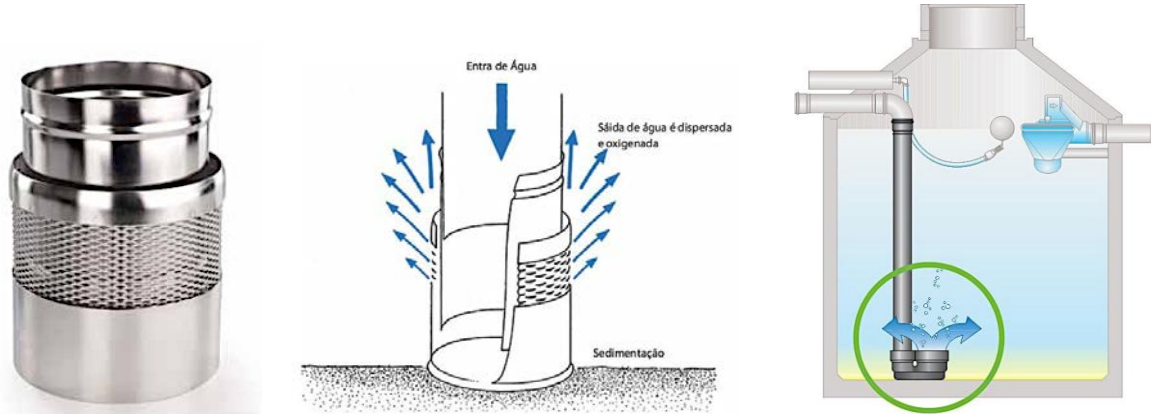

Figura 45 - Modelo de freio d'água (esq.) e sua disposição no reservatório (dir.)

Fonte: Wisy (2015) e 3P Technik (2015)

Figura 46 - Modelo de sifão extravasor e sua disposição no reservatório

Fonte: 3P Technik (2015)

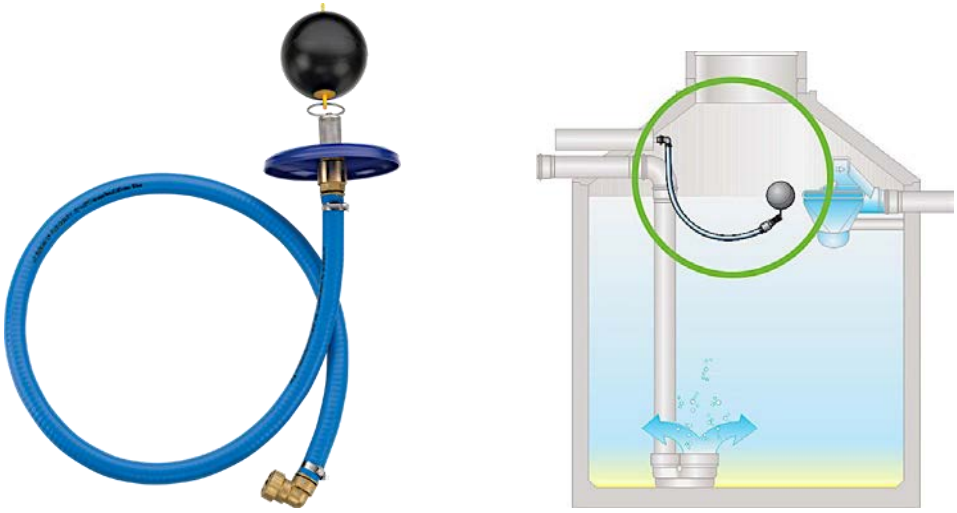

Figura 47 - Modelo de filtro flutuante de sucção e sua disposição no reservatório

Fonte: 3P Technik (2015)

5.1.3.5 Distribuição

Reservatório superior

Assim como no sistema de águas cinzas, após as etapas de tratamento o efluente tratado do sistema de águas pluviais pode ser destinado para um reservatório específico, totalmente independente do reservatório de água potável.

A água pluvial tratada pode ser conduzida com a ajuda de uma bomba de recalque (ou pressurizadora) para um reservatório superior, posicionado sobre a laje do edifício ou elevado na parte externa, de onde seguirá aos pontos de consumo por gravidade.

Conforme apresentado na seção 5.1.2.4 sobre os reservatório de água de reúso, a instalação de reservatórios sobre as edificações gera um considerável aumento de cargas na estrutura das mesmas, podendo inviabilizar essa opção em prédios já construídos. Dessa forma, presume-se que um reservatório elevado ou no nível do chão seria mais adequado.

Pontos de distribuição de água pluvial

Assim como os pontos de distribuição de água de reúso, todos os pontos de acesso à água pluvial devem ter acesso restrito, e devem ser identificados apropriadamente, conforme apresentado na Figura 48. Essa medida diz respeito a questões de segurança que serão abordadas na seção 5.2.

Figura 48 - Placa de identificação de ponto de água pluvial

Fonte: Condomínios Verdes (2015)

As principais características, vantagens e desvantagens das tecnologias e alternativas levantadas para o sistema de captação e aproveitamento de águas pluviais estão condensadas no Quadro 4.

Quadro 4 - Tecnologias e alternativas para o sistema de aproveitamento de águas pluviais

TECNOLOGIA/ALTERNATIVA		PRINCIPAL CARACTERÍSTICA	PRINCIPAL VANTAGEM	PRINCIPAL DESVANTAGEM
PRÉ-TRATAMENTO	Grades de calha	Instaladas na saída da calha ou ainda percorrendo toda a extensão da mesma	Impedimento de impurezas, evitando obstruções	Não informado
	Reservatório de descarte	Descarte da água de chuva inicial que contém a maior parte das impurezas	Melhora a qualidade da água encaminhada para as próximas etapas	Volume de descarte necessário
	Filtro de descida	Aplicados diretamente nos tubos de descida da cobertura	Separação das impurezas no próprio condutor	Áreas de captação limitadas a 150 m²
	Filtro volumétrico	Instalados no ponto de união das tubulações coletoras da água pluvial	Subterrâneo e é capaz de suportar pressões de até 60 ton	Não informado
	Filtro industrial	Indicados para áreas de captação maiores, dispõem de um sistema de dupla limpeza	Alta eficiência independente da vazão	Precisam ser instalados dentro um poço técnico
ARMAZENAMENTO	Cisternas metálicas	Tanques de metal com forros plásticos ou tanques de aço	Apresentam baixo custo e facilidade de instalação	Menor resistência e durabilidade, problemas de oxidação e deterioração
	Cisternas em alvenaria	Cisternas em alvenaria e/ou concreto armado	Alta durabilidade	Não podem ser removidas ou reutilizadas em outros locais
	Cisternas em fibra de vidro ou polietileno	Cisternas em fibra de vidro ou polietileno	Leves e resistentes a raios ultravioletas	Possibilidade de materiais tóxicos na composição
TRATAMENTO	Tanque de decantação	Separação de impurezas residuais que tenham ficado depois do pré-tratamento	Decantação dos resíduos mais grosseiros	Vazão elevada da água dificultaria o processo
	Freio d'água	Acoplado a tubulação de entrada da água na cisterna, tem como função induzir a sedimentação e oxigenação da água	Impede agitação dos sedimentos e oxigena a água	Não informado
	Sifão extravasor	Aspiração da lâmina superficial da água armazenada	Remove as partículas leves da superfície da água quando o tanque extravasa	Não informado
	Filtro flutuante de sucção	Instalado na mangueira que faz o bombeamento da água da cisterna, para fornecê-la aos pontos de uso	Assegura que a água seja captada na superfície e filtra impurezas que ainda estejam no reservatório	Requer instalação direta na bomba de captação

Fonte: Elaborado pelo autor, com base em 3P Technik (2015), ANA (2005), Aquastock (2015), Ferreira (2005), Hafner (2007) e Macomber (2001 apud Marinoski et al. 2004).

5.2 CONSIDERAÇÕES LEVANTADAS E ASPECTOS DE SEGURANÇA

Os equipamentos economizadores de água apresentam características próprias de instalação, funcionamento, operação e manutenção. Para assegurar o desempenho de tais equipamentos, com garantia e manutenção dos níveis de economia de água estimados, é essencial que estes (ANA, 2005):

- Sejam especificados apropriadamente, de acordo com a finalidade a que se destinam e do tipo de usuário;
- Sejam instalados adequadamente, em função das orientações e exigências dos respectivos fabricantes;
- Sejam operados da maneira apropriada, com o objetivo a que se destinam, com eventual treinamento de usuários se for preciso;
- Recebam a manutenção exigida (preventiva ou corretiva) que assegure a regulagem e a operação adequada dos equipamentos, em função das especificações dos respectivos fabricantes.

De acordo com Rapoport (2004), qualquer processo de reúso de águas residuárias não é de fácil aceitação pelos usuários, devendo ser acompanhado de estudos que esclareçam e forneçam subsídios aos usuários e aos responsáveis para tomada de atitudes com relação a sua utilização com segurança.

Ao se implantar o sistema de reúso de águas cinzas deve-se apresentar claramente a todos os usuários não só a importância do sistema, mas também os riscos associados e os cuidados que devem ser tomados a fim de evitá-los.

Tais riscos a serem considerados dizem respeito principalmente à saúde pública dos usuários, visto que estas águas não estão isentas de contaminação (RAPOPORT, 2004). Por esse motivo, ANA (2005) destaca alguns cuidados básicos que merecem destaque:

- O sistema hidráulico deve receber identificação e ser totalmente independente do sistema de fornecimento de água potável;
- Todos os pontos de consumo de água de reúso requerem acesso restrito, e devem ser identificados apropriadamente;

- As pessoas que trabalharem em operações inerentes ao sistema de reúso necessitam receber apropriadas instruções;
- Os reservatórios de armazenamento necessitam ser específicos.

O controle do processo de reúso de águas é extremamente importante, devendo iniciar pela exigência de independência das tubulações de água potável e água de reúso. Tais tubulações devem inclusive ser pintadas com coloração distinta e com denominação que alerte acerca do uso delas, principalmente quando destinadas para lavagem de pisos e irrigação de coberturas verdes (FIORI; FERNANDES; PIZZO, 2006).

Protozoários e helmintos não são considerados, segundo Rapoport (2004), problemáticos em relação à contaminação do lençol freático no caso de reúso para irrigação, nem tampouco no caso de reúso em bacias sanitárias, pois conseguem ser removidos ao serem submetidos a sistema de filtração, ou enquanto a água percola por gravidade no solo, devido ao seu tamanho. Já os organismos que são relativamente resistentes a desinfecção, tais como Giárdia e Cryptosporidium, podem permanecer por longo período de tempo no sistema caso não sejam eliminados com eficiência em processo de sedimentação e filtração (RAPOPORT, 2004).

Ainda de acordo com Rapoport (2004), os vírus compõem o grupo mais crítico de patógenos, que podem causar danos mesmo em doses baixas. Entretanto, sua presença não é detectada pelas análises microbiológicas de rotina, que se baseiam em indicadores mais facilmente quantificáveis, como os C. totais e C. termotolerantes, espécies que indicam o potencial de transmissão de doenças ao invés de configurarem um real risco de doenças.

Além disso, para a utilização das águas de reúso para infiltração ou irrigação, deve-se atentar aos produtos químicos nela presentes, buscando evitar a contaminação por compostos xenobióticos do lençol freático e da própria cobertura vegetal irrigada (RAPOPORT, 2004).

Dessa forma, apesar de serem menos contaminadas do que o esgoto sanitário bruto, fica explícita a necessidade de tratamento adequado as águas cinzas visando seu reúso com segurança para os usuários e para o meio ambiente.

Como mencionado, os reservatórios de armazenamento devem ser específicos, e principalmente na etapa de coleta não se deve misturar as águas cinzas com as águas pluviais, visto que para o armazenamento de águas pluviais deve-se prever um reservatório de maior volume, além do fato de que as águas cinzas possuem maiores níveis de contaminação. Caso

entrassem em contato, haveria a contaminação de um volume bem maior do que o formado exclusivamente por águas cinzas (RAPOPORT, 2004).

Ainda, o reservatório de água de chuva tratada pode sofrer contaminação quando esta permanecer muito tempo armazenada sem cloração ou quando da ocorrência de algum inconveniente na etapa de tratamento.

