

João Daniel Torres Simões Pires

**REÚSO DE ÁGUA CINZA E APROVEITAMENTO DA ÁGUA  
DE CHUVA COMO FONTES ALTERNATIVAS EM  
PROPRIEDADES RURAIS**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Sérgio Philippi

Florianópolis  
2012

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Simões Pires, João Daniel Torres Simões Pires  
Reúso de Água Cinza e Aproveitamento da Água de Chuva  
como Fontes Alternativas em Propriedades Rurais  
[dissertação] / João Daniel Torres Simões Pires Simões  
Pires ; orientador, Luiz Sérgio Philippi Philippi -  
Florianópolis, SC, 2012.  
140 p. ; 21cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Ambiental.

Inclui referências

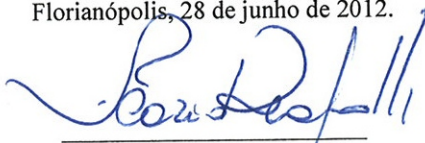
1. Engenharia Ambiental. 2. Propriedades rurais . 3.  
Fontes alternativas de Água. 4. Reuso de água cinza . 5.  
Aproveitamento da água de chuva. I. Philippi, Luiz Sérgio  
Philippi. II. Universidade Federal de Santa Catarina.  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. III.  
Título.

João Daniel Torres Simões Pires

## REUSO DE ÁGUA CINZA E APROVEITAMENTO DA ÁGUA DE CHUVA COMO FONTES ALTERNATIVAS EM PROPRIEDADES RURAIS

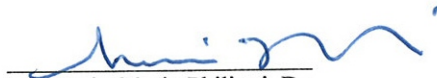
Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Ambiental e aprovada em sua forma final pelo programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

Florianópolis, 28 de junho de 2012.



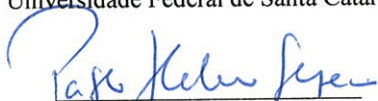
Prof. Flávio Lapolli, Dr.  
Coordenador do Curso

### Banca Examinadora:




Prof. Luiz Sérgio Philippi, Dr.  
Orientador

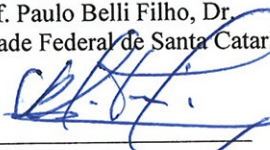
Universidade Federal de Santa Catarina



Prof. Pablo Heleno Sezerino, Dr.  
Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)



Prof. Paulo Belli Filho, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina



Prof. Sergio Roberto Martins, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina



Dedico este trabalho a minha amada  
família que me apoia a cada dia,  
especialmente ao meu Pai e minha  
Avó Dalila pelo incentivo ao estudo.



## AGRADECIMENTOS

Ter a oportunidade de estudar o que nos interessa e intriga proporciona uma satisfação interna. Mas quando percebemos que aquilo que estamos imersos, onde depositamos nossa dedicação e energia profissional é também uma causa nobre e de importante papel para a construção de uma sociedade melhor, então esta oportunidade torna-se ainda mais pertinente e valorosa. Por isto agradeço ao Prof. Luiz Sérgio Philippi, por todas as suas contribuições no âmbito do saneamento descentralizado e na orientação deste trabalho.

Da mesma forma agradeço profundamente a todos os colegas e amigos do GESAD que de alguma forma fizeram parte e contribuíram para este trabalho. Em especial a Doutoranda Prof<sup>a</sup>. Maria Elisa Magri, por auxiliar na concepção inicial dos focos desta pesquisa. Ao pessoal que sempre ajudou no laboratório, em especial a Joceli Zaguini (Tuti) e os bolsistas Maurício, Mayara e Camila. Aos colegas de dia a dia e nas disciplinas, os mestrandos Daniel Furtado e Tércio Moreno pelas discussões teóricas e risadas de descontração.

Agradeço a família do Sr. Zezinho e Dona Ilza proprietários da propriedade piloto que acolheram e integraram-se totalmente na proposta. Sua receptividade e presteza são fundamentais para o bom andamento das pesquisas e a difusão de boas práticas para outras famílias.

Agradeço aos membros da banca por aceitarem o convite e por suas significativas contribuições e ao Prof. Sérgio Martins pelas motivadoras conversas sobre o desenvolvimento rural sustentável.

A minha amada companheira Dhyana e querido filho Inti, pela paciência, incentivo e carinho em todos os momentos.

Obrigado a Deus!





*Por vezes sentimos que aquilo que fazemos  
não é senão uma gota de água no mar.  
Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota.  
(Madre Teresa de Calcutá)*



## RESUMO

O déficit da cobertura de saneamento básico no Brasil é significativamente mais acentuado nas zonas rurais, onde a infraestrutura de saneamento básico é insuficiente ou inexistente. Tendo em vista que as áreas rurais são estratégicas para a produção de alimentos e preservação de recursos naturais, indisponíveis no ambiente urbano, medidas de controle da poluição e economia de recursos naturais são temas de grande relevância e que desafiam nossa sociedade. O objetivo do presente trabalho foi avaliar o potencial da água de chuva e da água cinza proveniente da lavagem de roupas, como fontes alternativas de água em propriedades rurais de base familiar. A propriedade piloto selecionada para a pesquisa contém quatro habitantes e está localizada no município de Palhoça, Santa Catarina. Primeiramente foi realizado um diagnóstico para determinar a demanda de água para fins não potáveis e os arranjos tecnológicos capazes de suprir tais demandas através do aproveitamento de fontes alternativas de água disponíveis na propriedade. As tecnologias selecionadas correspondem a duas divisões de águas. A primeira refere-se à linha de água de chuva (azul), a qual consiste em captar esta através do telhado e, após o descarte da primeira água, aproveitá-la diretamente na máquina e tanque de lavar roupas, ou em outros fins, como a irrigação. A segunda linha é a de água cinza, que consiste no tratamento dos efluentes da máquina e do tanque de lavar roupas através de tanque séptico seguido de um filtro de fluxo horizontal subsuperficial (*constructed wetland*) plantado com macrófitas (*cyperus papyrus*). Este filtro foi dimensionado pela equação de cinética de primeira ordem, com área superficial de 0,8 m<sup>2</sup> por habitante. O sistema de descarte da primeira água da chuva apresentou concentrações de DQO, turbidez e sólidos suspensos cerca de 40 a 60% superiores aos observados no reservatório de armazenamento. Ainda assim todos os parâmetros avaliados apresentaram a média dentro dos limites da norma brasileira, exceto coliformes fecais (38 NMP/ 100 mL), considerando que não foi adotado nenhum processo de desinfecção. Também foi avaliada a eficiência em cada etapa do tratamento da água cinza, sendo destacada a remoção global nas concentrações de sólidos suspensos (94%), sólidos totais (49%), DQO (91%), ortofosfato (95%) e coliformes fecais (171 NMP/100ml). De acordo com a norma brasileira, a água cinza tratada é adequada para as aplicações tipo classes 3 e 4, neste caso na descarga de bacia sanitário, limpeza de pisos e sistema de irrigação pontual.

Simultaneamente ao monitoramento qualitativo, foi realizado um programa de micromedição do consumo de água da propriedade. Foi verificado que a água proveniente do poço freático corresponde a 54% do volume médio diário consumido, enquanto que a água da chuva armazenada e a água cinza tratada correspondem a 37% e 9%, respectivamente. Neste caso foi constatado um consumo médio de 142,8 L/hab.dia, que corresponde ao consumo residencial de padrão médio.

**Palavras-chave:** Propriedades rurais. Fontes alternativas de Água. Reuso de água cinza. Aproveitamento da água de chuva.

## ABSTRACT

The deficit in sanitation coverage in Brazil is significantly more pronounced in rural areas, where sanitation infrastructure is insufficient or nonexistent. Considering that rural areas are strategic to food production and preservation of natural resources, unavailable in the urban environment, actions to control pollution and saving natural resources are issues of great relevance and challenge our society. The objective of this study was to evaluate the potential of rainwater and greywater from the laundry, as alternative sources of water on family farms. The property selected for the pilot survey contains four inhabitants and is located in the municipality of Palhoça, state of Santa Catarina. First, a diagnosis was made to determine the demand for non-potable water and technologies arrangements able to supply these demands, through the use of alternative water sources available at the property. The selected technologies corresponding to two divisions of water. The first one refers to rainwater (blue) line, which captures the rainwater through the roof, and then discards the first water, taking it directly to the tank, washing machine, and uses it for other purposes, such as irrigation. The second line is for graywater, which consists of washing machines and tank effluents treatment through the septic tank followed by a sub-surface horizontal-flow filter planted with macrophytes (*Cyperus papyrus*). This was calculated by the first order kinetics equation, with a 0.8 m<sup>2</sup> surface area per inhabitant. The first rainwater discharge tank presented concentrations of COD, suspended solids and turbidity about 40 of 60% higher than those observed in the storage tank. Even though, all parameters showed that the average was inside the limits of the Brazilian standard, except for fecal coliforms (38 MPN / 100 ml), considering that was not adopted any disinfection process. Also was evaluated each stage efficiency of the gray water treatment, emphasizing the overall removing concentration of suspended solids (94%), total solids (49%), COD (91%), orthophosphate (95%) and fecal coliforms (171 NMP/100ml). According to the Brazilian standards, the treated graywater is suitable for applications of classes 3 and 4, in this case discharge on toilets, cleaning floors and punctual irrigation system. Simultaneously with the qualitative monitoring, an available alternative water sources consumption and production micro-measured program was also being performed at the property. It was identified that groundwater (used in the kitchen and bathroom) corresponds to 54% of the daily average

volume consumed, while the rainwater stored and treated graywater corresponded to 37% and 9%, respectively. In this case was observed a household consumption on average 142.8L/per day, which corresponds to an average pattern of residential consumption.

**Keywords:** Rural properties. Alternative sources of water. Graywater reuse. Rainwater reclamation.

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Cenário do esgotamento de efluentes domésticos no Brasil.	30
Tabela 2 - Volumes recomendados para o dimensionamento de sistemas de abastecimento de água.	32
Tabela 3 - Tipos de aplicação e diretrizes gerais convencionadas para o reúso de efluentes tratados.	35
Tabela 4 - Parâmetros internacionais para reúso de água para fins não potáveis (descarga bacio sanitário).	36
Tabela 5 - Exemplos de alguns marcos regulatórios sobre fontes alternativas de água do Brasil.	38
Tabela 6 - Classes de reúso e descrição das aplicações recomendadas aos diferentes níveis de qualidade.	39
Tabela 7 - Principais parâmetros de qualidade de água indicados para cada classe de reúso.	40
Tabela 8 - Parâmetros de qualidade de água cinza provenientes da lavagem de roupas diferentes autores.	42
Tabela 9 - Resultados de qualidade da água da chuva para diferentes autores.	45
Tabela 10 - Resultados de qualidade da água no sistema de aproveitamento da chuva em diferentes pesquisas.	46
Tabela 11 - Parâmetros brasileiros recomendados para usos não potáveis no aproveitamento da chuva.	47
Tabela 12 – Estimativa da demanda de água para as atividades agrícolas da propriedade piloto.	54
Tabela 13 - Estimativa da demanda de água para fins não potáveis na residência da propriedade piloto.	54
Tabela 14 - Parâmetros de dimensionamento do sistema de aproveitamento de água da chuva.	57
Tabela 15 - Principais componentes do sistema de armazenamento e descarte da chuva.	61
Tabela 16 - Parâmetros de projeto adotados no dimensionamento do tanque Séptico.	63
Tabela 17 - Principais parâmetros para o dimensionamento do filtro plantado de fluxo horizontal.	67
Tabela 18 - Parâmetros, frequência e metodologia de análise de água cinza.	71
Tabela 19 - Descrição do sistema de hidrometria instalado na residência piloto.	73
Tabela 20 - Resultados do monitoramento dos hidrômetros abastecidos pelo água do lençol freático.	83

Tabela 21 - Monitoramento quantitativo da água cinza tratada e da água de chuva armazenada. ....	87
Tabela 22 – Parâmetros de qualidade da água da chuva analisados. ....	91
Tabela 23: Comparativo das concentrações de sólidos totais, suspensos e turbidez para vários autores. ....	97
Tabela 24: Comparativo da concentração dos parâmetros químicos analisados para diversos autores. ....	101
Tabela 25 – Contaminação biológica da água da chuva em comparativo com outros autores. ....	104
Tabela 26 – Parâmetros de qualidade da água cinza em cada etapa do tratamento empregado. ....	105
Tabela 27 - Concentração de sólidos para o efluente bruto da lavagem de roupas para diferentes autores. ....	107
Tabela 28 - Concentrações de amônia, nitrito e nitrato de água cinza bruta proveniente do tanque e/ou máquina de lavar roupas em diferentes pesquisas. ....	113
Tabela 29 - Concentrações de ortofostatos na água cinza bruta proveniente do tanque e/ou máquina de lavar roupas em diferentes pesquisas. ....	117
Tabela 30 - Concentrações de coliformes totais e coliformes fecais ( <i>Escherichia coli</i> ) na água cinza bruta proveniente do tanque e/ou máquina de lavar roupas em diferentes pesquisas. ....	125
Tabela 31: Resumo das características da água cinza tratada e água da chuva armazenada com relação às normas de qualidade e os parâmetros analisados. ....	128



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição de alguns compostos nas parcelas que compõe o esgoto doméstico convencional.....	42
Figura 2 - Localização espacial da propriedade piloto, Palhoça, SC.....	52
Figura 3: Esquema dos sistemas de aproveitamento da chuva e tratamento de água cinza implantados na residência piloto .....	53
Figura 4 - Série histórica de chuvas na Grande Florianópolis (São José) .....	56
Figura 5: Armazenamento e descarte do sistema de aproveitamento de chuva implantado .....	59
Figura 6 - Dispositivo de descarte e detalhe das torneiras boas utilizadas. ....	60
Figura 7 - Construção e impermeabilização do tanque séptico após a instalação hidráulica. ....	63
Figura 8 - Curva granulométrica da areia com as características adequadas ao projeto. ....	65
Figura 9: Esquema do sistema de tratamento de água cinza empregado. ....	67
Figura 10 - Escavação do FPM com detalhe da manta plástica e da tubulação de coleta do efluente. ....	69
Figura 11 - Sistema de tratamento de água cinza: câmaras de inspeção (CI), tanque séptico (TS) filtro plantado com macrófitas (FPM). ....	70
Figura 12 - Hidrômetro padrão utilizado na pesquisa e descrições fornecidas pelo fabricante. ....	74
Figura 13 - Detalhe de parte dos hidrômetros instalados na residência piloto. ....	75
Figura 14 - Precipitação total média registrada para Grande Florianópolis em 2010 e 2011. ....	78
Figura 15 – Médias, máximas e mínimas mensais de pluviosidade total para Grande Florianópolis/SC referente a série histórica de chuva de 1981 a 2011. ....	78
Figura 16 - Relação de dias de ocorrência de chuva na região da Grande Florianópolis de 1981 a 2011. ....	79
Figura 17 - Dias consecutivos sem significativa precipitação na Grande Florianópolis (12/2010 a 11/2011). ....	80
Figura 18 - Volume de chuva disponível para o armazenamento durante o período de 12/2010 a 11/2011. ....	81
Figura 19: Volume de chuva mensal disponível e acumulada em relação a demanda mensal e acumulada. ....	82

Figura 20: Variação temporal no volume médio de água subterrânea consumida em 2011. ....	84
Figura 21 - Percentual de volume de água subterrânea consumida em cada UHS. ....	86
Figura 22 - Proporção das atuais fontes abastecimento na propriedade piloto. ....	89
Figura 23 - Concentração de sólidos suspensos no descarte e na cisterna da chuva. ....	93
Figura 24 – Concentrações de sólidos totais no tanque de descarte e na cisterna de armazenamento da chuva. ....	94
Figura 25 - Sólidos fixos totais no tanque de descarte e armazenamento da chuva. ....	95
Figura 26 – Concentrações de sólidos voláteis no tanque de descarte e armazenamento da chuva. ....	95
Figura 27: Turbidez no descarte e na cisterna de armazenamento da chuva. ....	96
Figura 28 – Concentrações de DQO no tanque de descarte e armazenamento da chuva. ....	99
Figura 29 - Alcalinidade no tanque de descarte e armazenamento da chuva. ....	100
Figura 30 – Variações no pH no tanque de descarte e armazenamento da chuva. ....	101
Figura 31 – Concentração de Coliformes totais no tanque de descarte e armazenamento da chuva. ....	103
Figura 32 – Concentração de <i>E. coli</i> no tanque de descarte e armazenamento da chuva. ....	104
Figura 33 - Resultados da concentração de sólidos totais em cada etapa do tratamento da água cinza. ....	107
Figura 34 - Concentração de sólidos totais fixos em cada etapa do tratamento da água cinza. ....	108
Figura 35 - Concentração de sólidos totais voláteis em cada etapa do tratamento da água cinza. ....	109
Figura 36 - Variação da concentração de sólidos suspensos para cada etapa do tratamento. ....	110
Figura 37 - Concentração de sólidos suspensos totais em cada etapa do tratamento da água cinza. ....	111
Figura 38 - Concentração de amônia (NH <sub>3</sub> ) em cada etapa do tratamento da água cinza. ....	115
Figura 39 - Concentração de nitrato (N-NO <sub>3</sub> ) em cada etapa do tratamento da água cinza. ....	116

Figura 40: Concentração de ortofosfato em cada etapa do tratamento da água cinza.....	118
Figura 41 – Variação de pH em cada etapa do tratamento empregado. ....	119
Figura 42 - Concentração de alcalinidade em cada etapa do tratamento da água cinza.....	121
Figura 43 - Variação temporal na demanda química de oxigênio (DQO) para o efluente bruto e após o tratamento primário (TS).....	122
Figura 44 – Concentração de DQO em cada etapa do tratamento empregado.....	123
Figura 45 – Concentração de <i>Escherichia coli</i> em cada etapa do tratamento empregado.....	126



## LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACB	Água Cinza Bruta
ANOVA	Análise de Variância
CI	Câmara de Inspeção
CT-HIDRO	Fundo Setorial de Recursos Hídricos da FINEP
DBO	Demanda Biológica de Oxigênio (mg/L)
DN	Diâmetro Nominal (mm)
DQO	Demanda Química de Oxigênio total (mg/L)
DP	Desvio Padrão
DS	Dias sem Chuva
E. Coli	<i>Escherichia Coli</i>
EFF	Efluente Final do Filtro
EPAGRI	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina
ETS	Efluente do Tanque Séptico
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
FPM	Filtro Plantado com Macrófitas
GESAD	Grupo de Estudos em Saneamento Descentralizado da
IBGE	Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia Normalização e Qualidade Industrial
LIMA	Laboratório Integrado de Meio Ambiente da UFSC
NBR	Norma Brasileira da ABNT
NH4	Nitrogênio Amoniacal (mg/L)
NO <sub>2</sub>	Nitrogênio Nitrito (mg/L)
NO <sub>3</sub>	Nitrogênio Nitrato (mg/L)
ONU	Organização das Nações Unidas
pH	Potencial Hidrogeniônico
PMSB	Plano Municipal de Saneamento Básico
PPGEA	Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental
SST	Sólidos Suspensos Totais (mg/L)
ST	Sólidos Totais (mg/L)
SF	Sólidos Totais Fixos (mg/L)
SV	Sólidos Totais Voláteis (mg/L)
TS	Tanque Séptico
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UHS	Unidade Hidrossanitária



## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO .....	25
1.1	OBJETIVOS.....	27
1.1.1	<b>Objetivo Geral</b> .....	27
1.1.2	<b>Objetivos Específicos</b> .....	27
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	28
2.1	ÁGUA NO AMBIENTE RURAL.....	28
2.2	QUANTIFICAÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA.....	31
2.3	FONTES ALTERNATIVAS DE ÁGUA .....	33
2.4	ÁGUA CINZA .....	40
2.5	ÁGUA DA CHUVA (ÁGUA AZUL).....	43
2.6	TANQUE SÉPTICO .....	47
2.7	FILTROS PLANTADOS COM MACRÓFITAS ( <i>CONSTRUCTED WETLANDS</i> ).....	49
3.	MATERIAIS E MÉTODOS .....	51
3.1	LOCALIZAÇÃO DA PESQUISA .....	51
3.1.1	<b>Características da Propriedade Piloto</b> .....	52
3.2	DESCRIÇÃO DOS SISTEMAS DE SANEAMENTO IMPLANTADOS .....	54
3.2.1	<b>Estimativa das Demandas não Potáveis</b> .....	54
3.2.2	<b>Características Gerais do Sistema de Aproveitamento de Água da Chuva</b> .....	55
3.2.3	<b>Características Gerais do Sistema de Tratamento de Água Cinza</b> .....	61
3.2.4	<b>Características Gerais do Tanque Séptico</b> .....	62
3.2.5	<b>Tratamento Secundário: Filtros Plantados com Macrófitas</b> .....	64
3.3	CARACTERIZAÇÃO QUALITATIVA DAS ÁGUAS .....	70
3.3.1	<b>Monitoramento da Qualidade da Água Cinza</b> .....	70
3.3.2	<b>Monitoramento da Qualidade da Água de Chuva</b> ... 72	72

3.4	QUANTIFICAÇÃO DAS ÁGUAS .....	72
3.5	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	75
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	76
4.1	ANÁLISE ESTATÍSTICA (ANOVA).....	76
4.2	FONTES ALTERNATIVAS DE ÁGUA DISPONÍVEIS NA PROPRIEDADE PILOTO.....	77
4.2.1	<b>Características Pluviométricas da Região da Grande Florianópolis, SC .....</b>	<b>77</b>
4.2.2	<b>Potencial de Captação do Sistema de Aproveitamento de Água de Chuva.....</b>	<b>80</b>
4.2.3	<b>Avaliação Quantitativa do Consumo das Fontes Alternativas da Propriedade.....</b>	<b>82</b>
4.3	CARACTERIZAÇÃO QUALITATIVA DA ÁGUA DE CHUVA .....	90
4.3.1	<b>Características Físicas da Água de Chuva (Sólidos e Turbidez).....</b>	<b>91</b>
4.3.2	<b>Características Químicas da Água de Chuva .....</b>	<b>97</b>
4.3.3	<b>Contaminação por Coliformes Presentes na Água de Chuva</b>	<b>102</b>
4.4	CARACTERIZAÇÃO QUALITATIVA DA ÁGUA CINZA E EFICIÊNCIA DO SISTEMA DE TRATAMENTO. ....	105
4.4.1	<b>Características Físicas da Água Cinza .....</b>	<b>106</b>
4.4.2	<b>Avaliação Química da Água Cinza e seu Tratamento</b>	<b>112</b>
4.4.3	<b>Demanda Química de Oxigênio na Água Cinza ....</b>	<b>121</b>
4.4.4	<b>Presença de Coliformes Fecais na Água Cinza.....</b>	<b>123</b>
5.	CONCLUSÕES .....	129
6.	RECOMENDAÇÕES.....	131
7.	BIBLIOGRAFIA .....	132



## 1. INTRODUÇÃO

O Fundo de População das Nações Unidas, alerta que a diminuição dos recursos hídricos é a questão ambiental mais frequentemente levantada nos países em desenvolvimento (ONU, 2011). Neste contexto, mudanças na nossa abordagem atual para a gestão dos recursos hídricos são urgentemente necessárias ao desenvolvimento e a implementação de medidas para garantir o abastecimento de água limpa e segura para as populações em todo o mundo (SCHOLES e SHUTES, 2010).

A agricultura é, sem dúvida, a atividade que mais demanda água atualmente no Brasil e no mundo. Para se ter uma ideia, de acordo com o Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil – Informe 2011, produzido pela Agência Nacional de Águas com base nos dados de 2010, a irrigação se mantém responsável por 69% do consumo de água no Brasil (ANA, 2011). Segundo Hespanhol (2003), ante aos problemas econômicos, sociais e ambientais associados ao desenvolvimento de novas áreas agrícolas, a viabilidade de irrigação passou a se constituir elemento prioritário para o aumento da produtividade dos setores rurais, e conseqüentemente para o crescimento do setor.

Porém não são somente os aspectos quantitativos relacionados à escassez da água que desafiam a gestão dos recursos hídricos no ambiente rural. A contaminação de corpos d'água por elementos tóxicos (agrícolas ou industriais) ou por lançamentos de efluentes domésticos não tratados acaba gerando uma cadeia de problemas de saúde pública, oferecendo risco às pessoas que vivem nestas áreas devido ao contato direto ou indireto com mananciais poluídos. A poluição de águas subterrâneas também pode ocasionar a contaminação de fontes de abastecimento de água para o consumo humano ou irrigação alimentos, fazendo com que estes sejam um veículo de doenças. Nestas condições, pode ocorrer a contaminação de alimentos produzidos ou beneficiados com água poluída.

A utilização de sistemas de tratamento que garantam os padrões qualidade de efluentes domésticos e o seu reuso proporcionam vantagens como: melhoria da qualidade de vida, reciclagem de nutrientes na irrigação, economia de insumos como fertilizantes, economia das águas de melhor qualidade, controle de poluição sobre corpos hídricos receptores, entre outras (EMBRAPA, 2007). O acesso a

tecnologias simples, que permitem que o usuário participe de sua gestão e aproprie-se destas técnicas podem melhorar a qualidade e disponibilidade de recursos hídricos e energéticos, inclusive gerando e difundindo novos conhecimentos.

As tecnologias de saneamento descentralizado são aquelas que priorizam soluções locais e destinadas às residências isoladas ou a pequenos sistemas condominiais que, ao contrário dos grandes sistemas coletivos, não concentram efluentes transportados por longas distâncias em grandes estações de tratamento. Para Philippi *et al* (2007), a implementação de tecnologias de saneamento descentralizado, permite não só minimizar os déficits de água existentes, mas também é um instrumento de mudança social, que através do acúmulo de informações e o êxito das experiências locais permite ampliar, de maneira gradativa, sua abrangência, alcançando locais de difícil acesso onde as tecnologias convencionais não são viáveis, nem interessantes.

No Brasil a Política Nacional de Saneamento Básico (PNSB) impõe a responsabilidade de gestão dos serviços de saneamento aos municípios, que devem planejar e regular suas ações através do Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB). Neste documento também devem ser observados os princípios fundamentais da PNSB, dentre os quais estão: a universalização do acesso, adoção de tecnologias apropriadas às peculiaridades locais, a gestão eficiente de recursos hídricos e o controle social. Conceitos de sustentabilidade como o saneamento ecológico e a divulgação da “pegada hídrica”, que calcula a exigência de água para manutenção de processos e produtos, são também exemplos de ferramentas difundidas para promover a conservação e a otimização de recursos naturais, especialmente a água doce.

Em consonância com as linhas de pesquisas no campo do saneamento ecológico, atualmente desenvolvidas pelo Programa de Pós-Graduação e o Grupo de Estudos em Saneamento Descentralizado (GESAD) da UFSC, este trabalho propõe uma atenção especial quanto ao potencial de fontes alternativas de água em propriedades com agricultura de base familiar. Portanto, este trabalho visa identificar parâmetros de projeto para sistemas de tratamento, reúso de água cinza e o armazenamento de água de chuva voltados para utilização doméstica e irrigação. Os sistemas instalados e os detalhes quanto ao seu dimensionamento e funcionamento serão abordados nos próximos itens.

A viabilidade econômica para implantação de sistemas de saneamento ecológico e demais despesas da pesquisa (reagentes,

deslocamentos, etc.) foi possível com a aprovação do projeto no edital CT-Hidro de 2009, promovido pela Empresa Pública Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), como parceiro institucional. Além disto, também foi concedida uma bolsa de estudos com nível de mestrado, fornecida pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Analisar a eficiência de sistemas de aproveitamento de água cinza tratada e da chuva como fontes alternativas de água doméstica e agrícola em propriedades rurais de base familiar, identificando parâmetros de projeto adequados para esta realidade.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Avaliar um sistema de tratamento de água cinza composto por tanque séptico seguido de filtro plantado com macrófitas (*constructed wetlands*), para o tratamento da água proveniente da lavagem de roupas.
- Avaliar um sistema de aproveitamento de água da chuva captada nos telhados da residência unifamiliar.
- Medir o perfil temporal do consumo de água em diferentes Unidades Hidráulicas Sanitárias (UHS) na residência unifamiliar.
- Monitorar os parâmetros físico-químicos e biológicos da água da chuva captada e da água cinza proveniente da lavagem de roupas antes e após o seu tratamento.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 ÁGUA NO AMBIENTE RURAL

Segundo o Informe Anual da Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil (ANA, 2011), o consumo de água para atividades agropecuárias em 2010 foi na ordem de 81% do total consumido no mesmo período em todo o país. Outros 2% representam o consumo de água para abastecimento das famílias que vivem nestas áreas, enquanto que o restante é utilizado para suprir as demandas industriais e população urbana.