Por esse e outros motivos, os sistemas de captação e aproveitamento de águas pluviais exigem cuidados gerais e especificidades construtivas que possibilitem a segurança do fornecimento, assegurem a qualidade da água reservada e mantenham níveis operacionais apropriados e econômicos. Dentre tais medidas, destacam-se (ANA, 2005):

- Evitar a entrada de luz do sol no reservatório para diminuir a proliferação de algas e microrganismos;
- Manter a tampa de inspeção fechada;
- Colocar grade ou tela na extremidade de saída do tubo extravasor, para evitar a entrada de pequenos animais;
- Realizar a limpeza anual do reservatório, removendo os depósitos de sedimentos;
- Projetar o reservatório de armazenamento com declividade no fundo na direção da tubulação de drenagem, para facilitar a limpeza e retirada de sedimentos;
- Assegurar que a água coletada seja utilizada somente para fins não-potáveis;
- Pintar de colorações distintas as linhas de captação e de fornecimento de águas pluviais. Conexões e sistemas de roscas também devem ser distintos para prevenir a possibilidade de acontecer conexão cruzada com o sistema de fornecimento de água potável. As torneiras devem ser operadas através de sistemas de chaves destacáveis para prevenir a utilização como água potável;
- Colocar placas indicativas com as torneiras de acesso geral, com a descrição “Água não-potável”;
- Monitorar programadamente a qualidade da água distribuída;
- E ainda, prever a conexão (sem possibilidade de contaminação) de água potável com o reservatório de armazenamento, assegurando o consumo diário por ocasião de estiagens prolongadas;

As águas de chuva não necessariamente atendem as demandas diárias, uma vez que as precipitações podem não ocorrer diariamente, podendo inclusive suceder longos períodos sem

nenhuma chuva no local. Dessa forma, é essencial que o sistema possua interligação com a rede de distribuição de água potável, para o abastecimento do reservatório em caso de estiagens prolongadas.

O sistema automático de realimentação (SAR), apresentado na Figura 49, realiza o abastecimento do reservatório de água pluvial automaticamente na ocorrência de estiagens prolongadas ou consumo acima do que havia sido armazenado. Uma boia de nível confere o nível de água no reservatório e abre uma válvula magnética, que permite a entrada de água da tubulação de água potável (AQUASTOCK, 2015).

Esse sistema dispõe de um bocal separador para prevenir contato de água de chuva e água de rede de água potável, sua instalação pode ocorrer dentro ou fora do reservatório e requer um ponto de alimentação elétrica para acionamento da boia e da válvula solenoide.

Figura 49 - Modelo de realimentador automático
Fonte: Wisy (2015)

Este sistema também é indicado para os reservatórios de água de reúso, que também sofrem essas flutuações. "Em períodos que o volume de água de reúso no reservatório está baixo ou insuficiente, deve ser previsto a reversão do sistema para abastecimento com água potável" (GONÇALVES, R. et al., 2010).

5.3 ASPECTOS ECONÔMICOS E ANÁLISES DE CUSTO

Do ponto de vista técnico e operacional, o emprego de qualquer estratégia que vise a implantação de medidas de conservação deve levar em conta todas as intervenções que poderão decorrer das mesmas, de forma que os custos envolvidos estarão diretamente associados à limitação da aplicacão de tais medidas (SAUTCHÜK et al., 2005).

De acordo com Albuquerque Neto e Julio (2014), as principais formas despesas em todo os projeto são as despesas iniciais e as despesas de ciclo de vida. As despesas iniciais são aquelas associadas a materiais ou produtos, incluindo valor de aquisição e instalação, já as despesas do ciclo de vida dizem respeito à toda vida útil da edificação.

Dessa forma, além dos custos iniciais da construção, deve-se calcular os custos em sua vida útil e o retorno do investimento inicial, conforme o potencial de economia das tecnologias e alternativas preconizadas (ALBUQUERQUE NETO; JULIO, 2014).

Estima-se que a implantação em edifícios universitários das tecnologias e alternativas abordadas nesse trabalho refletirá imediatamente no seu consumo de água, consequentemente reduzindo as despesas mensais referentes a água e esgoto. Desse modo, o custo de vida desses edifícios será menor, e os custos de implantação se pagarão dentro de alguns anos. Esse período de tempo é conhecido como *payback* ou tempo de retorno.

Para novos projetos de edifícios universitários, no cálculo do tempo para o retorno do investimento são considerados: o custo de aquisição e o consumo dos equipamentos convencionais, o custo de aquisição e o consumo dos equipamentos economizadores, o custo de possíveis adaptações necessárias no projeto, a economia de água gerada pela tecnologias e alternativas economizadoras, a tarifa de água/esgoto e as taxas de juros.

Em blocos universitários já edificados, o benefício econômico da substituição de equipamentos convencionais por economizadores depende das condições locais. Dessa forma, antes da aplicação dessa medida, recomenda-se uma avaliação técnica e econômica das intervenções necessárias para a alteração do sistema. Verificando-se os equipamentos a serem considerados e seus respectivos custos, incluindo de mão-de-obra e de obras civis eventualmente necessárias (ANA, 2005).

No caso de edificações existentes, para analisar as vantagens e a viabilidade da substituição dos equipamentos sanitários, seria necessário fazer a correspondência entre a economia de água esperada e o custo da substituição (HAFNER, 2007), tal correspondência também é estimada pelo tempo de retorno do investimento, ou seja, o tempo necessário para

que o custo com a substituição dos equipamentos seja compensado pela redução na cobrança, devido à economia de água gerada pelos novos equipamentos. O cálculo do tempo para o retorno do investimento, segundo Hafner (2007), pode ser realizado através da Equação 1.

$$TR = \frac{G}{(C \times E \times p - G \times r)} \quad (1)$$

Em que:

TR - tempo de retorno (anos);

G - custos (reais);

G = Ge + MO, na qual:

Ge - custo de aquisição de equipamento novo;

MO - custo da mão-de-obra para efetuar a substituição.

C - consumo (litros);

C = 365 x uso x Cc, na qual:

uso - número de acionamentos por dia;

Cc - consumo do equipamento convencional (antigo) (litros/acionamento).

E - taxa de economia de água gerada pela substituição;

E = 1 - (Ce / Cc), na qual:

Ce - consumo do equipamento economizador (novo) (litros/acionamento);

Cc - consumo do equipamento convencional (antigo) (litros/acionamento).

p - custo do consumo de um litro de água;

p = (tarifa de água + tarifa de esgoto) x fator de multiplicação / 1000

r - taxa de juros simples

O Quadro 5 apresenta a economia esperada com base em histórico de estudos de casos, através de reduções médias possíveis, nos variados espaços prediais, quando da substituição de aparelhos convencionais por aparelhos economizadores de água.

Para o elenco dos equipamentos indicados, ANA (2005) considerou três níveis de atratividade em relação ao tempo de retorno (TR):

- Muito alta (A): até 2 meses
- Alta (B): de 2 a 5 meses
- Média (C): de 5 a 9 meses

Ainda de acordo com ANA (2005), é de grande valia observar que o TR será mais representativo nas edificações cuja pressão é mais elevada e, portanto, a vazão praticada nos aparelhos hidráulicos está muito elevada em relação às especificações normativas e medidas de higiene. Em situações assim, os elementos de redução serão mais consideráveis, de forma que não se deve tratar de valores absolutos de redução, mas de preferência em intervalos e médias esperadas.

Quadro 5 - Economia presumível baseada em hisórico de estudos de casos

Local	Vazões Usuais L/s		Aparelhos Indicados	Redução % média para alta pressão	TR
	Média	Máxima			
Banheiros e Vestiário					
Chuveiro	0,2	0,8	Registro regulador de vazão	40	A
			Válvula de fechamento automática	42	B
			Válvula acionamento com o pé	45	C
Lavatório	0,1	0,3	Registro regulador de vazão	40	A
			Arejador para bica ou torneira	24	B
			Torneira automática	48	A
			Torneira eletrônica	58	B
Mictório	0,1	0,25	Válvula mic. automática /eletrônica	50	B
Bacia	12 litros		Bacia VDR para 6 litros	50	A
Cozinha					
Pia	0,13	0,4	Arejador para bica ou torneira	24	A
			Torneira automática	48	B
			Válvula acionamento com o pé	52	B

Fonte: Adaptado de ANA (2005)

Para os sistemas de reúso de águas cinzas e para os sistemas de aproveitamento de águas pluviais, o período de retorno do investimento pode ser determinado após efetuadas as estimativas de 1) custos de implantação do sistema, 2) custos mensais de operação e manutenção do mesmo, e 3) economia de água após a implantação.

Segundo Sella (2011), os custos iniciais de implantação envolvem principalmente as tubulações de captação e distribuição, a aquisição dos sistemas de tratamento, as bombas de recalque, os reservatórios, os demais materiais de construção dos sistemas, os acessórios necessários para as instalações e a mão-de-obra envolvida.

Os pontos de destaque na questão de despesas associadas são os reservatórios e as bombas de recalque. Conforme recomenda a NBR 5.626 (ABNT, 1998), que estabelece as exigências e recomendações para realização do projeto, execução e manutenção de instalações prediais de água fria (ABNT, 1998, p. 2), é exigido que as instalações elevatórias possuam ao

menos duas bombas independentes que assegurem a distribuição de água caso haja inoperância de uma das unidades. Quanto aos reservatórios, deve ser realizada uma consulta no mercado com o objetivo de levantar valores médios para cada um, após a determinação dos volumes necessários. De acordo com a Tigre Brasil (2005, apud FERREIRA, 2005), tubos e conexões correspondem a menos de 3% das despesas de uma obra.

As despesas com mão-de-obra podem ser orçadas de duas formas, a primeira através da elaboração de um contrato de prestação de serviços onde será definido o serviço a ser realizado e o custo de execução. A outra seria através do pagamento por hora de trabalho (FERREIRA, 2005).

Na estimativa de custos de operação e manutenção, deve ser considerado principalmente o consumo de energia gasto com os equipamentos, como as bombas de recalque, os acessórios do reservatório e o sistema de tratamento selecionado.

O cálculo da despesa para cada equipamento pode ser dado pelo produto entre a potência do mesmo, o tempo diário de utilização, a quantidade de dias utilizado no mês e o custo do kWh cobrado pela concessionária de energia (Equação 2).

$$CMEE = (PE \times T \times D \times V) \quad (2)$$

Em que:

CMEE - custo da energia elétrica para o funcionamento do equipamento (R$/mês);

PE - potência do equipamento (kW);

T - tempo de funcionamento do equipamento (h/dia);

D - número de dias de funcionamento do equipamento no mês;

V - valor da tarifa de energia elétrica consumida (R$/kWh)

Sendo o custo final mensal de operação e manutenção do sistema (CMOM) definido pela somatória dos custos obtidos (Equação 3):

$$CMOM = \sum_{i=0}^{n} CMEE \quad (3)$$

Os custos de manutenção dos equipamentos para tratamento variam de acordo com o sistema selecionado. Dependendo do tratamento, não se fará necessário muitas intervenções,

como reposições e substituições de peças, limpezas periódicas, etc. Nesse sentido, a complexidade é um fator limitante para a seleção da tecnologia, visto que os sistemas mais complexos tornam-se economicamente e operacionalmente inviáveis (MORELLI, 2005).

Para a estimativa da economia água após implantação do sistema de reúso de águas cinzas, deve ser inicialmente realizado um estudo que determine os volumes mensais de água cinza produzida, e os volumes mensais de água de reúso demandada pelos destinos pretendidos.

De forma análoga, para a estimativa de economia mensal de água após implantação do sistema de aproveitamento de águas pluviais, deve ser inicialmente realizado um estudo que determine os volumes mensais de água pluvial captada, e os volumes mensais de água pluvial demandada pelos destinos pretendidos. Com estes dados, pode-se realizar a estimativa do volume mensal de água economizado (E).