Há várias décadas a irrigação na agricultura nacional tem gradativamente aumentado. Santos (1998), relata que no Brasil cerca de 35% do valor total arrecado pela comercialização de produtos agrícolas é referente a produção irrigada. Este valor é ainda mais significativo quando considera-se que somente 5 a 6% das terras cultiváveis do Brasil são ocupadas por culturas irrigadas. Para a região sul do país a situação não é diferente. Segundo o mesmo autor, apesar de ser a região com maior área de culturas irrigadas, com cerca de 1,2 milhões de hectares de lavouras irrigadas, esta parcela corresponde somente a 7 ou 8% de todas as áreas cultivadas da região.

Para a região sul do Brasil deve-se considerar ainda que boa parte deste valor corresponde a rizicultura cultivada por inundação, já que esta técnica favorece bastante a produtividade de arroz por hectare. O sistema de irrigação necessário para o cultivo de arroz inundado é ainda mais exigente que as demais culturas irrigadas. Isto porque exige grandes volumes de água em poucos meses do ano, enquanto que em outras culturas este fornecimento é melhor distribuído durante o ano (ANA, 2004). Associado a este fato, está também a questão dos agroquímicos, que quase sempre são aplicados na lavoura para depois serem carreados para um rio ou lago, muitas vezes contaminando também o solo e o lençol freático da região.

Através da irrigação também podem ser veiculados os insumos agrícolas necessários a uma boa produtividade. Existem ainda, regiões onde os períodos de estiagem são mais raros e curtos, possuindo um déficit hídrico menos acentuado. Nestes casos, a opção pode ser a irrigação suplementar, evitando a queda de produtividade e qualidade do produto final (VIEIRA, 1989 *apud* TELLES E DOMINGUES, 2006).

Ainda de acordo com o Relatório da Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil: Informe 2011, cerca de 12% (118,4m<sup>3</sup>/s) de toda água consumida no Brasil para o abastecimentos dos diferentes setores é destinada ao trato de animais. Ou seja, quase 10 milhões de metros cúbicos de água de boa qualidade que diariamente retornam para a natureza em forma de excretas e outros efluentes agroindustriais, muitas vezes sem o devido tratamento.

O saneamento básico também é um fator preocupante no que diz respeito à poluição do ambiente rural. De acordo com Amaral *et al* (2003), existe um risco consideravelmente superior na ocorrência de doenças parasitárias e infecciosas relacionadas a ingestão ou contato com água contaminada nas zonas rurais em relação a áreas urbanas consolidadas. Os autores atribuem este fato aos métodos individuais de abastecimento historicamente utilizados pelos agricultores baseados em poços rasos e nascentes, fontes bastante susceptíveis à contaminação.

Além dos aspectos sanitários descritos a ausência dos devidos cuidados com dejetos e rejeitos ocasiona problemas de cunho ecológico também, tais como a alteração das características físico-químicas do solo e da água ou causar eutrofização de corpos hídricos e mortalidade de fauna aquática. Aspectos estéticos como odores desagradáveis ou atração de espécies indesejáveis, como os vetores de doenças, também estão relacionados com a poluição doméstica em áreas naturais.

Segundo o documento Indicadores Sociais Municipais, elaborado pelo IBGE (2011), para avaliação dos índices de cobertura a nível nacional são utilizadas três categorias: “domicílio com saneamento adequado” aquele domicílio com escoadouro ligado à rede geral ou à fossa séptica, servido de água proveniente de rede geral de abastecimento e com destino do lixo coletado diretamente ou indiretamente pelos serviços de limpeza. Os “domicílios com saneamento semiadequado” possuíam, pelo menos, um dos serviços descritos. Os “domicílios com saneamento inadequado” não apresentaram qualquer condição de saneamento básico acima descrito.

Com relação ao estado de Santa Catarina para o ano de 2010 apenas 10% dos domicílios na zona rural possui cobertura de saneamento a nível adequado, enquanto que aproximadamente 26% dos domicílios rurais não apresentam qualquer condição de saneamento básico. O restante dos domicílios no meio rural, cerca de 64%, possuem o status de semiadequado, pois em sua maioria possuem algum sistema de abastecimento de água para o consumo.

A Tabela 01 aponta a discrepância entre os índices do meio rural em relação ao urbano no Brasil e para cada região do país no ano de 2008 (PNAD, 2009). Pode-se verificar que o saneamento descentralizado utilizando a tecnologia do tanque séptico ainda é a mais utilizada no meio urbano e rural, porém não existe menção ao tratamento secundário exigidos em várias regiões do Brasil. Este fato indica que o cenário de saneamento básico brasileiro pode ser ainda crítico, pois não existe garantia da eficiência dos sistemas diagnosticados através dos censos. Outra característica marcante é o número de domicílios sem banheiro, em regiões como o Nordeste, onde a maioria das residências rurais estão nesta situação, enquanto que na região Sul esta porcentagem é bem menor.

Com relação à rede pública de coleta e tratamento de esgotos domésticos pode-se afirmar que os valores para áreas rurais são bem inferiores ao observado para o urbano, com destaque para média brasileira de 3,1% e região Sul, com menos da metade (1,5%) dos domicílios rurais atendidos.

Tabela 1 - Cenário do esgotamento de efluentes domésticos no Brasil.

Região	Domicílios	População urbana (%)			Domicílios	População Rural (%)		
	Permanetes (1.000)	Rede de coleta <sup>(1)</sup>	Tanque Séptico <sup>(2)</sup>	Sem Combertura	Permanetes (1.000)	Rede de coleta <sup>(1)</sup>	Tanque Séptico <sup>(2)</sup>	Sem Combertura
Norte	3.121	12,16	55,68	<b>32,16</b>	885	0	32,77	<b>67,23</b>
Nordeste	11.104	42,42	26,59	<b>30,99</b>	3.889	2,83	12,32	<b>84,85</b>
Sudeste	23.439	85,59	7,7	<b>6,71</b>	1.871	18,44	14,59	<b>66,97</b>
Sul	7523	39,25	44,62	<b>16,13</b>	1.470	3,47	37,35	<b>59,18</b>
Centro- Oeste	3.713	42,77	10,77	<b>46,46</b>	537	1,68	11,73	<b>86,59</b>
<b>Brasil</b>	<b>48.905</b>	<b>60,71</b>	<b>20,97</b>	<b>18,32</b>	<b>8.652</b>	<b>5,95</b>	<b>19,13</b>	<b>74,92</b>

(1) Esgotamento sanitário por rede coletora. (2) Esgotamento sanitário por fossa séptica

Fonte: Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios de 2008 (IBGE, 2009).

## 2.2 QUANTIFICAÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA

Em um sistema de abastecimento de água, a quantidade consumida varia continuamente em função do tempo, das condições climáticas, hábitos da população, etc (TSUTIYA, 2006). Por este motivo, esforços voltados à busca e/ou adaptação de fontes de água alternativas, devem ser baseados em características específicas de cada localidade, respeitando o modo de vida e adaptando-se ao meio ambiente e as dinâmicas socioeconômicas predominantes.

A necessidade de se rever a quantidade de água fornecida para suprir as atividades básicas humanas de ingestão, higiene e preparação de alimentos vem sendo discutida por vários autores. A ONU (2012) defende que cada pessoa precisa de, no mínimo, 20 a 50 litros de água doce por dia para garantir suas necessidades básicas, para beber, cozinhar e limpar. A definição proposta por Gleick (1996) é de que 50 L/hab/dia é um padrão suficiente para suprir estas necessidades. Este autor define o requerimento básico de água para e quatro necessidades humanas básicas: água potável para a sobrevivência, a água para a higiene humana, a água para os serviços de saneamento e as necessidades domésticas modestas para a preparação de alimentos. O mesmo autor propôs um mínimo de 15L/hab.dia para atividades de higiene e de 10 L/hab.dia para produção de alimentos (cozinha), como um novo padrão para atender estas atividades básicas independente do clima, cultura e tecnologia.

De maneira geral, para o abastecimento de água em uma determinada área pode-se considerar cinco principais variações do perfil de consumo no que diz respeito a variações temporais, são elas: anual, mensal, diária, horária e instantânea. Para cada perfil temporal de demanda de água existem diferentes fatores que contribuem para as variações observadas. Desta forma, é necessário avaliar a qual condição e tendência o sistema em questão está exposto, a fim de estimar da melhor forma os parâmetros adequados para a concepção de sistemas de tratamento de água em cada situação (TSUTIYA, 2006).

De acordo com Tomaz (2000), a variação horária também é um importante parâmetro para o dimensionamento de sistema de abastecimento e está intimamente relacionada com os hábitos e a ocupação dos moradores de uma residência. Desta forma é importante conhecer, de maneira geral, a rotina em que está inserida determinada comunidade, isto porque de acordo com os horários de pico, tais como;

a entrada em escola, saída do trabalho e finais de semana, pode-se constatar as situações mais críticas no que diz respeito à disponibilidade e qualidade do abastecimento diário.