Se o volume de oferta, ou seja, o volume de água (cinza ou pluvial) produzido (Vp), for maior que o volume demandado (Vd), então será economizado tudo que for demandado. Dessa forma, a estimativa de água economizada pode ser considerada como sendo o próprio volume de demanda (Equação 4). Portanto:

$$Vp > Vd \Rightarrow E = Vd \quad (4)$$

Se o volume demandado for maior que o volume de água (cinza ou pluvial) produzido, então só será economizado o que for ofertado. Dessa forma, a estimativa de água economizada pode ser considerada como sendo o próprio volume de água (cinza ou pluvial) produzido (Equação 5). Portanto:

$$Vd > Vp \Rightarrow E = Vp \quad (5)$$

Estimado o volume mensal de água economizado, pode-se calcular a economia mensal em reais (ER), observada a tarifa da concessionária de água e esgoto. Entretanto, para obter-se a economia mensal efetiva (EE), deve-se subtrair a estimativa de custos mensais de operação e manutenção do sistema do que foi estimado de economia mensal de água em reais (Equação 6).

$$EE = ER - CMOM \quad (6)$$

Multiplicando a economia mensal efetiva pelo fator 12 (meses), como mostra a Equação 7, obtem-se a economia anual efetiva (U), que será utilizada para o cálculo do tempo de retorno.

$$U = EE \times 12 \quad (7)$$

Uma aproximação do tempo de retorno do investimento, não considerando as eventuais taxas de juros e reajustes de tarifa, é apresentada por Sella (2011) conforme a Equação 8:

$$n = \frac{P}{U} \quad (8)$$

Onde:

n - o número de anos (anos);

P - o valor do investimento inicial (R$);

U - o valor da parcela de economia anual (R$).

De acordo com ANA (2005), a avaliação econômica dos projetos de captação de águas pluviais é consideravelmente positiva, servido para a redução significativa de valores mensais das despesas com água.

Não há dificuldade, segundo Hespanhol (2012), para a avaliação dos benefícios diretos, já os benefícios indiretos:

> *"são 'elementos não monetários' e, infelizmente, não são levados em consideração na avaliação econômica de projetos de reúso. Entretanto, as melhorias ambientais motivadas pelo reúso, principalmente em termos de preservação de recursos hídricos, e o incentivo proporcionado para a construção de sistemas de coleta de esgotos urbanos, são extremamente relevantes. Esse benefícios são tão importantes, que tornam meramente subsidiárias as análises de custo/benefício como elemento de decisão para a implementação de projetos de reúso, principalmente em países em desenvolvimento, ou em rápido estágio de industrialização, como é o caso do Brasil".*

No entanto, ALVES et al. (2009) observa que, em alguns casos, a prática do reúso se mostra como uma alternativa mais economicamente atrativa do que a utilização de águas pluviais, sobretudo nas edificações de grande porte.

5.4 ASPECTOS AMBIENTAIS E SOCIAIS

Conforme Kalbusch (2011 apud Albuquerque Neto e Julio 2014), a viabilidade da substituição de equipamentos convencionais por equipamentos economizadores de água requer análise para que seja garantida sua efetividade em termos ambientais. Tal verificação pode ser realizada através dos conceitos relacionados ao método de gerenciamento ambiental da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) cuja estrutura está pautada no conjunto de normas NBR 14.040/09: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura.

Através da ACV, são "analisadas as fases de produção, uso e disposição final dos equipamentos hidrossanitários com quantificação das entradas referentes a matérias-primas, água e energia e as saídas como forma de emissões atmosféricas, no solo e na água" (ALBUQUERQUE NETO; JULIO, 2014). De forma mais específica, podem-se destacar na Figura 50 alguns impactos sobre o ambiente exercidos nessas etapas.

Figura 50 - Ciclo dos equipamentos

Fonte: Kwai (2013)

Tanto para a utilização das águas pluviais, como também para o reúso de águas cinzas são propiciados significativos benefícios ambientais, através do uso sustentável dos recursos hídricos, da redução da poluição hídrica nos mananciais, do estímulo ao uso racional e da conservação de água potável, permitindo, com a múltipla utilização das águas aduzidas, incrementar a infraestrutura de abastecimento desta e do tratamento de esgotos (ANA, 2005).

Ainda, Sautchük et al. (2005) destacam a contribuição para a redução do despejo de efluentes em cursos d'água, para a redução da adução de águas superficiais e subsuperficiais e para o incremento da disponibilidade de água para fins mais restritivos.

De acordo com Vaes e Berlamont (2001 apud MAY, 2009), são muitos os benefícios socioambientais obtidos com a implantação de sistemas de captação e aproveitamento de águas pluviais: não só benefícios de conservação de água, mas também na educação ambiental, na redução do escoamento superficial, que também reduz a carga nos sistemas urbanos de transporte de águas pluviais e acarreta em amortecimento dos picos de enchentes, favorecendo a redução de inundações (ANA, 2005) e para a restauração do ciclo hidrológico em áreas urbanas (ZAIZEN et al., 1999).

Ainda, o cumprimento às exigências estabelecidas pela legislação ambiental configura um fator de economia, visto que implica na redução de riscos de incorrência de penalidades e passivos ambientais, além de favorecer a imagem externa da instituição, conforme as evidências de práticas sustentáveis e estímulo às oportunidades de pesquisa (CASAGRANDE JÚNIOR; DEEKE, 2009).

As universidades, nesse contexto, devem encarar a implantação de tecnologias e alternativas de conservação em seus espaços e edificações como significativas oportunidades de se transformarem em sistemas de demonstração, com foco na busca e aplicação de conceitos e práticas na criação e disseminação de conhecimento, objetivando treinamento, pesquisa e o desenvolvimento do setor.

Dessa forma, além de colaborar com a redução de todos os gastos públicos, diretos e indiretos, que envolvem a demanda de água potável e a geração de efluentes, inicia-se um processo de conscientização junto à sociedade a fim de se alcançar resultados efetivos na conservação dos recursos hídricos, os quais só ocorrerão através de medidas aplicadas de maneira ampla e abrangente, através de políticas institucionais e legislações realistas que endossem o tema.

5.5 SUGESTÕES PARA FUTURAS E ATUAIS EDIFICAÇÕES NO CÂMPUS DA UNESP DE RIO CLARO

Os **equipamentos economizadores** são os mais apropriados para o uso público ou coletivo, como em instalações universitárias. Dessa forma, nos prédios existentes recomenda-se a substituição dos equipamentos convencionais, e para novas obras devem ser previstas no projeto exclusivamente aqueles mais apropriados para o uso racional da água (ANA, 2005).

O objetivo da substituição dos equipamentos hidrossanitarios convencionais por equipamentos mais eficientes é diminuir o consumo de água. Entretanto, essa medida deve ser adotada apenas quando o sistema estiver estável, não havendo perda de água por vazamento (NUNES, 2006).

A seleção dos equipamentos eficientes deve considerar as condições físicas de cada sistema e as necessidades dos usuários, de acordo com suas atividades relacionadas à água. Ainda assim, somente através de uma avaliação técnico-financeira poderá ser estipulada a melhor opção em relação aos investimentos, ao percentual de redução de água, ao custo de manutenção, à vida útil do equipamento, etc. (NUNES, 2006).

Portanto, para realizar a seleção de tecnologias e alternativas em equipamentos sanitários apropriados para a Unesp de Rio Claro, devem ser consideradas as seguintes questões (ANA, 2005):

- a pressão hidráulica disponível nos pontos de utilização;
- o conforto do usuário;
- a higiene;
- a atividade do usuário;
- o risco de contaminação;
- a facilidade de manutenção;
- a facilidade de instalação, tendo em vista a possível adequação do sistema;
- o estudo de viabilidade técnico-financeira;
- as ocorrências de vandalismo

Tratando-se de um equipamento público, de uso coletivo e frequente, é interessante que os projetos de novas edificações no câmpus prevejam tecnologias e alternativas economizadoras de água, principalmente nos pontos mencionados acima.

Com relação as torneiras de lavatórios e pias, sugere-se tanto em novos projetos como em prédios existentes a opção/substituição por torneiras de fechamento automático hidromecânico, junto com a instalação de arejadores, especialmente em pontos onde não seja necessário grande volume de água.

A inclusão de torneiras por sensor no projeto de novas edificações da Unesp de Rio Claro pode ser uma alternativa interessante, considerando-se o uso público coletivo e em larga escala. Entretanto haveria um aumento significativo no consumo de energia elétrica, cuja viabilidade deve ser cuidadosamente avaliada no estudo técnico-financeiro.

Nas unidades já edificadas do câmpus, a substituição por torneiras com sensor não é sugerida, pois o sistema de alimentação elétrica necessitaria de obras civis para ser instalado, podendo inviabilizar a intervenção.

No caso das bacias sanitárias da Unesp, sugere-se que sejam trocadas as que estiverem enquadradas no padrão convencional por equipamentos com o sistema de duplo acionamento da descarga, que oferece dois tipos de vazão, de três ou seis litros, respectivamente para dejetos líquidos e para dejetos sólidos. Vazões abaixo disso nas bacias sanitárias não são recomendadas, devido aos possíveis problemas de autolimpeza nos ramais prediais.

Os mictórios do tipo convencional podem ser substituídos por modelos mais eficientes, como os de fechamento automático por válvulas hidromecânicas, que não necessitem de sensor com alimentação elétrica, principalmente no caso de prédios existentes, pois as intervenções civis necessárias para o sistema de alimentação elétrica poderiam inviabilizar a substituição.

Nos vestiários dos ginásios, é necessário verificar quais os tipos de duchas e chuveiros utilizados, suas vazões e o estado de conservação dos mesmos. Para os modelos que liberam uma grande quantidade de água, propõe-se a substituição por modelos com válvulas de fechamento automático e com registros reguladores de vazão.

Novamente, é importante considerar que a elaboração de um significativo estudo de viabilidade técnico-financeira específico para o sistema analisado é essencial para que se obtenha a solução mais eficiente em termos de redução de investimentos com elevado percentual de redução do consumo de água (NUNES, 2006).

Para a **implantação de um sistema de coleta e reúso de águas cinzas** na Unesp de Rio Claro, deve-se desenvolver um estudo detalhado para que os investimentos sejam efetivamente aproveitados e a implantação tenha o retorno esperado. Desse modo, sugere-se

que sejam seguidas as orientações contidas na NBR 8.160 (ABNT, 1999), através do roteiro abaixo (adaptado de SAUTCHÜK et al.,2005):

1. Identificação, quantificação e caracterização de todas as correntes de águas cinzas geradas no câmpus;
2. Identificação de todas as demandas de água existentes no câmpus e os respectivos requisitos de qualidade exigidos para uso;
3. Avaliação do aproveitamento de correntes específicas de efluentes para aplicação da prática de reúso em cascata;
4. Verificação da necessidade de segregação de correntes específicas de efluentes, as quais podem requerer um tratamento exclusivo;
5. Identificação de tecnologias com potencial para o tratamento dos efluentes identificados;
6. Desenvolvimento de ensaios de tratamento ou consulta a fornecedores especializados, para verificar o potencial de utilização das tecnologias identificadas;
7. Estruturação dos sistemas de coleta, tratamento e distribuição da água de reúso.

Como ponto inicial para o projeto, devem ser relacionados todos os aparelhos que contribuem com águas cinzas. Na Unesp de Rio Claro, as principais contribuições de águas cinzas são os lavatórios dos banheiros, os chuveiros dos vestiários e as pias das copas e da cozinha do refeitório.

É importante considerar que em edifícios universitários as águas cinzas apresentarão volumes relativamente reduzidos, pois serão oriundas quase que exclusivamente dos lavatórios dos banheiros.

Os destinos previstos para água de reúso devem ser, conforme sugerido pela literatura, para usos não-potáveis. Dessa forma, os principais pontos de consumo no câmpus seriam as descargas de bacias sanitárias, a irrigação das áreas verdes, usos ornamentais, limpeza de pisos, lavagens de veículos e reserva para controle de incêndio. Conforme a NBR 13.969 (ABNT, 1997) mencionada na seção 3.3.3, os requisitos de qualidade para estes fins estão todos enquadrados nas Classes 1, 2 e 3.

A coleta e o transporte das águas cinzas brutas devem ser realizados por condutores horizontais e verticais que as conduzem para os sistemas de tratamento e armazenamento preconizados. O dimensionamento desse sistema deverá ser realizado em conjunto com o

projeto hidráulico do edifício em consideração (ANA, 2005). A NBR 8.160 recomenda que o dimensionamento dos coletores e subcoletores considere apenas o aparelho de maior descarga em cada unidade (ABNT, 1999, p. 17), no caso, apenas a contribuição dos chuveiros, nos vestiários; dos lavatórios, nos banheiros; e das pias, na cozinha do refeitório.

O efluente tratado deve seguir para um reservatório exclusivo para água de reúso. Para a definição do volume deste reservatório, deve-se comparar o volume de águas cinzas gerado com o volume de água de reúso demandado. Com isso, permite-se avaliar a porcentagem de água potável que pode ser economizada implantando-se o sistema de reúso, auxiliando na estipulação de um volume adequado de reservatório (NOSÉ, 2008).

De acordo com Nosé (2008), o ideal é que se consiga armazenar todo o volume de água passível de ser reutilizada. Sendo assim, se o volume de águas cinzas produzido for maior que o volume de água de reúso demandado, adota-se o primeiro como capacidade volumétrica do reservatório. Caso contrário, essa definição se dá pelo volume referente à demanda por água de reúso.

Os reservatórios podem ser dispostos separadamente em cada unidade do câmpus que se deseja implantar sistemas de reúso, uma vez que os valores de oferta e demanda de água podem variar consideravelmente conforme as características da edificação.

Por exemplo, como mencionado anteriormente, a maior parcela das duchas e chuveiros do câmpus está concentrada nos vestiários do ginásio, sendo ali então produzido um volume de águas cinzas presumidamente maior que o demandado para os vasos sanitários dessa unidade. Enquanto que, para as demais unidades do câmpus, o volume de águas cinzas produzido somente por pias e lavatórios aparentemente não seria suficiente para atender a demanda dos vasos sanitários dessas edificações, com exceção do refeitório.

Entretanto, o reservatório é um dos componentes mais onerosos do sistema, portanto a implantação de múltiplos reservatórios distribuídos pelo câmpus requer verificação de viabilidade técnica e econômica.

Nos banheiros do câmpus cujas bacias sanitárias e mictórios estejam posicionados em paredes opostas e distantes às dos lavatórios, o recebimento de efluente destes para reúso em cascata nas descargas não se faz uma alternativa adequada. Entretanto, o reúso em cascata pode ser uma alternativa viável em banheiros cujos mictórios e bacias estejam instalados em posição e distância tecnicamente favoráveis, observando-se sempre se essa água atende aos parâmetros exigidos pela NBR 13.969 (ABNT, 1997) (ver 3.3.3).

O reúso em cascata pode ser uma alternativa também para a irrigação subterrânea (Figura 51) das áreas verdes próximas aos lavatórios dos banheiros, cujos efluentes presumidamente não contêm sabões e detergentes em excesso, como nos demais pontos de geração de águas cinzas (chuveiros e pias de cozinha). Essa alternativa deve ser considerada desde que sua utilização não comprometa o lençol freático que compreende os terrenos do campus, devendo ser realizado um estudo técnico para tal avaliação.

Como observado na literatura, as águas cinzas provenientes de pias de cozinha têm composição consideravelmente diferente das demais fontes de água cinza (ver 3.3.2). Dessa forma, presume-se que as pias da cozinha do refeitório produzam um efluente com carga orgânica significativamente maior, além da presença de detergentes, óleos e gorduras.

Por conta disso, pode ser interessante a segregação dos efluentes oriundos dessa unidade, encaminhando-os para processos de tratamento exclusivos conforme requerido por suas características. Nunes (2006) ressalta que uma específica configuração tecnológica pode ser ótima para um tipo de efluente e totalmente inadequada para outro, sendo a segregação na origem muitas vezes mais viável técnica e financeiramente.

O processo de tratamento das águas cinzas é essencial para o sucesso do sistema de reúso no câmpus e, por isso, sua seleção deve ser criteriosa e estabelecida em função das características dos efluentes a serem tratados (MAY, 2009).

Sendo assim, tais processos podem ser definidos separadamente para cada edificação onde se deseja implantar o sistema de reúso, uma vez que as características qualitativas e quantitativas dos efluentes podem variar consideravelmente conforme as atividades nessa edificação.

Dentre os diversos tratamentos possíveis, os sistemas de *wetlands* podem ser consideradas alternativas técnica e economicamente viáveis para o tratamento de águas cinzas em locais com disponibilidade de área (MONTEIRO, 2009), como é o caso da Unesp de Rio Claro.

O sistema de *wetlands* tem como atrativos a independência de energia elétrica para o processo, a independência de produtos químicos, e também o apelo estético e ambiental (MONTEIRO, 2009).

A integração à paisagem natural proporcionada pelas *wetlands* é um dos principais elementos de aceitação dos usuários. No ambiente universitário, a instalação desse sistema poderia dialogar com diversas linhas de pesquisa praticadas no câmpus, sobretudo nas áreas

de botânica e saneamento, configurando uma excelente oportunidade de consubstanciar estudos relacionados.

Além disso, as *wetlands* são recomendadas por sua operação simplificada e por sua flexibilidade com períodos sem utilização e períodos com uma significativa sobrecarga. Sendo indicada para locais que sofrem muita flutuação sazonal (PLATZER; HOFFMANN; CARDIA, 2007), como no caso das universidades, que passam por períodos de recessos, férias, greves, eventos, congressos, jornadas, além dos próprios finais de semana.

No entanto, em virtude da presença de óleos e gorduras dos efluentes do refeitório, o tratamento biológico oferecido pela *wetland* não seria suficiente de acordo com Platzer, Hoffmann e Cardia (2007), fazendo-se necessária a instalação de uma caixa de gordura como etapa anterior. Essa configuração é apresentada na Figura 52.

Também, dependendo do uso pretendido, pode ser necessária uma etapa posterior de desinfecção. Esta pode ser realizada através da cloração, por ser, de acordo com May e Hespanhol (2006), uma alternativa eficiente e de baixo custo, de extrema importância para a inativação de quaisquer patógenos presentes e, principalmente, para a obtenção de residual de cloro, que é um dos parâmetros da NBR 13.969 (ABNT, 1997), apresentados na seção 3.3.3. Entretanto, a cloração não é recomendada no caso de utilização para irrigação, uma vez que esta pode ser prejudicial à cobertura vegetal (HAFNER, 2007).

Entretanto, deve-se apurar as condições do lençol freático que compreende os terrenos do câmpus, a fim de determinar se a adoção do sistema de *wetlands* poderia trazer interferências negativas a sua qualidade.

Uma outra configuração que pode ser adotada no tratamento utilizando o sistema de *wetland* é sugerida pela Fluxo Máquinas e Equipamentos Ltda., empresa brasileira com especialidade sanitária e ambiental. Nessa configuração (Figura 53), o tratamento contaria também com uma etapa anterior com um reator anaeróbio compartimentado (RAC), para então percorrer o jardim filtrante. Em seguida, o efluente do jardim passa por um filtro de areia, é tratado com cloro, e, por fim, bombeado ao reservatório de água de reúso.

Para o fornecimento das águas cinzas tratadas, deve-se atender as recomendações da já mencionada NBR 5.626, que estabelece as exigências e recomendações para realização do projeto, execução e manutenção de instalações prediais de água fria (ABNT, 1998, p. 2). De acordo com Sella (2011), o procedimento utilizado de forma mais comum no dimensionamento das tubulações prediais de água fria é mostrado no anexo A dessa Norma, que apresenta um modelo proposto para facilitar os cálculos pertinentes.

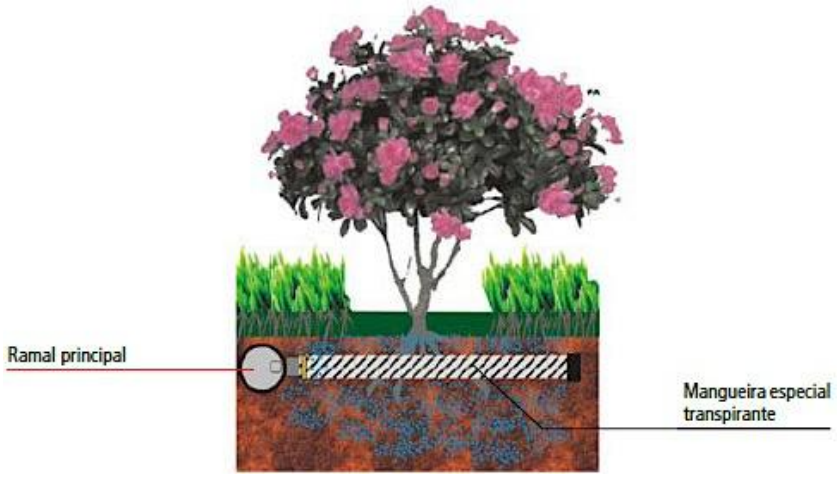

Figura 51 - Esquema de funcionamento de irrigação subterrânea

Fonte: Sautchük et al. (2005)

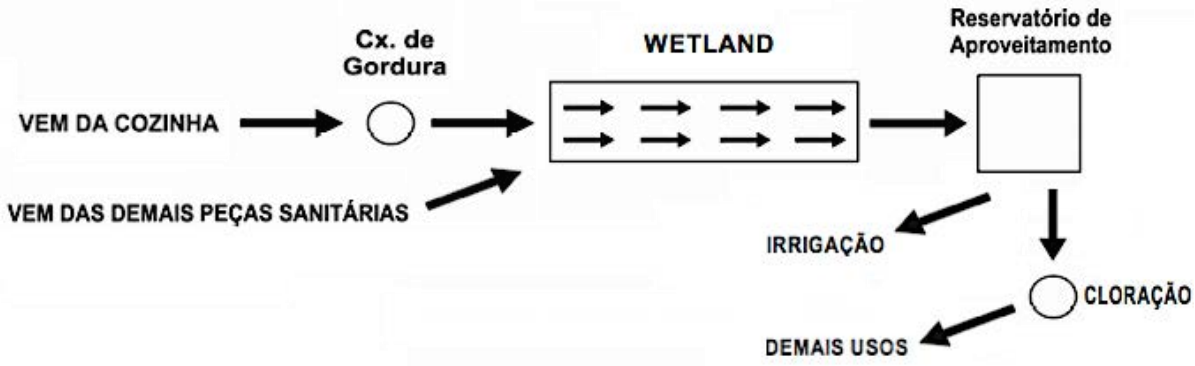

Figura 52 - Configuração sugerida para o sistema de *wetland*

Fonte: Adaptado de Platzer, Hoffmann e Cardia (2007)

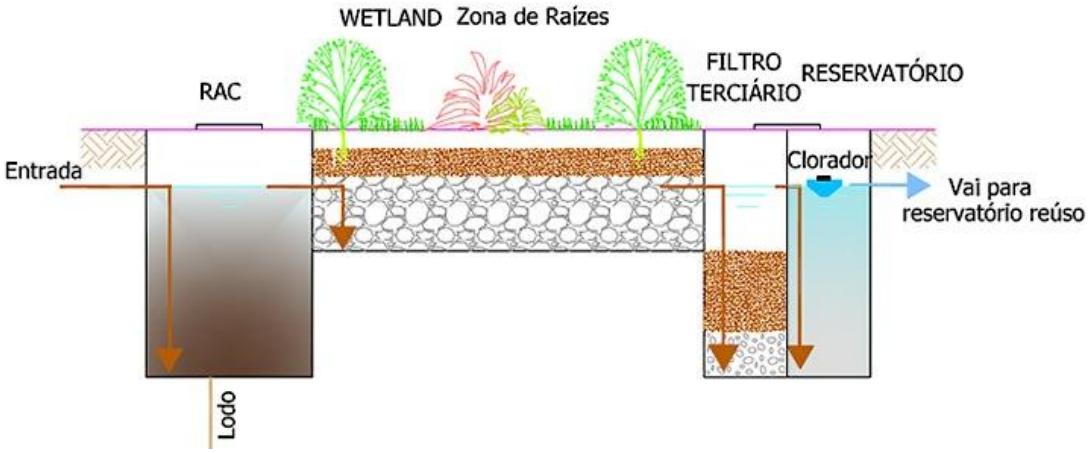

Figura 53 - Configuração de sistema de *wetland* sugerida pela Fluxo

Fonte: Adaptado de Fluxo (2015).