Para dimensionar e operar sistemas de abastecimento, as variações diárias e horárias são as mais significativas e dão origem aos coeficientes de variação das vazões  $K_1$  e  $K_2$ , respectivamente (TSUTIYA, 2006). Atualmente os principais parâmetros quantitativos preconizados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas para a concepção de projetos de abastecimento estão dispostos na NBR 5626 (1998), NBR 13.969 (1997) e entre outras relacionadas. A Tabela 02 apresenta alguns dos valores preconizados para dimensionamento de sistemas de tratamento de água.

Tabela 2 - Volume recomendado para o dimensionamento de sistemas de abastecimento de água.

Prédio	Unidade	Consumo de água (L/dia)	Consumo na descarga (L/dia)
<b>1. Ocupantes permanentes</b>			
Residência Padrão Alto	pessoa	160	60
Residência Padrão Médio	pessoa	130	50
Residência Padrão Baixo	pessoa	100	40
Hotel	pessoa	100	30
Alojamento Provisório	pessoa	80	30
<b>2. Ocupantes Temporários</b>			
Fábricas em geral	pessoa	70	30
Escritórios	pessoa	50	30
Edifício público/comercial	pessoa	50	20
Escolas e locais de longa permanência	pessoa	50	30
Restaurantes e similares	pessoa	25	10
Cinemas, teatros e locais de curta permanência.	lugar	2	2
Sanitários públicos	bacia	480	450

Fonte: Adaptado da ABNT (1997).

Existem outras fontes na literatura que permitem estimar de forma razoável os parâmetros a serem adotados quando se trata de sistemas de abastecimento de áreas urbanas em suas diversas peculiaridades: periferias, centros urbanos e complexos industriais. No entanto, pouco tem-se estudado qual a verdadeira demanda por água em propriedades rurais de base familiar, e ainda, quais os fatores preponderantes nesta análise e qual sua significância na criação e/ou adaptação de fontes alternativas deste recurso.



## 2.3 FONTES ALTERNATIVAS DE ÁGUA

Dentre os vários usos da água, o abastecimento humano é considerado o mais nobre e prioritário, uma vez que o homem depende dela, em termos de quantidade e qualidade, para sua sobrevivência. Por esta razão o homem sempre buscou formas de melhor de captar e armazenar este recurso, utilizando-a para diversos outros fins. Tendo em vista o atual cenário de crescimento populacional associado ao processo de contaminação dos mananciais iniciou-se a tendência pela adoção de medidas de redução de consumo em edificações e criação de novas fontes alternativas de água que possam substituir o emprego de água potável em usos menos nobres ou pouco exigentes.

De acordo com o Manual de Conservação e Reúso da Água em Edificações, consideram-se fontes alternativas de água todas aquelas que não estão sob concessão de órgãos públicos ou que não sofrem cobrança pelo seu uso (ANA, FIESP & SindusCon, 2005).

Pode-se afirmar que a busca por fontes alternativas de abastecimento de água não é somente um reflexo da atual situação de insegurança em relação à disponibilidade de recursos hídricos, esta prática é antiga é bastante difundida especialmente no meio rural, onde a infraestrutura de abastecimento de água é mais deficitária (BRAGA *et al*, 2005). Neste caso, geralmente as fontes alternativas utilizadas são de córregos próximos, poços freáticos e açudes de armazenamento da chuva. O reaproveitamento de águas servidas, porém, introduz uma nova perspectiva no universo de possíveis fontes alternativas, tanto a nível rural quanto urbano, ou em suas interfaces.

Alguns países já estão na frente em pesquisas de soluções para amenizar o déficit hídrico, especialmente em regiões mais áridas ou com chuvas mal distribuídas. Este é o caso de diversos países do norte da África, Europa e Oriente médio, onde encontram-se os maiores conflitos pela escassez da água (REBOUÇAS, 2006). De maneira geral a carência por água também pode ocorrer por fatores geomorfológicos (microclimas) ou até aspectos sociais. Por tal motivo países que não estão cotados na lista de escassez de água também desenvolvem programas visando otimizar o consumo racional do recurso e potencializar a recirculação de água para diferentes fins, do mais exigentes ao menos exigentes. Assim, políticas de vigilância sanitária instituem padrões de uso recomendados para cada situação a nível

nacional ou regional como no caso da Austrália, EUA, Alemanha e outros países industrializados.

Existem várias classificações sobre os tipos de usos e as características definidas para cada aplicação de reúso previsto. Estes tipos de aplicações são baseados em referências internacionais e são atualmente adotados pela maioria da bibliografia especializada (Tabela 03).

Tabela 3:Tipos de aplicação e diretrizes gerais para o reúso de efluentes tratados.

Tipos de Aplicação	Características e exigências
Direto	Uso planejado de esgotos tratados para certa finalidade como uso industrial, irrigação e água potável. Nada é descarregado no meio ambiente.
Indireto	Quando a água, já utilizada, uma ou mais vezes para o uso doméstico ou industrial, é descartada nas águas superficiais ou subterrâneas e utilizada novamente, mas de forma diluída.
Planejado	Quando este é resultado de uma ação planejada, consciente, adiante do ponto de descarga do efluente a ser usado
Não Planejado	Caracterizado pela maneira não intencional e não controlada de sua utilização.
Potável	Com a finalidade de abastecimento da população.
Não Potável	Objetiva atender a demanda que tolera águas de qualidade inferior (fins industriais, recreacionais, irrigação, descarga em vasos sanitários, entre outros).
Potável Direto	O esgoto é recuperado por meio de tratamento avançado e é injetado diretamente no sistema de água potável.
Potável Indireto	O esgoto, depois de tratados é lançado nas águas superficiais ou subterrâneas para diluição, purificação natural para uma posterior captação e tratamento.
Recarga de Aquíferos Subterrâneos	Quando o aquífero subterrâneo é recarregado pelo efluente tratado para, entretanto outros objetivos, evitar o rebaixamento de seu nível e aumentar a disponibilidade de água.
Urbano Irrestrito	Irrigação (campos de esporte, parques, jardins, etc), usos ornamentais e paisagísticos em áreas com acesso irrestrito ao público, limpeza de ruas e outros similares.
Urbano Restrito	Irrigação (campos de esporte, parques, jardins, etc), usos ornamentais e paisagísticos em áreas com acesso controlado ao público, abatimento de poeira e construção civil ( compactação de solo e outros similares), etc.
Predial	Redes públicas e domiciliares de água utilizada para descarga de vasos sanitários.
Agrícola Irrestrito	Irrigação artificial ou por aspersão de qualquer cultura, inclusive alimentícias consumidas cruas ou hidropônica.
Agrícola Restrito	Irrigação artificial ou por aspersão de qualquer cultura não ingerida crua, alimentícia ou não alimentícias (árvores, forragem, pastagens, etc).
Agrícola Restrito com Barreiras Adicionais	Exige maior controle contra exposição humana, priorizando técnicas e equipamentos de irrigação automatizados e adoção de equipamentos de proteção individual (EPI).

Fonte: Adaptado de Florêncio *et al* (2006); Mancuso & Santos (2002).

A Tabela 04 apresenta alguns parâmetros e normas para o reúso de água para fins não potáveis, neste caso, descarga do bacio sanitário.

Tabela 4 Parâmetros internacionais de reúso de água para fins não potáveis

Parâmetros	EPA (2004)		NSW HEALTH (2005)	KAYAALP <sup>1</sup> (1996)	JEFFERSON <sup>1</sup> (1999)	LAZAROVA <sup>1</sup> (2003)	CMHC <sup>2</sup> (2004)
	Vários estados	Washington	Austrália	Sul da Austrália	Alemanha	Japão	Canadá
pH	-	-	-	-	6-9	6-9	-
Turbidez (NTU)	2-5	5	-	2-5	1-2	-	5
DBO <sub>5</sub>	5-30	30	<10-20	<20	20	10	30
SST (mg/L)	5-30	30	<0-21	<10	30	5	30
Coil Total (UFC/100ml)	2,2-23	23	<1	<9	500	10	200
Coil Fecal (UFC/100ml)	ND-75	-	<10-30	-	100	10	200
Cloro Livre (mg/L)	-	-	0,5-2,0	-	-	-	>1

<sup>1</sup>Apud PETERS (2006) <sup>2</sup>Apud BAZZARELA (2005)

Fonte: Elaborado pelo autor (2012).

No que diz respeito a padrões internacionais de reuso em termos de contaminação biológica destacam-se entidades mais restritivas como a USEPA (2004), onde os valores máximos preconizados para a concentração de *E. coli* nos reúsos prediais são baseados na sua ausência virtual destes microrganismos após processo de desinfecção e ainda com cloro residual livre mínimo de 1,0 mg/L.

De maneira autônoma alguns estados americanos como Washington e Califórnia (pioneiros no assunto), preconizam a desinfecção, porém sem cloro residual, permitindo uma pequena margem até 23,0 NMP/100ml de *E. coli* para os reúsos equivalente a classe 3 da ABNT (1997) e ANA, FIESP & SIDUSCON (2005). Obviamente padrões com tais níveis de exigência só podem ser atingidos por processos rigorosos de tratamento de esgotos, incluindo a filtração e desinfecção (MANCUSO & SANTOS, 2003; USEPA 2004). Por outro lado, em países como a Japão, Alemanha e Canadá são mais tolerantes para certos tipos de reuso prediais, não sendo sempre obrigatória a desinfecção, com destaque para Alemanha, que permite a presença de até 500 NMP/100ml para descarga do bacio sanitário (JEFFERSON, 1999 *apud* BAZZARELA, 2005).