De acordo com ANA (2005), sempre será necessária a realização de avaliações técnicas e econômicas adequadas para verificar a viabilidade da implantação de sistemas de coleta e reúso de águas cinzas na universidade. Essa avaliação pode levar em conta também a implantação de sistemas de aproveitamento de águas pluviais.

A última sugestão deste trabalho à Unesp de Rio Claro seria a **implantação de um sistema de captação e aproveitamento de água pluvial**. De acordo com Nunes (2006), é um projeto consideravelmente simples e econômico, que compreende a captação, tratamento, armazenamento e distribuição aos pontos de utilização de água.

A metodologia básica para projeto de sistemas de coleta, tratamento e uso de água pluvial compreende as etapas a seguir (adaptado de ANA, 2005):

1. Determinação da precipitação média local (mm/mês);
2. Determinação da área de captação;
3. Determinação do coeficiente de escoamento superficial;
4. Caracterização da qualidade da água pluvial;
5. Projeto de pré-tratamento;
6. Projeto do reservatório de armazenamento;
7. Identificação dos usos previstos para a água e parâmetros exigidos;
8. Estabelecimento do sistema de tratamento necessário;
9. Fornecimento aos pontos de consumo.

O regime de precipitação média do local onde deseja-se a implantação do sistema é uma informação fundamental desde o início do projeto. A precipitação média deve ser estabelecida conforme dados mensais a nível nacional, regional ou local (ANA, 2005).

Segundo dados do Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura (CEPAGRI), o município de Rio Claro/SP possui um índice pluviométrico que ultrapassa a casa dos 1.300 milímetros por ano, com maiores taxas de precipitação entre os meses de dezembro e fevereiro, conforme mostra a Tabela 3. Portanto, verifica-se que a Unesp de Rio Claro possui um potencial pluviométrico satisfatório para a implantação de sistemas de captação e aproveitamento de água pluvial.

Tabela 3 - Precipitação no município de Rio Claro

MÊS	CHUVA (mm)
JAN	234,1
FEV	203,1
MAR	153,8
ABR	63,2
MAI	62,4
JUN	38,2
JUL	26,9
AGO	28,8
SET	66,8
OUT	125,6
NOV	147,2
DEZ	216,7
Ano	1366,8
Min	26,9
Max	234,1

Fonte: Elaborado a partir de dados do CEPAGRI, 2015

O câmpus possui grande quantidade de áreas impermeabilizadas, como telhados e coberturas das edificações, pátios, calçadas e áreas de estacionamento expostas ao ar livre, que servem como receptoras e coletoras da água pluvial.

Como já mencionado, a coleta por meio dessas últimas três áreas deverá ser precedida de um sistema preliminar de tratamento para a retirada de detritos, papéis, plásticos, óleos e graxas provenientes de automóveis. Por este motivo, sugere-se que as áreas de captação adotadas sejam os telhados e coberturas das edificações do câmpus. De acordo com a NBR 10.844: Instalações prediais de águas pluviais (ABNT, 1989), a área de coleta deve ser determinada no caso de telhados, que são normalmente inclinados, em sua projeção horizontal, como mostra a Figura 54.

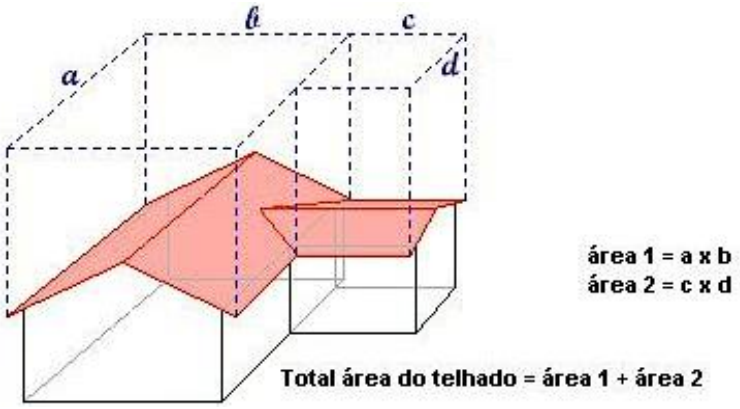

Figura 54 - Área de coleta em coberturas inclinadas

Fonte: Nogueira (2015)

Segundo Guanghui (2001), o tipo de cobertura de onde a água será coletada apresenta elevada influência no coeficiente de escoamento superficial. Quando a superfície é impermeável, o escoamento nela ocorre imediatamente; caso a superfície seja permeável, o escoamento nela ocorre seguido da saturação da mesma. De acordo com May (2009), o coeficiente de escoamento superficial situa-se entre os valores de 1, que indica ausência de perdas e 0, que indica a perda de toda água que entra no sistema. Em casos gerais, a 3P Technik Filtersysteme GmbH, empresa de tecnologia alemã especializada em projetos de aproveitamento de águas de chuva, fixa o valor desse coeficiente em 0,9 (3P TECHNIK, 2015).

A caracterização e análise físico-química e bacteriológica da água pluvial também é essencial para implantação do sistema, uma vez que a forma de tratamento vai depender tanto da qualidade da água coletada quanto do uso preconizado (NUNES, 2006).

A caracterização do pH é essencialmente importante para a verificação da acidez, que pode causar corrosão de peças e equipamentos no sistema de coleta, tratamento e distribuição. Amostras de águas pluviais coletadas na Unesp de Rio Claro por Stradioto e Kiang (2010) durante um período de 15 meses (Quadro 6), indicam valores de pH moderadamente ácidos, com valores em torno de 5 a 7, visto que a chuva incorpora o dióxido de carbono presente na atmosfera (STRADIOTO; KIANG, 2010).

Quadro 6 - Resultados de análises físico-químicas de amostras de chuva coletadas no câmpus

Nº Am.	Local	Etapa	T	CE	pH	HCO_3	Cl	SO_4	NO_3	Na	K	Mg	Ca	STD
			°C	µS/cm		mg/L								
Ch1	Unesp - Rio Claro	04.04.03	20.5	3.1	5.7	1.3	<0.1	nd	nd	0.016	0.040	0.006	0.092	1.52
Ch2	Unesp - Rio Claro	04.04.03	21	4.3	6.13	1.88	<0.1	<1	0.42	nd	nd	nd	nd	2.32
Ch3	Unesp - Rio Claro	04.04.03	21	2.3	5.73	1.18	0.1	<1	0.12	0.033	0.056	0.002	0.025	1.62
Ch4	Unesp - Rio Claro	03.05.03	22	4	5.54	1.3	0.17	<1	0.36	0.003	0.055	0.008	0.032	1.96
Ch6	Unesp - Rio Claro	07.08.03	22	8.9	5.94	2	<0.1	<1	1.08	0.049	0.172	0.045	0.220	3.62
Ch7	Unesp - Rio Claro	09.08.03	16.5	8.8	5.2	3.6	0.24	<1	0.48	nd	nd	nd	nd	4.38
Ch8	Unesp - Rio Claro	16.09.03	22	7.5	5.04	0.58	0.32	2	nd	0.037	0.187	0.013	0.031	3.20
Ch9	Unesp - Rio Claro	07.10.03	22	4.9	5.15	0.7	<0.1	<1	1.1	nd	nd	nd	nd	1.81
Ch10	Unesp - Rio Claro	06.11.03	22	5.3	5.88	1.42	0.22	<1	1.7	0.031	0.070	0.152	0.067	3.70
Ch11	Unesp - Rio Claro	13.11.03	19	2.8	5.63	1.42	0.12	<1	0.68	0.002	0.035	0.005	0.053	2.34
Ch12	Unesp - Rio Claro	23.11.03	20.5	5.4	6	2	<0.1	<1	1.02	0.039	0.038	0.014	0.071	3.22
Ch13	Unesp - Rio Claro	01.12.03	21	1.7	5.49	0.94	<0.1	1	<0.05	0.004	0.037	0.000	0.013	2.02
Ch14	Unesp - Rio Claro	02.12.03	20.5	4.8	5.69	1.42	<0.1	1	0.84	0.031	0.066	0.009	0.017	3.42
Ch15	Unesp - Rio Claro	05.12.03	22	3.1	5.62	1.18	<0.1	1	0.2	0.005	0.041	0.004	0.011	2.46
Ch16	Unesp - Rio Claro	07.01.04	21	4	5.63	1.66	<0.1	<1	0.3	0.038	0.064	0.022	0.170	2.29
Ch17	Unesp - Rio Claro	26.01.04	21.5	1.8	5.48	1.18	<0.1	<1	0.1	0.025	0.009	0.009	0.062	1.47
Ch18	Unesp - Rio Claro	03.02.04	21.5	5	5.55	1.18	<0.1	<1	1	0.041	0.091	0.018	0.138	2.64
Ch19	Unesp - Rio Claro	20.3.04	22	13.2	6.07	3.3	0.14	<1	3.25	0.046	0.093	0.043	0.191	7.18
Ch20	Unesp - Rio Claro	05.05.04	21	2.6	5.56	1.78	<0.1	<1	0.4	nd	nd	0.003	0.027	2.19
Ch21	Unesp - Rio Claro	16.05.04	20.5	7.8	5.69	2.06	<0.1	<1	1.6	nd	nd	0.036	0.279	3.69
Ch22	Unesp - Rio Claro	19.07.04	18.5	8	5.18	1.18	0.22	<1	0.44	nd	nd	nd	nd	1.89

Fonte: Adaptado de Stradioto e Kiang (2010)

Na etapa de pré-tratamento, ao invés do reservatório de descarte, sugere-se a opção pelos filtros de descida, filtros volumétricos e filtros industriais, devido à reduzida necessidade de manutenção e à capacidade de processar volumes captados de coberturas com grandes extensões, como é o caso das edificações no câmpus.

Para as unidades com área de cobertura de até 70 m^2, são recomendados os filtros de descida; para as unidades com área de cobertura de até 387 m², os filtros volumétricos; e para as unidades com área de cobertura até 3933 m², os filtros industriais.

Habitualmente, o reservatório de acumulação é o componente mais oneroso do sistema de coleta e aproveitamento de águas pluviais. Portanto, para que a implantação do sistema não se torne inviável, seu dimensionamento necessita de uma análise criteriosa (MAY, 2004).

Quanto a isso, Hafner (2007) afirma que muitos métodos podem ser utilizados, a exemplo do Método de Rippl ou o Método da simulação, que estabelecem o coeficiente de escoamento superficial e determinam o volume de água para o reservatório associado a chuva e a demanda em função do tempo. Além desse, existem os métodos práticos alemão e inglês que utilizam uma porcentagem (5 ou 6%) do volume total anual de chuva utilizável (ABNT, 2007). Segundo Medeiros et al. (2012), o método da simulação, descrito na norma NBR 15527 (ABNT, 2007), tem sido recomendado e avaliado por outros autores, como Dorneles et al. (2010), Annecchini (2005) e Tomaz (2007).

A sugestão de aproveitamento de águas pluviais é a mesma das águas de reúso, ou seja, usos não-potáveis. Dessa forma, os principais pontos de consumo no câmpus seriam as descargas de bacias sanitárias, a irrigação das áreas verdes, usos ornamentais, limpeza de pisos, lavagens de veículos e reserva para controle de incêndio.

De acordo com os parâmetros de qualidade esperados para a água pluvial captada, a etapa de pré-tratamento já seria suficiente para sua utilização em atividades como irrigação de áreas verdes e limpeza de pisos. Conforme já mencionado, tratamentos adicionais como cloração são inclusive desaconselhados no caso da irrigação, devido ao potencial prejuízo à vegetação.

Entretanto, para a utilização em descargas de bacias sanitárias, é recomendável um cuidado aprimorado com a qualidade da água com o risco de contaminação, pois o período de armazenagem pode favorecer a proliferação de bactérias e microrganismos. Mesmo assim, o tratamento necessário seria simples, podendo contar com um freio d'água, um sifão extravasor, um filtro flutuante de sucção, e para usos mais restritivos seriam sugeridas etapas adicionais com filtro de areia, seguido de desinfecção por pastilhas de cloro ou desinfecção

por radiação UV-C. Pode ser interessante, ainda, a correção do pH, especialmente para a proteção de metais das tubulações e peças sanitárias.

Já para a escolha do local para a implantação do reservatório superior, sugere-se que esta atenda às mesmas recomendações de reservatórios de água de reúso, abordadas na seção 5.1.2.4, de forma que a opção por um reservatório elevado poderia ser a mais adequada.

Dessa forma, o sistema de captação e aproveitamento de águas pluviais sugerido para as edificações no câmpus é apresentado na Figura 55.

Também como no projeto de coleta e reúso de águas cinzas, é fundamental que sejam realizadas avaliações técnicas e econômicas adequadas para verificar a viabilidade da implantação de sistemas de captação e aproveitamento de águas pluviais na universidade.

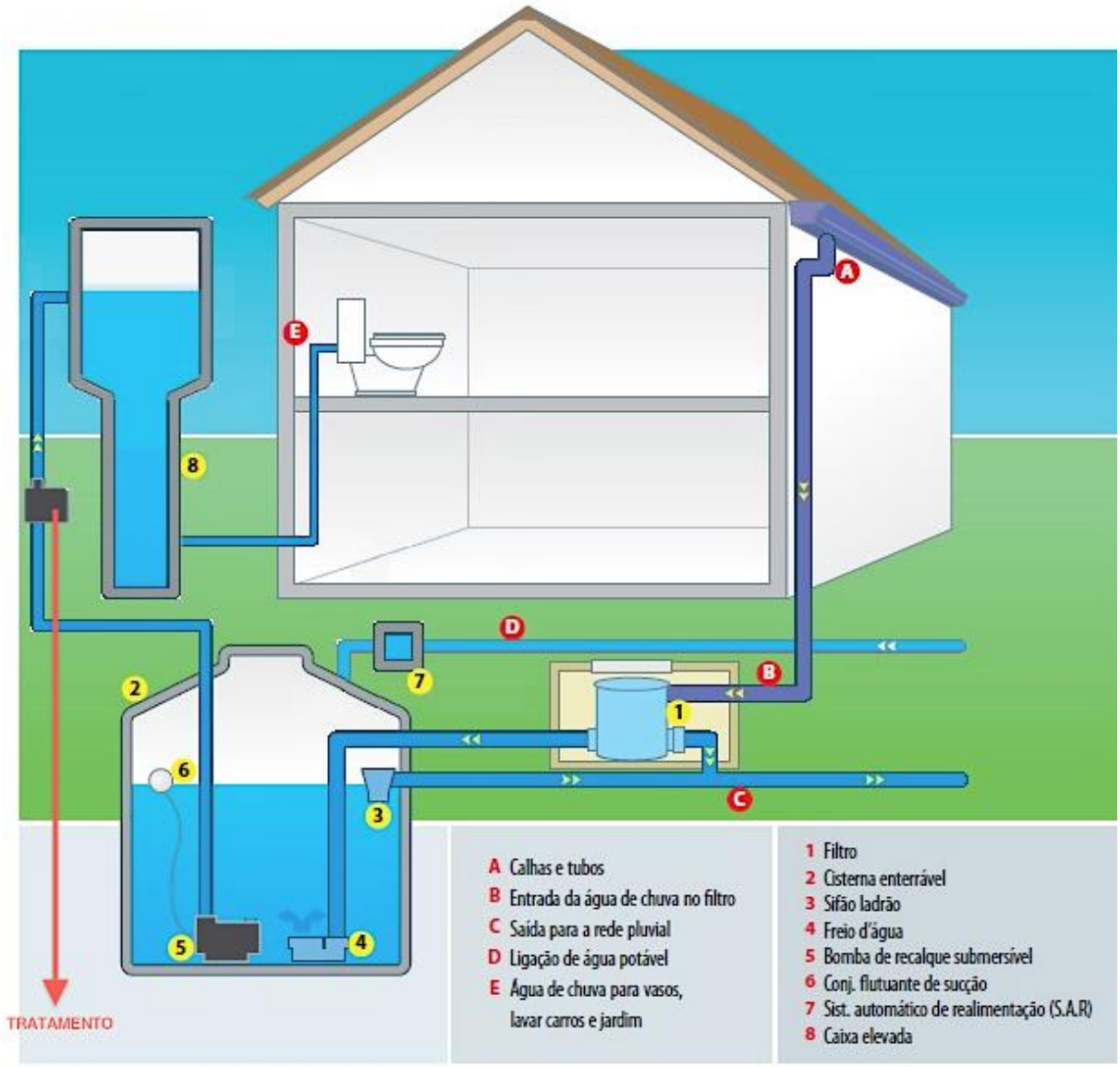

Figura 55 - Configuração sugerida para o sistema de aproveitamento de águas pluviais

Fonte: Adaptado de Ecoracional (2015)

Assim como as águas de reúso, para a distribuição das águas pluviais tratadas deve-se atender as recomendações da NBR 5.626 (ABNT, 1998). De acordo com Sella (2011), o procedimento utilizado de forma mais comum no dimensionamento das tubulações prediais de água fria é mostrado no anexo A dessa Norma, que apresenta um modelo proposto para facilitar os cálculos pertinentes.

Por fim, a síntese das sugestões realizadas neste trabalho, acompanhadas de suas respectivas considerações, é apresentada no Quadro 7.

Quadro 7 - Síntese das sugestões apresentadas

	SUGESTÃO		CONSIDERAÇÃO
EQUIPAMENTOS HIDROSSANITÁRIOS	Torneiras	Torneiras hidromecânicas	Substituição tanto nos prédios existentes como nos futuros, atentando a uma temporização adequada
		Torneiras com sensor	Avaliação de viabilidade econômica e técnica, em função do consumo energético e de obras necessárias
	Reguladores de pressão	Arejadores	Instalação principalmente nas torneiras que não necessitem de grandes volumes d'água
	Bacias sanitárias	Válvula de duplo acionamento	Substituição tanto nos prédios existentes como nos futuros, atentando a vazão mínima de 3L
	Mictórios	Fechamento hidromecânico	Substituição tanto nos prédios existentes como nos futuros, atentando a temporização adequada
	Chuveiros e duchas	Fechamento hidromecâmico + Reguladores de vazão	Substituição dos modelos convencionais que apresentarem vazões excessivas
SISTEMA DE REÚSO DE ÁGUAS CINZAS	Coleta	Segregação de correntes de efluente	Correntes de efluente com diferentes composições, exigindo diferentes níveis de tratamento
	Reúso em cascata	Bacias e mictórios estrategicamente posicionados	Observar o atendimento aos parâmetros exigidos pela NBR 13.969
		Irrigação subterrânea	Certificar que sua utilização não traga interferências negativas a qualidade do lençol freático
	Reúso após tratamento	Caixa de gordura + *Wetlands* + Cloração	Certificar que sua adoção não traga interferências negativas a qualidade do lençol freático
SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS	Captação	Telhados e lajes	A área de coleta deve ser determinada de acordo com a NBR 10.844
	Pré-tratamento	Filtros de descida	Área de cobertura de até 70 m^2
		Filtros volumétricos	Área de cobertura de até 387 m^2
		Filtros industriais	Área de cobertura até 3933 m^2
	Tratamento	Freio d'água + Sifão extravasor + Filtro flutuante de sucção	Interessantes para utilização da água em bacias sanitárias
		Filtro de areia + Cloração ou UV-C	Podem ser etapas necessárias para usos mais restritivos

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

6 CONCLUSÃO

A redução da disponibilidade hídrica não é problema exclusivo de regiões com baixa oferta de água, mas também de regiões onde o crescimento populacional e a falta de manejo e conservação deste recurso levaram ao desequilíbrio entre a oferta e o consumo.

Torna-se interessante a adoção de medidas de conservação deste recurso, tais como o emprego de tecnologias e alternativas que incluem a substituição de equipamentos convencionais por economizadores de água; o reúso das águas cinzas; e o aproveitamento das águas pluviais.

Ademais, o caráter ambiental dessas medidas de conservação dialoga com a relevância econômica, uma vez que são proporcionados ganhos de produtividade na gestão dos recursos hídricos das edificações.

A substituição de aparelhos convencionais por aparelhos economizadores pode apresentar um rápido retorno do investimento, uma vez que propiciam economia pela redução do consumo de água e dos efluentes gerados.

O reúso das águas cinzas e o aproveitamento das águas pluviais nas edificações aumenta a oferta de água para fins que não exigem potabilidade, podendo reservar o consumo de água potável para usos mais nobres. Essa medida garante a redução da demanda nos sistemas urbanos de captação, distribuição e tratamento de água, contribuindo com a sustentabilidade hídrica das cidades.

O tratamento dessas águas é medida essencial para adequá-las aos padrões de qualidade exigidos para os usos pretendidos, visando a preservação da saúde pública e a viabilidade técnica e econômica do empreendimento.

De maneira geral, os sistemas de reúso de águas cinzas e aproveitamento de águas pluviais são mais viáveis em locais que apresentam espaço físico adequado para alojar os equipamentos necessários, e que apresentam demanda de água não potável satisfatória para o consumo das águas geradas, sendo fortemente favorável sua implantação em unidades universitárias com essas características.

Por esta razão, as universidades têm nas mãos uma oportunidade imprescindível, na medida em que, por essência, aceitaram a liderança na busca por melhores práticas de produção e disseminação de conhecimento. A implantação desses sistemas se faz interessante nos âmbitos social, ambiental e econômico, podendo servir de referência em treinamentos, pesquisas e desenvolvimento do setor.

Espera-se, desse modo, que as universidades adotem uma maior atenção para um recurso vital como a água, despertando a consciência apropriada da importância de seu uso de forma racional, e impulsionando legislações e decisões politico-institucionais que universalizem a adoção de medidas de conservação, apenas assim proporcionando uma significativa redução na demanda de recursos hídricos.

Como sugestão para trabalhos futuros, poderia ser realizado o aprofundamento da questão hídrica na Unesp de Rio Claro, analisando as alternativas e tecnologias apresentadas neste trabalho, e avaliando os custos de implantação e manutenção das mesmas. Com isso, aproxima-se cada vez mais a pesquisa com a prática, buscando sua aplicação através de propostas e parcerias, vindo a tornar realidade um ambiente universitário mais sustentável.

REFERÊNCIAS

3P TECHNIK FILTERSYSTEME GMBH. Informações sobre o aproveitamento das águas de chuva. Disponível em: <http://www.água-de-chuva.com/>. Acesso em: 24 mar. 2015.

ABCMAC. Associação Brasileira de Captação e Manejo de Água de Chuva. Disponível em: <http://www.abcmac.org.br/> Acesso em 15 fev. 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Conservação e Reúso da Água em Edificações**. São Paulo: Prol Editora Gráfica, jun. 2005.

AGUAPÉ ENGENHARIA E PROJETOS ECOLÓGICOS. Projetos. Disponível em: <aguapeengenharia.com.br/obras-realizadas>. Acesso em: 13 dez. 2015

AISSE, M. M.; COURACCI FILHO, B.; ANDRADE NETO, C. O.; JÜRGENSEN, D.; LAPOLLI, F. R.; MELO, H. N. S.; PIVELI, R. P.; LUCCA, S. J. Cloração e Descloração. In: GONÇALVES, R. F. (Coord.) **Desinfecção de efluentes sanitários.** Rio de Janeiro: ABES, Rima, 2003. cap. 4, p. 113-168.

ALBUQUERQUE NETO, RUBENS FARIAS; JULIO, MARCELO DE. Estudo de técnicas sustentáveis para racionalização do uso de água em edificações com enfoque na demanda. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 6, n. 2, p. Páginas 85-103, 2014.

ALVES, W. C.; KIPERSTOK, A.; ZANELLA, L.; PHILIPPI, L. S.; SANTOS, M. F. L.; VALENTINA, R. S. D.; OLIVEIRA, L. V.; GONÇALVES, R. F. Tecnologias de conservação em sistemas prediais. In: GONÇALVES, R. F. (Coord.). **Conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água**. Rio de Janeiro: ABES, 2009. p. 219-294. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. Disponível em: <www.finep.gov.br/prosab/livros/prosab5_tema%205.pdf>. Acesso em: 20 set. 2015.