Em termos de reuso de esgotos para fins agrícolas, a margem de segurança com relação a concentração de *E. coli* também têm sido bastante estudada nas últimas décadas, pois além da possibilidade de

contaminação de alimentos, também existe a possibilidade de contaminação direta de pessoas devido aos aerossóis produzidos durante a irrigação. Cabe ressaltar os avanços incorporados pela Organização Mundial de Saúde, as análises de risco foram mais detalhadas levando em consideração em sua formulação ferramentas de avaliação de riscos e diferentes cenários, elencando categorias para cada tipo de irrigação dirigida as características fisionômicas da espécie irrigada (BASTOS & BEVILACQUA, 2006).

O Brasil é um dos países com maior quantidade de água doce no mundo. Na América do Sul cerca de 53% de toda a água doce disponível está no Brasil, o que corresponde a aproximadamente 12% no cenário mundial. O Brasil é também o país que possui a maior média de descarga de água doce entre os países mais ricos em água no mundo (6.220 km<sup>3</sup>/ano), seguido de longe por Rússia (4.059 km<sup>3</sup>/ano) e EUA (3.760 km<sup>3</sup>/ano) (MARGAT, 1998 *apud* REBOUÇAS, 2006).

A extensão e a geografia do território brasileiro permitem uma grande variedade de climas e microclimas. Mesmo com tamanha abundância hídrica, o Brasil possui cerca de 10% do seu território em clima semiárido, onde as secas são recorrentes e trazem prejuízos econômicos e sociais. Entretanto, a escassez não é um fenômeno exclusivo do semiárido, ou mesmo das regiões Nordeste e parte do Sudeste do país. Problemas com a seca também estão sendo cada vez mais constantes na região Sul, principalmente no interior dos estados do Rio Grande do Sul e Oeste de Santa Catarina.

Em certas cidades litorâneas catarinenses, acontece falta de água não só por motivo de estiagem, mas também porque na alta temporada a população dobra e até triplica, e o fornecimento de água torna-se insuficiente para suprir a demanda, ocorrendo à falta de água nas residências (PETERS, 2006). Estas e outras considerações propulsionam cada vez mais as pesquisas para que tecnologias de reuso sejam difundidas e ocorra uma otimização do consumo de água em diversos setores no país. Por isto, nos últimos anos algumas instituições têm publicado materiais de apoio e orientação para técnicos e consumidores.

Atualmente já estão tramitando muitos projetos de lei que buscam regulamentar o aproveitamento de água de chuva e o reuso de água cinza em diversas cidades brasileiras. No estado de Santa Catarina, por exemplo, Blumenau foi o primeiro município a instituir uma Lei específica, que exige medidas que induzam à conservação de água nas edificações. Nesta são impostas a necessidade de adoção de

equipamentos sanitários que economizam a água e sistema de captação de águas da chuva para as novas edificações com área construída superior a 750,0 m<sup>2</sup>. A Tabela 05 faz referência a alguns dos marcos regulatórios existentes sobre o tema das fontes alternativas de água no Brasil, em âmbito nacional e municipal.

Tabela 5: Marcos regulatórios sobre fontes alternativas de água do Brasil.

	Água da Chuva	Água Cinza	Esgoto Sanitário
	Lei Nº 10.785/2003 -Curitiba	Lei Nº 10.785/2003 -Curitiba	Lei Nº 6.076/2003 -Maringá/PR
	Lei Nº 13.276/2002- São Paulo/SP	Lei Nº 6.345/2003 -Maringá/PR	Lei Nº 13.276/2002- São Paulo/SP
Nível	Lei Nº 6.345/2003 -Maringá/PR	Lei Nº 2.451/2005 - Diadema/SP	
Municipal	Lei Nº 2.451/2005 - Diadema/SP	Lei Nº 7.216/2008- Blumenau/SC	
	Lei Nº 7.216/2008- Blumenau/SC	Lei nº. 10.506/2008-Porto Alegre/RS	
	Lei nº. 10.506/2008-Porto Alegre/RS		
Nível			
Nacional	NBR 15527/2007		NBR 13.969/1997

Fonte: Elaborado pelo autor (2012).

Além dos marcos regulatórios existem também documentos de referência como o Manual de Conservação e Reúso da Água em Edificações, por exemplo, onde constam alguns parâmetros e recomendações quanto à qualidade e segurança sanitária destas águas (ANA, FIESP & SindusCon, 2005). Como contribuição destas instituições, destacam-se a adoção de diferentes classes para atividades com água não potável descritas abaixo:

- **Água de Reúso Classe 1** – Destinadas a descarga de bacias sanitárias, lavagem de pisos e fins ornamentais (chafarizes, espelhos de água etc.) e lavagem de roupas e de veículos;
- **Água de Reúso Classe 2** – Os usos preponderantes nesta classe são associados às fases de construção da edificação, como a lavagem de agregados, a preparação de concreto, a compactação do solo e o controle de poeira;
- **Água de Reúso Classe 3** – Irrigação de áreas verdes e rega de jardins;

- **Água de Reúso Classe 4** – Resfriamento de equipamentos de ar condicionado (torres de resfriamento).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) também faz referência ao reúso de águas tratadas como forma de economizar águas com qualidade mais elevada do que a exigida para uso empregado. Isto ocorre frequentemente na aplicação de água potável para descarga do bacio sanitário, rega de jardins ou limpeza de pisos, por exemplo. A mesma norma apresenta ainda algumas premissas para o dimensionamento de sistema de reúso local de efluentes tratados visando uso seguro e racional deste recurso e também minimizar o custo de implantação e de operação.

Para o correto dimensionamento destes sistemas, devem ser definidos os seguintes itens: a) Os usos previstos para efluente tratado; b) Volume de esgoto a ser reutilizado; c) Grau de tratamento necessário; d) Sistema de estocagem e de distribuição; e) Manual de operação e treinamento dos responsáveis (ABNT, 1997). A seguir serão apresentadas as diferentes classes de reúso indicadas pela ABNT (Tabela 06).

Tabela 6 - Classes de reúso e descrição das aplicações recomendadas aos diferentes níveis de qualidade.

Classes de reúso	Aplicações recomendadas pela ABNT
Classe 1	Lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto com a água.
Classe 2	Lavagens de pisos, calçadas e irrigação dos jardins, manutenção de lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes.
Classe 3	Reúso nas descargas dos 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

Fonte: ABNT (1997).

Da mesma forma, como parâmetros mínimos de qualidade recomendados para cada classe destaca-se a Tabela 07, que apresenta de forma comparativa as principais características mínimas adequadas às classes que possuem pertinência com a presente pesquisa.

Tabela 7 - Principais parâmetros de qualidade de água indicados para cada classe de reúso.

Parâmetros	Unidade	Manual da ANA/FIESP & SindusCon/SP (2005)		NBR 13.969 de 1997	
		Classe 1	Classe 3	Classe 3	Classe 4
pH	-	6,0 - 9,0	6,0 - 9,0	-	-
Cor verdadeira	uH	≤ 10	≤ 30	-	-
Turbidez	UNT	≤ 2	-	< 10	-
Óleos e Graxas	mg/L	≤ 1	-	-	-
DBO 5,20	mg/L	≤ 10	< 20	-	-
DQO	mg/L	-	75	-	-
Coliformes Fecais	NMP/100	Não	≤ 200	< 500	< 500
Nitratato	mg/L	≤ 10	-	-	-
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	≤ 20	-	-	-
Nitrito	mg/L	≤ 1	-	-	-
Fósforo Total	mg/L	≤ 0,1	-	-	-
Sulfato	mg/L	-	680	-	-
Sólidos suspensos totais	mg/L	≤ 5	-	-	-
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	≤ 500	-	-	-
Oxigênio dissolvido	mg/L	-	-	≥ 4	≥ 2
Alcalinidade	mg/L	-	500	-	-
Cloretos	mg/L	-	600	-	-
Dureza	mg/L	850	-	-	-

Fonte: ABNT (1997) e Manual ANA/FIESP & SindusCon/SP (2005)

Algumas leis e decretos municipais fazem ressalvas à utilização de fontes alternativas, como é o caso de municípios tais como Blumenau (SC), São Paulo (SP), Rio de Janeiro (RJ), Curitiba (PR) e Maringá (PR).

## 2.4 ÁGUA CINZA

Em uma residência, as águas residuárias podem ser segregadas em água cinza (lavatório, chuveiro, tanque e máquina de lavar roupas) e águas negras (pia de cozinha e vaso sanitário), e estas últimas, ainda em águas marrons (vaso - fezes) e águas amarelas (vaso - urina) (MAGRI *et al.*, 2008).