ALVES, W. C.; ROCHA, A. L.; GONÇALVES, R. F. Aparelhos sanitários economizadores. In: GONÇALVES, Ricardo Franci. (Coord.). **Uso racional da água. Rio de Janeiro: Abes**, p. 267-321, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.527**: água de chuva: aproveitamento em áreas urbanas para fins não potáveis: requisitos. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 10.844**: instalações prediais de águas pluviais. Rio de Janeiro, 1989.

_____. **NBR 13.969**: tanques sépticos – unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997.

_____. **NBR 8.160**: sistemas prediais de esgoto sanitário - projeto e execução. Rio de Janeiro, 1999.

_____. **NBR 5.626**: instalação predial de água fria. Rio de Janeiro, 1998.

_____. **NBR 10.281:** Torneira de pressão - Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro,

2003.

AQUASTOCK. Tecnologia para o aproveitamento de água de chuva. Disponível em: <http://aquastock.com.br/port/home/>. Acesso em: 13 dez. 2015

B&Q. Cooke & Lewis Duetto Close-Coupled Toilet with Integrated Basin with Soft Close Seat. Disponível em: <http://www.diy.com/departments/cooke-lewis-duetto-close-coupled-toilet-with-integrated-basin-with-soft-close-seat/160720_BQ.prd>. Acesso em: 13 dez. 2015

BAKOF TEC. Cisternas em Polietileno. Disponível em: <http://www.bakof.com.br/site/index.php/produtos/visualizar_produto/cisternas-em-polietileno/2>. Acesso em: 13 dez. 2015

BAZZARELLA, B. B. Caracterização e aproveitamento de água cinza para uso não- potável em edificações. 2005. 165 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, 2005.

BEZERRA, S. M. C., CHRISTAN, P.; TEIXEIRA, C. A.; FARAHBAKHS, K. **Dimensionamento de reservatório para aproveitamento de água de chuva**: comparação dos métodos da ABNT NBR 15527:2007 e Decreto Municipal 293/2006 de Curitiba, PR. In: Ambiente Construído, v. 10, n. 4, p. 219-231, 2010.

BONI, S. S. N. **Gestão de água em edificações: formulação de diretrizes para o reúso de água para fins não potáveis**. Doutorado em Engenharia Civil. UNICAMP, 2009.

BRASIL. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resolução CNRH n^{o} 54 de 28 de novembro de 2005. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e dá outras providências. Brasília.

BRASIL. Projeto de Lei N. 324, de 2015 (do Senado Federal) PLS N. 324/15. Institui obrigatoriedade para as novas construções, residenciais, comerciais, e industriais, público ou privado, a inclusão no projeto técnico da obra, item referente a captação de água da chuva e seu reuso não potável e dá outras providências. Brasília.

CAL, Rodrigo Felipe da. Desinfecção de águas cinzas por adição de hipoclorito de cálcio para fins de reuso não potável. 2011.

CASAGRANDE JUNIOR, ELOY FASSI; DEEKE, VANIA. Implantando práticas sustentávies nos campi universitários: a proposta do "escritório verde" da UTFPR. **Revista Educação & Tecnologia**, n. 9, 2009.

CENSI. Disponível em: <http://www.censi.com.br/>. Acesso em: 13 dez. 2015

CIRRA. **Centro Internacional de Referência em Reúso de Água**. Disponível em: <http:// www.usp.br/cirra > Acesso 23 ago. 2015.

CNI; CBIC. **Construção verde: Desenvolvimento com sustentabilidade**. Brasília, 2012. Disponível em: <http://cnisustentabilidade.com.br/docs/CBIC_RIO20_web.pdf> Acesso em: 26 fev. 2015.

CONDOMÍNIOS VERDES. Síndico cria sistema para reutilizar água de chuva. Disponível em: <http://www.condominiosverdes.com.br/sindico-cria-sistema-para-captacao-e-reutilizacao-de-agua-de-chuva/>. Acesso em: 13 dez. 2015

CORRÊA, LÁSARO ROBERTO. Sustentabilidade na construção civil. **Monografia (Curso de Especialização em Construção Civil)-Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais**, 2009.

CORTESE, A.D. (2000). Education for Sustainability. Disponível em: <http://www.secondnature.org /vision/vision> Acesso em: 12 out. 2015.

CURITIBA. Lei Municipal nº 10.785, de 18 de setembro de 2003. Cria no município de Curitiba o Programa de Conservação e Uso Racional da Água nas Edificações. Curitiba, 18 de setembro de 2003.

CURITIBA. Decreto nº 293, de 22 de março de 2006. Regulamenta a Lei no 10.785 de 2003 e dispõe sobre os critérios do uso e conservação racional da água nas edificações e dá outras providências. Curitiba, 22 de março de 2006.

CURITIBA. Decreto nº 212, de 29 de março de 2007. Aprova o Regulamento de Edificações do Município de Curitiba.Curitiba, 29 de março de 2007.

DALLA COSTA, E.; MORAES, C. S. B. Construção Civil e a Certificação Ambiental: Análise comparativa das certificações LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) e AQUA (Alta Qualidade Ambiental). **Anais XIV ENGEMA** - Encontro Nacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente. FEA/ USP, FGV. São Paulo, 2012.

DECA. Produtos Economizadores. Disponível em: <http://www.deca.com.br/produtos/economizadores/>. Acesso em 20 mar. 2015.

DOCOL. Disponível em: < http://www.docol.com.br/>. Acesso em 16 out. 2015.

ECOCASA TECNOLOGIAS AMBIENTAIS. Cisternas para aproveitamento de Água de Chuva. Disponível em: <http://www.ecocasa.com.br/cisternas.asp>. Acesso em: 13 dez. 2015

ECORACIONAL. Como instalar. Disponível em: <http://loja.ecoracional.com.br/Comoinstalar>. Acesso em: 13 dez. 2015

EMBRAPA. Jardim filtrante o que é e como funciona. Disponível em: <http://www.plantevida.com.br/novo/wp-content/uploads/2015/05/Jardim_Filtrante_%E2%80%93_O_que_%C3%A9_e_como_funciona_%E2%80%93_Wilson_Embrapa.pdf>. Acesso em: 13 dez. 2015

EVAC TRAIN. Vacuum toilet systems. Disponível em: <http://www.evac-train.com/Evac-CompactPV-Vacuum-toilet.php>. Acesso em: 13 dez. 2015

FABRIMAR. Disponível em: <http://www.fabrimar.com.br/>. Acesso em: 13 dez. 2015

FERREIRA, D. F. **Aproveitamento de águas pluviais e reuso de águas cinzas para fins não potáveis em um condomínio residencial localizado em Florianópolis–SC**. 2005. 107 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado)-Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

FIORI, SIMONE; FERNANDES, VERA MARIA CARTANA; PIZZO, HENRIQUE. Avaliação qualitativa e quantitativa do reúso de águas cinzas em edificações. **Ambiente Construído**, v. 6, n. 1, p. 19-30, 2006.

FLUXO. Soluções Sustentáveis. Disponível em: <http://fluxoambiental.com.br/solucoes.php>. Acesso em 25 dez. 2015.

FRC SYSTEMS INTERNATIONAL, LLC. PCL-Series Dissolved Air Flotation Systems. Disponível em: <http://frcsystems.com/pcl-dissolved-air-flotation-systems/>. Acesso em: 13 dez. 2015

GONÇALVES, R. F.; SIMÕES, G. M. S.; WANKE, R. Reuso de águas cinzas em edificações urbanas estudo de caso em Vitória (ES) e Macaé (RJ). **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: investigación, desarrollo y práctica**, v. 3, n. 1, p. 120-131, 2010.

GONÇALVES, R.F. (2006) **Uso racional da água em edificações**. 1a.ed. Rio de Janeiro: Editora ABES. 352 pgs.

GUANGHUI, M. et al. The quality and major influencing factors of runoff in Beijing's urban area. In: RAINWATER INTERNATIONAL SYSTEMS, Manheim, 2001. Proceedings, Germany, 2001, p. 10.

HAFNER, Ana Vreni. **Conservação e reuso de água em edificações–experiências nacionais e internacionais**. 2007. Tese de Doutorado. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO.

HESPANHOL, Ivanildo. Potencial de reuso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aqüíferos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n. 4, p. 75-95, 2002.

HESPANHOL, IVANILDO; PROST, A. M. E. WHO guidelines and national standards for reuse and water quality. **Water Research**, v. 28, n. 1, p. 119-124, 1994.

IKZ HAUSTECHNIK. Wandheizung in Wohn- und Nutzgebäuden. Disponível em: <http://www.ikz.de/1996-2005/1999/09/9909040.php>. Acesso em: 13 dez. 2015

INNOVATIVE WATER SOLUTIONS. Rainwater Harvesting Methods. Disponível em: <http://www.watercache.com/education/rainwater-how/>. Acesso em: 13 dez. 2015

INTERCLUBE INTERLAGOS. Águas de reúso pluvial. Disponível em: <www.interclubeinterlagos.com.br/agua-de-reuso-pluvial/%C2%A0>. Acesso em: 13 dez. 2015

JEFFERSON, et al. Technologies for domestic wastewater recycling. Urban Water. 1, p. 285-292, 1999.

KALBUSCH, ANDREZA; GHISI, ENEDIR. Method for quantifying the energy consumption in the life cycle of plumbing fixtures. **Ambiente Construído**, v. 12, n. 3, p. 57-73, 2012.

KIM, JUNSUNG, CHUNG, YONG; SHIN, DONCHUN; KIM, MYUNGSOO; LEE, YONGHUN, LIM, YOUNGWOOK. Chlorination by-products in surface water treatment process. **Desalination**, v. 151, n. 1, p. 1-9, 2003.

KUVIATKOSKI, M.; GOUDARD, B.; RAMOS, D. A. **Reuso** de Águas Servidas: uma Proposta Prática**. NUTAU – Seminário Internacional** – Demandas Sociais, Inovações Tecnológicas e a Cidade. Anais... 1, 2004.

KWAI, L. L. **Tecnologias, Conceitos e Propostas de Materiais de Construção Sustentável do Centro de Vivências da UNESP, Rio Claro/SP.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2013.

LB PLASTICS, INC. Quick-Snap Gutter Screen. Disponível em: <http://www.lbplastics.com/products/sweers-home-products/quick-snap-gutter-screen/default.php>. Acesso em: 13 dez. 2015

LEITE, Valderi D. et al. Tratamento anaeróbio de resíduos sólidos orgânicos com alta e baixa concentração de sólidos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 2, p. 190-196, 2009.

MACIEL, A. A. **Projeto Casa Sustentável em Florianópolis.** Trabalho apresentado à disciplina de Uso Racional de Água do Curso de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, HF dos. A escassez e o reuso de água em âmbito mundial. **Reúso de água.** Mancuso, PCS; Santos, HF dos; Philippi Jr.,, A.(coord.). Barueri: Manole, 2003.

MARINGÁ. Lei Municipal nº 6.345, de 15 de outubro de 2003. Institui o programa de reaproveitamento de águas de Maringá. Maringá, 15 de outubro de 2003.

MARINOSKI, D.L.; GHISI, E.; GÓMEZ, L.A. Aproveitamento de Água Pluvial e Dimensionamento de Reservatório para fins não potáveis: Estudo de Caso em um Conjunto Residencial Localizado em Florianópolis-SC. **In: I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável e ENTAC04 – 10º Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, São Paulo – SP, 2004.

MATEUS, R. S. **Novas tecnologias construtivas com vista à sustentabilidade da construção. 2004. 288p**. 2004. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)–Departamento de Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Braga.

MAY, SIMONE. **Estudo de viabilidade sobre o aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações.** Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

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

MAY, S ; HESPANHOL, I. Caracterização e Tratamento de Águas Cinzas para Consumo não Potável em Edificações. In: CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITÁRIA Y AMBIENTAL, 30., 2006, Punta Del Leste. **Anais...** Punta Del Leste : Asociación Interamericana de Ingenieria Ambiental, 2006. p. 7

MEBER. Disponível em: <http://meber.com.br/>. Acesso em: 13 dez. 2015

MEDEIROS, G. A.; CARVALHO JUNIOR, O. O.; VACCARI, G. B. Potencialidades do reuso da água: estudos de caso no setor sucroalcooleiro e universitário. **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, v. 9, n. 1, 2012.