Segundo Sutherland (2008), quando ocorre a segregação entre água cinza e as demais águas provenientes do bacio sanitário ou, em alguns casos da pia da cozinha, obtém-se uma água a qual normalmente é exigido um tratamento mais simplificado, menos dispendioso e com



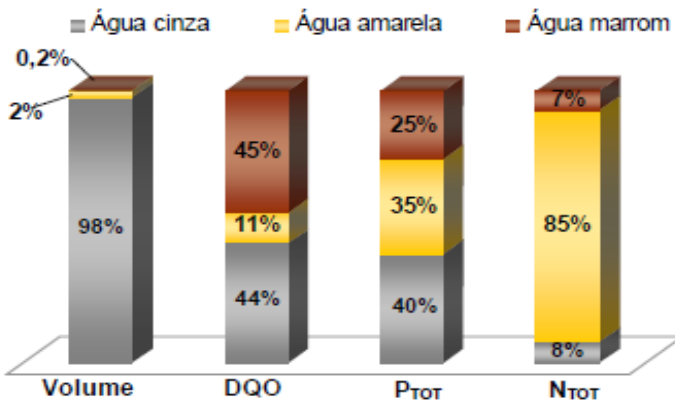
menores dimensões do que quando comparado com os tradicionais sistemas de tratamento de esgoto doméstico convencional.

As diferenças biológicas da água cinza e o esgoto convencional estão relacionadas a quantidade de microrganismos disponíveis em cada efluente, pois o esgoto convencional recebe um aporte muito mais significativo, principalmente de bactérias do trato digestivo, devido as fezes. Esta diferença também pode ser mais acentuada para as água cinza de lavanderia do que nas demais fontes de água cinza (chuveiros, pias), as quais, geralmente, possuem maior quantidade de resíduos orgânicos.

No entanto, devido ao fato da matéria orgânica presente nas fezes já ter passado por um processo de degradação dentro do aparelho digestivo, estes compostos não estão tão disponíveis para uma rápida degradação biológica, enquanto que na água cinza este processo ocorre de maneira mais rápida. De acordo com Bazzarella (2005), a disponibilidade de compostos orgânicos de fácil degradação acelera o consumo de oxigênio rapidamente, ocasionando um estado anaeróbio ao líquido, que começa a exalar odores e gerar lodo indesejável. Desta forma, o sucesso dos sistemas de tratamento de água cinza está relacionado também com as estratégias de dimensionamento para diminuição do intervalo de armazenamento da água bruta, o que pode gerar desconforto aos usuários (ERIKSSON *et al*, 2002).

Com relação aos principais parâmetros químicos avaliados para a determinação da qualidade da água pode-se dizer que existem certas semelhanças entre a água cinza e o esgoto convencional. Alguns nutrientes, como o fósforo, por exemplo, são encontrados em concentrações parecidas para os dois efluentes. Porém com relação ao nitrogênio isto não ocorre visto que a urina é o principal contribuinte para este parâmetro e não está presente na água cinza. Em termos de volume a água cinza é sem dúvida a maior contribuinte correspondendo a grande maioria do volume total de água utilizado numa residência (Figura 01).

Figura 1 Distribuição de alguns compostos nas parcelas que compõe o esgoto doméstico convencional.



Fonte: Adaptado de Otterpohl (2001) *apud* Bazzarella (2005).

Os valores típicos para parâmetros de qualidade de água cinza proveniente da lavagem de roupas, considerando diferentes autores, podem ser observados na Tabela 08:

Tabela 8 - Parâmetros de qualidade de água cinza provenientes da lavagem de roupas diferentes autores.

Parâmetros	Unidade	Magri <i>et al</i> (2009)	Li <i>et al</i> (2009)	Jamrah <i>et al</i> (2007)	Bazzarella (2005)	Christova-Boal <sup>1</sup> <i>et al.</i> (1996)	Siegrist <i>et al.</i> <sup>1</sup> (1976)
pH	-	9,0	8,6	8,5	9,1	9,3 - 10,0	-
Cor	uC	850,2	-	-	-	60,0 - 100,0	-
Turbidez	NTU	148,4	247,0	328,0	58,0	-	-
S. Totais	mg/L	1353,8	-	-	1004,0	-	1340,0
S.	mg/L	143,0	266,0	244,0	53,0	-	280,0
DQO	mg/L	831,0	1486,0	471,0	521,0	-	-
DBO <sub>5,20</sub>	mg/L	-	260,0	296,0	184,0	48,0 - 290,0	380,0
Ortofosfato	mg/L	23,9	-	-	14,4*	0,06 - 42,0 *	15,0
Alcalinidade		156,9	-	-	-	83,0 - 200,0	-
N.	mg/L	2,5	-	-	1,5	0,1 - 1,9	0,7
Nitrito	mg/L	1,4	-	-	0,1	-	-
Nitrato	mg/L	2,2	-	-	0,5	-	0,6
Coli Totais	NMP/100	2,4x10 <sup>6</sup>	-	-	4,6 x10 <sup>6</sup>	2,0x10 <sup>3</sup> - 3,3x10 <sup>5</sup>	8,5x10 <sup>5</sup>
E. Coli	NMP/100	1,4x10 <sup>5</sup>	-	-	5,3 x10 <sup>4</sup>	110 - 1,1x10 <sup>3</sup>	1,6x10 <sup>4</sup>

<sup>1</sup> *Apud* ERIKSSON *et al.*, (2002)

Fonte: Elaborado pelo autor (2012).

Em termos quantitativos, uma revisão sobre as demandas de água para o abastecimento de grandes edifícios revelou que não só apenas as águas residuárias do banheiro e cozinha são importantes para suprir esta demanda, mas também as águas provenientes do tanque e da máquina de lavar que, aliadas as águas pluviais, são necessárias para fornecer água apta ao reúso não potável (ERIKSSON *et al*, 2002).

Os valores típicos para o volume diário de água cinza por habitante são bastante relativos, variando diretamente de acordo com características climáticas e socioeconômicas. Faixas entre 90 e 120 L/hab.dia são aceitáveis, mais podem chegar a valores inferiores a faixa entre 20 a 30 L/hab.dia, quando se trata de áreas com escassez de água (LI *et al*, 2009).

Philippi *et al* (2010) publicaram um estudo de quantificação da água cinza gerada diariamente em uma residência unifamiliar com três habitantes, localizada em zona urbana da região Sul do Brasil, município de Florianópolis, SC. Neste estudo constatou-se um volume médio de água cinza de cerca de 90 l/hab.dia, sendo que no chuveiro e lavatório a produção foi de 40 l/hab.d, e no tanque e máquina de 50 L/hab.d. Enquanto que a cozinha representou um consumo de apenas 21,6 l/hab.dia.

## 2.5 ÁGUA DA CHUVA (ÁGUA AZUL)

O uso de fontes alternativas de suprimento para o abastecimento dos pontos de consumo de água não potável é uma importante prática na busca da sustentabilidade hídrica. Dentre as fontes alternativas pode-se citar o aproveitamento da água da chuva, o reúso de águas servidas e a dessalinização da água do mar. Destaca-se o aproveitamento da água da chuva como fonte alternativa de suprimento adequada pela sua simplicidade. Além disto, a utilização da água da chuva, além de trazer o benefício da conservação da água e reduzir a dependência excessiva das fontes superficiais de abastecimento, reduz o escoamento superficial e dá chance à restauração do ciclo hidrológico nas áreas urbanas (GHISI, 2005; ANNECCHINI, 2005).

A utilização deste recurso é muito antiga e perdeu sua força com advento dos modernos sistemas de abastecimento. Porém, devido à crescente dificuldade para obtenção de mananciais ambientalmente e economicamente apropriados para o abastecimento público, os governos de países desenvolvidos têm incentivado bastante o aproveitamento da água da chuva. Como exemplo, destaca-se o governo do Japão, onde se

encontram cidades que mantêm sistemas comunitários de coleta, tratamento e distribuição de água de chuva para fins não potáveis. Além disto, o que não é aproveitado para o consumo, é direcionado para canais de infiltração que diminuem a ocorrência de enchentes (FENDRICH & OLIYNIK, 2002).

Quanto à quantidade de água da chuva disponível para uma certa residência deve-se atentar primeiramente às características climáticas da região. Além disto, a superfície de captação (telhados, pisos e lajes) também são elementos importantes na otimização dos volumes de armazenamento. Também destaca-se que o tipo de superfície de captação deve ser coerente com o uso final planejado, evitando contaminações e aumento da complexidade no tratamento (GONÇALVES *et al*, 2006)

A água é um solvente universal com poder de dissolver e carrear pequenas partículas de poluição contidas na atmosfera, em um eficiente fenômeno de limpeza denominado deposição úmida. Portanto, a qualidade da água da chuva varia de acordo com a qualidade do ar atmosférico da região e, principalmente, do material particulado depositado sobre a superfície de captação. Por este motivo, os primeiros minutos de precipitação são responsáveis significativamente por uma maior concentração de poluentes do que o restante da água precipitada após decorrido algum tempo. Sendo assim, tem-se adotado um sistema de descarte dos primeiros 1,0 a 1,5mm precipitados, o que é equivalente a cerca de 1,0 a 1,5 l/m<sup>2</sup> de superfície de captação. (GONÇALVES *et al*, 2006).

Alguns trabalhos reportam valores típicos para a qualidade de água de chuva atmosférica coletada em diferentes localidades sem contato com o telhado (Tabela 09).

Tabela 9 - Resultados de qualidade da água da chuva para diferentes autores.