MIERZWA, J. **O uso racional e o reúso como ferramentas para o gerenciamento de águas e efluentes na indústria:** Estudo de caso da Kodak Brasileira**.** 367p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Escola Politécnica. Universidade de São Paulo, 2002.

MIERZWA, JOSÉ CARLOS; HESPANHOL, IVANILDO. **Água na indústria: uso racional e reúso**. Oficina de Textos, 2005.

MONTEIRO, Rodrigo César de Moraes. Viabilidade técnica do emprego de sistemas tipo "wetlands" para tratamento de água cinza visando o reuso não potável. **São Paulo. Dissertação (Mestrado)-Escola Politécnica da Universidade de São Paulo**, 2009.

MONTIBELLER FILHO, GILBERTO. O mito do desenvolvimento sustentável: meio ambiente e custos sociais no moderno sistema produtor de mercadorias. 2ª ed.rev. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2004.

MORELLI, Eduardo Bronzatti. **Reuso de água na lavagem de veículos**. 2005. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

NITERÓI. Lei Municipal nº 2.856, de 25 de Julho de 2011. Estende as obrigações da Lei nº 2630, de 07 de janeiro de 2009, instituindo mecanismos de estímulo à instalação de sistema de coleta e reutilização de águas servidas em edificações públicas e privadas. Niterói, 25 de Julho de 2011.

NOGUEIRA, P. F. Telhado captador e calhas. Disponível em: <http://www.aguadechuva.com/artigosuteis/topico4/telhadocaptadorecalhas.htm>. Acesso em: 13 dez. 2015.

NOSÉ, DANIEL. **Aproveitamento de águas pluviais e reúso de águas cinzas em condomínios residenciais.** Monografia (Graduação em Engenharia Civil). São Paulo: Universidade Anhembi Morumbi, 2008.

NSW HEALTH. Greywater reuse in Sewered single domestic premises, Sidney, 2002. Disponível em: <http://www.health.nsw.gov.au/publichealth/ehb/general/wastewater/greywater_policy.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2015.

NUNES, R. T. S. **Conservação da água em edifícios comerciais: potencial de uso racional e reúso em shopping center.** 2006. 144f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) – COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

OKTE. Conceito de flotação por ar dissolvido -FAD. Disponível em: <http://www.okte.com.br/Equipamentos/Flotador_FAD.htm>. Acesso em: 25 out. 2015.

_____. Conceitos e utilizações da osmose reversa. Disponível em: <http://www.okte.com.br/Tecnologias/OR_conceitos.htm>. Acesso em: 25 out. 2015.

OLIVEIRA, ANA PAULA NUNES; HENKES, JAIRO AFONSO. CONDOMÍNIOS SUSTENTÁVEIS: DESAFIOS DA ESCASSEZ DOS RECURSOS NATURAIS. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 4, n. 2, p. 602-625, 2015.

OLIVEIRA, Sulayre Mengotti. **Aproveitamento da água de chuva e reúso de água em residências unifamiliares: estudo de caso em Palhoça-SC**. Trabalho de conclusão do curso de graduação em engenharia civil da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2005.

OTTERPOHL, R. Black, brown, yellow, grey- the new colors of sanitation. **Water 21**. p. 37-41, out. 2001.

PHILIPPI, L. S.; VACCARI, K. P.; PETERS, M. R.; GONÇALVES, R. F. Aproveitamento da Água de Chuva. In: GONÇALVES, R. F. (Coord.). **Uso Racional da Água em Edificações**. Rio de Janeiro: ABES, 2006. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. p. 73-152. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/prosab/livros/Uso%20%C3%81gua%20-%20final.pdf>. Acesso em: 28 set. 2015.

PINHEIRO, MANUEL. Construção sustentável: mito ou realidade. In: **Congresso Nacional de Engenharia do Ambiente**. 2003.

PLATZER, CHRISTOPH; HOFFMANN, HEIKE; CARDIA, WESLEY. O wetland como componente de ECOSAN–Experiências com o uso e dimensionamento no clima subtropical. In: **Proceedings of the International conference on sustainable sanitation:** Food and water security for Latin America. Fortaleza, Brazil. CD-ROM. 2007.

POMBO, Felipe Ramalho. **Gestão da demanda de água na indústria de refino de petróleo: desafios e oportunidades de racionalização**. 2011. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

PORTAL METALICA. Como fazer captação de água de chuva. Disponível em:

<http://wwwo.metalica.com.br/como-fazer-captacao-de-agua-de-chuva>. Acesso em: 13 dez. 2015

PORTO-GONÇALVES, C. **Os porquês da desordem mundial: o desafio ambiental.** Rio de Janeiro: Ed. Record, 2004.

PURA/USP. **Programa de Uso Racional da Água**. Laboratório de Sistemas Hidráulicos Prediais da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Disponível em: <http://www.purapoli.usp.br>. Acesso em agosto de 2015.

RAPOPORT, B. **Águas cinzas: caracterização, avaliação financeira e tratamento para reúso domiciliar e condominial**. Dissertação de Mestrado em Saneamento Ambiental da Escola Nacional de Saúde Pública. Rio de Janeiro: ENSP, FIOCRUZ, 2004.

RIBEIRO FILHO, J. N.; SILVA, G. C.; LUCENA, K. F. M.; CARVALHO, N. H. C. Projeto e execução de casa ecoeficiente em Campina Grande–PB. In: **CONGRESSO DE PESQUISA E INOVAÇÃO DA REDE NORTE/NORDESTE DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA**. 2006.

RICH EARTH INSTITUTE. Urine Diversion. Disponível em: <http://richearthinstitute.org/our-work/urine-diversion/>. Acesso em: 13 dez. 2015

ROAF, SUE. **Ecohouse: a casa ambientalmente sustentável**. 3ª edição. Porto Alegre. Bookman, 2009. P 252 – 275.

ROCA. Bacia suspensa com lavatório integrado. Disponível em: <http://www.br.roca.com/>. Acesso em 18 dez. 2015.

SANTESSO, C.A.; KWAI, L.L.; SILVA, N.A.; GUALTER, L.P.T.; OLIVEIRA, D.N.; IZUMIDA, M.K.; LIMA RODRIGUES, G.P.; MORAES, C.S.B. **Os benefícios da construção sustentável: tecnologias e alternativas como propostas para a universidade**. In: X SemEAr. Rio Claro: Unesp, 2013. Disponível em: <http://igce.rc.unesp.br/Home/Graduacao29/engenhariaambiental/semear/trabalho-04-caroline_semear-2013.pdf>. Acesso em: 20 set. 2015.

SANTOS NETO, J. V.; OLIVEIRA, F. F.; CHIABAI, R.; MORGAN, L. C.; ZANDONADE, E.; BAZZARELLA, B. B.; GONÇALVES, R. F. Filtração terciária com pré-tratamento físico-químico em uma ete do tipo uasb + biofiltros aerados submersos**. In: Congresso brasileiro de engenharia sanitária e ambiental, 22., Anais.**... Joinville, SC: ABES, 2003. II 142.

SANTOS, DANIEL C. **Os sistemas prediais e a promoção da sustentabilidade ambiental**. Curitiba: UFPR, 2002.

SANTOS, M. F. **Estudo preliminar da avaliação técnica de metodologias de tratamento terciário do efluente tratado gerado na ETE da CETREL para reuso em atividades industriais.** 2006. (Dissertação de Mestrado). Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal da Bahia, Salvador.

SANTOS, C. P ; SILVA, S. R. ; LAFAYETTE, K. P. V. ; POVOAS, Y. . Diagnóstico e alternativas para redução do consumo de água na POLI/UPE. In: IV Encontro Latino-americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis, 2011, Vitória. **Anais do IV Encontro Latino-americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis.** Vitória, 2011.

SAUTCHÜK, C. A.; LANDI, F. D. N.; MIERZWA, J. C.; VIVACQUA, M. C. R.; SILVA, M. C. C.; LANDI, P. D. N.; SCHMIDT, W. Conservação e Reúso de água: Manual de orientações para o setor industrial. **Federação e Centro das Indústrias do Estado de São Paulo, FIESP & CIESP**, v. 1, 2005.

SÃO PAULO (Município). Lei No 13.276, 05 de janeiro de 2002. Torna obrigatória a execução de reservatório para as águas coletadas por coberturas e pavimentos nos lotes edificados, ou não que tenham área impermeabilizada superior a 500 m^2. São Paulo, SP,05, jan. 2002. Disponível em: http://www.leismunicipais.com.br/cgi-local/showinglaw.pl. Acesso em 10 Out. 2015.

SCHMIDT, W. **Caracterização e formulação de parâmetros para avaliação de mictórios– o caso do mictório sem água. 2003. 247p**. 2003. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)–Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo.

SELLA, M.B**. Reúso de águas cinzas**: **avaliação da viabilidade da implantação o sistema em residências**. 2011. 85f. Trabalho (Conclusão de Curso) - Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS. Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/34521/000789725.pdf>. Acesso em: 01 nov. 2014.

SEMPRE SUSTENTÁVEL. Manual de construção do separador "padrão" simples de água de chuva. Disponível em: <http://www.sempresustentavel.com.br/hidrica/minicisterna/separador-de-agua-de-chuva2.htm>. Acesso em: 13 dez. 2015

SILVA, V. F.; FERREIRA, A.; FERREIRA, D. J. L.; CASTRO, S. F.; BARACUHY, J. G. V.; LIMA, V. L. A. . Residência ecoeficiente com foco na captação dos recursos hídricos e reutilização da água. **In: Simposio Brasileiro de captação e manejo de agua de chuva**, 2012, Campina Grande.

STAND. Disponível em: <http://www.standpage.com/>. Acesso em: 13 dez. 2015

STRADIOTO, M.R. ; KIANG, C. H. **Caracterização Hidroquímica e Isotópica das Águas Superficiais, Pluviais e Subterrâneas do Município de Rio Claro/SP**. 2010. (Apresentação de Trabalho/Congresso).

SUSTENTARQUI. Arejador Econokitchen. Disponível em: <http://sustentarqui.com.br/produtos/arejador-econokitchen/>. Acesso em: 13 dez. 2015

TEIXEIRA, C.P.A.B.; JARDIM, W. F. **Processos Oxidativos Avançados,** Caderno Temático Volume 3 – Universidade Estadual de Campinas, agosto de 2004.

THE EARTH TIMES. Roof rainwater runoff collection urged by experts. Disponível em: <http://www.earthtimes.org/going-green/roof-rainwater-runoff-collection-urged-experts/1542/>. Acesso em: 13 dez. 2015

THE FAMILY HANDYMAN. Unclog a Kitchen Faucet Aerator. Disponível em: <http://www.familyhandyman.com/plumbing/faucet-repair/unclog-a-kitchen-faucet-aerator/view-all>. Acesso em: 13 dez. 2015

THE RAIN SAVER. Paideia School. Disponível em: <http://sandwproductions.net/wordpresstrs/projects/paideia-school>. Acesso em: 15. dez 2015.

UNEP. **Greening Universities Toolkit.** UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAM 2012. Disponível em: <http://www.unep.org/training/publications/Rio+20/Greening_unis_toolkit%20120326.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2014.

UNITED NATIONS, Water for industrial use. Economic and Social Council. Report E/3058STECA/50, United Nations, New York, 1958.

URIMAT. Série de modelos. Disponível em: <http://www.urimat.es/pt/mictorios.html>. Acesso em: 13 dez. 2015

WHO (1990). **Legal Issues in Water Resources Allocation, Wastewater Use and Water Supply Management.** Report of a Consultation of the FAO/WHO Working Group on Legal Aspects of Water Supply and Wastewater Management, Geneva, 22-27 September, World Health Organization.

WISY AG. Vortex Fine Filter 300 (WFF 300). Disponível em: <http://www.wisy.eu/produkt/vortex-fine-filter-300-wff-300>. Acesso em: 13 dez. 2015

ZAIZEN, M. et al. **The collection of rainwater from dome stadiums in Japan**. Urban Water, 1(4), 356-359, 1999.