Parâmetros	Unidade	Peters* (2006)	Anneccchini (2005)	Jaques <i>et al</i> * (2005)	De Luca e Vasquez <sup>1</sup> (2000)	Adithyan <sup>2</sup> (1999)
pH	-	5,9	6,9	5,5	6,3	4,1
Cor	uC	3,3	-	10,0	-	8,7
Turbidez	NTU	1,5	0,9	4,3	-	4,6
S. Totais	mg/L	41,0	47,3	-	-	-
S. Suspensos	mg/L	1,0	7,9	7,0	-	9,1
Dureza	mg/L	7,6	8,4	9,3	-	0,1
DQO	mg/L	6,8	8,9	46,7	-	-
Alcalinidade		-	1,8	2,6	-	-
Cloretos	mg/L	0,6	4,1	9,1	3,1	3,1
Sulfatos	mg/L	1,0	3,9	-	3,3	3,3
N. Amoniacal	mg/L	0,7	0,5	1,1	0,4	0,4
Nitrato	mg/L	0,1	0,2	0,5	0,3	0,3
Ortofostato	mg/L	-	-	0,4	-	-
Coli Totais	NMP/100 mL	1.7x10 <sup>3</sup>	-	1.4x10 <sup>4</sup>	-	92,0
E. Coli	NMP/100 mL	5,1	-	6,7	-	6,7

<sup>1</sup> Apud Anneccchini (2005) <sup>2</sup> Apud Jaques *et al* (2005) \* Valores para região de Florianópolis

Fonte: Elaborado pelo autor (2012)

Existem significativas variações entre a qualidade da água atmosférica, ou seja antes do contato com a superfície de captação, como o telhado. Estas variações influem diretamente na qualidade da água de armazenamento, porém, é após o contato com a superfície de captação que ocorrem as maiores mudanças na qualidade e, em muitos casos, sua aparência também (Tabela 09).

Em Florianópolis, Jaques *et al* (2005) observaram pH ácido na água de chuva atmosférica (coletada sem passar pelos telhados). Neste caso, o valor mínimo encontrado foi de 4,92 e o máximo de 5,80. Esta característica é devido principalmente, à presença de gases como o CO<sub>2</sub> e o SO<sub>4</sub> que reagem com a água pluvial formando ácidos e que, como consequência, diminuem o pH. Este fato acabou refletindo no pH do reservatório da água da chuva, relatando um pH médio igual a 5,1. O autor atribuiu esta condição a impurezas contidas na atmosfera dos grandes centros urbanos, tal como a queima de combustível fóssil.

A Tabela 10 apresenta os parâmetros de qualidade da água em pesquisas recentes, diferenciando os resultados obtidos para o sistema de descarte da primeira água da chuva e no armazenamento ou reserva

desta. Os valores obtidos por Peters (2006) e Jaques *et al* (2005) foram para a região de Florianópolis, enquanto que Anecchini (2005) avaliou um sistema situado em zona urbana na cidade de Vitória, Espírito Santo.

Tabela 10 - Resultados de qualidade da água no sistema de aproveitamento da chuva em diferentes pesquisas.

Parâmetros	Unidade	Peters* (2006)		Anecchini (2005)		Jaques <i>et al</i> *
		Reserva	Descarte (1mm)	Reserva	Descarte (1,5mm)	Reserva
pH	-	7,6	7,5	6,2	6,3	5,1
Cor	uC	13,6	24,9	0,7	4,0	5,0
Turbidez	NTU	2,5	4,6	0,2	21,5	4,7
S. Totais	mg/L	68,7	96,9	15,5	175,4	-
S.	mg/L	1,7	2,9	1,5	95,2	-
Dureza	mg/L	28,6	41,5	2,1	8,0	11,8
DQO	mg/L	4,8	9,8	7,9	20,9	12,4
Alcalinidade		23,1	31,2	2,7	5,3	3,6
Cloretos	mg/L	0,5	5,3	1,3	3,1	14,0
Sulfatos	mg/L	3,0	5,0	0,5	5,1	-
N.	mg/L	0,3	0,6	0,1	0,3	0,7
Nitrato	mg/L	0,6	0,5	0,0	0,2	0,5
Ortofostato	mg/L	-	-	-	-	0,3
Coli Totais	NMP/100	$1,5 \times 10^3$	$2,9 \times 10^3$	46,8	$3,4 \times 10^3$	$2,5 \times 10^3$
E. Coli	NMP/100	4,5	150,0	-	-	13,1

\* Valores para região de Florianópolis

Fonte: Elaborado pelo autor (2012)

Os trabalhos apresentados comprovam a deterioração da água após o escoamento na superfície de captação, este fato é ainda mais visível na diferença ente a primeira água precipitada (descarte) e a que é armazenada, pois na grande maioria dos parâmetros analisados o decréscimo de qualidade foi significativo. Cloretos, DQO e os Coliformes totais e fecais foram os parâmetros que apresentaram maior variação entre a reserva e o descarte em termos de qualidade.

No Brasil os parâmetros de qualidade para utilização da água da chuva até 2007 eram baseados nas normas de reuso apresentados anteriormente (ABNT, 1997; ANA, FIESP & SINDUSCON, 2005), pois não havia recomendações específicas. Devido ao crescente aumento na adoção dos sistemas de aproveitamento da chuva no país a ABNT

publicou a NBR 15.527 (2007) que aborda o escopo geral destes sistemas. Neste documento são apresentados alguns métodos de dimensionamento, materiais e manutenção necessária ao bom funcionamento do sistema. Também são recomendados padrões de qualidade mínimos necessários para o aproveitamento da chuva para usos restritivos não potáveis, definindo como responsabilidade do projetista qualquer variação em termos qualitativos de acordo com quaisquer outros tipos de usos previstos (Tabela 11).

Tabela 11 - Parâmetros brasileiros recomendados para usos não potáveis no aproveitamento da chuva.

Parâmetro	Unidade	Frequência de Análise	Valor de referência
Coliformes totais	NMP/100 mL	Semestral	Ausência
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	Semestral	Ausência
Cloro residual livre *	mg/L	Mensal	0,5 a 3,0
Turbidez	NTU	Mensal	<2,0
Cor aparente	uC	Mensal	<15,0
Potencial Hidrogeniônico (pH)	-	Mensal	6,0 a 8,0

\* A desinfecção também pode ser realizada por outro processo (ozônio, raio ultravioleta, etc).

Fonte: ABNT, 2007.

Outro aspecto importante a ser salientado é a obrigatoriedade na aplicação de um processo de desinfecção e aplicação de cloro residual. Porém, em caráter de pesquisa nenhum dos autores citados relatou qualquer aplicação de cloro ou outro processo de desinfecção da água da chuva armazenada, isto pode explicar o fato de nenhum deles estar de acordo com a norma com relação ao residual de cloro ou ausência de coliformes totais ou fecais (termotolerantes).

## 2.6 TANQUE SÉPTICO

A digestão anaeróbia é um processo biológico em que ocorre a transformação da matéria orgânica biodegradável, sem a presença de oxigênio, com geração de gases ( $\text{CO}_2$  e  $\text{CH}_4$ ), deixando na solução

aquosa subprodutos como amônia, sulfetos e fosfatos. Um reator anaeróbico é, em essência, um sistema que explora os mecanismos naturais de decomposição que ocorrem naturalmente no solo ou na água, desde que predominem as condições apropriadas (ANDRADE NETOS& CAMPOS, 1999).

Dentre os diversos arranjos de tratamento anaeróbios conhecidos o decanto digestor ou tanque séptico (TS) é até hoje é a mais difundida e numericamente empregado em todo o mundo. Devido a sua construção e operação simplificada dispensa a necessidade de grandes aportes de recursos construtivos e de manutenção. Como estes dispositivos beneficiam-se de processos físicos como a decantação e a flotação, sua eficiência global está bastante relacionada com a remoção de partículas grosseiras ou sólidos suspensos.

Desta forma, os aspectos biológicos de remoção da matéria orgânica dissolvida deixam a desejar em relação a outros sistemas de tratamento mais complexos. Apesar disto, as vantagens na utilização de tanque sépticos combinados a sistemas de pós tratamento são inegáveis. Entre elas estão; a capacidade de absorver grandes variações de carga e vazão, a possibilidade de partida imediata e sem necessidade de inóculo e a manutenção da eficiência em longo prazo (ANDRADE NETOS& CAMPOS, 1999). Além disto, o TS exige apenas a remoção do excesso de lodo de forma esporádica, com intervalos mínimos de um ano e máximos de até 5 anos de acordo com as condições de projeto. (ABNT, 1993).

Os TS são, basicamente, tanques simples ou divididos em compartimentos horizontais ou verticais, denominadas câmaras em série e câmaras sobrepostas, respectivamente. O fluxo horizontal e a baixa velocidade do líquido devido ao elevado tempo de detenção hidráulico permitem que a velocidade de decantação das partículas maiores que 1,0  $\mu$  sejam retidas no fundo antes que o efluente saia do TS. Além disto, os anteparos existentes na entrada e na saída do sistema facilitam a retenção do material que emerge na superfície do esgoto, denominada espuma (VON SPERLING, 2005).

No Brasil o emprego dessa tecnologia é amplamente difundido, tanto em áreas urbanas sem cobertura de coleta de esgoto, quanto como no ambiente rural. Nestas últimas, seu emprego é mais frequente (Tabela 01), onde a população dispersa favorece a adoção de sistemas descentralizados, principalmente de tanques sépticos, como uma alternativa muito mais viável que a implantação de rede de coleta e o tratamento centralizado. A Associação Brasileira de Normas Técnicas



regulamenta o dimensionamento, construção e operação desta tecnologia através da NBR 7.229 (1993). No entanto, problemas relacionados aos métodos construtivos e de dimensionamento, que nem sempre estão de acordo com esta norma, ou mesmo a ausência de manutenção periódica, podem acabar mascarando focos de poluição e contaminação de águas subterrâneas, pois estes sistemas estão geralmente enterrados, o que favorece este quadro.

Devido às características anteriormente descritas, pode-se afirmar que o TS é uma alternativa robusta, barata e de fácil manutenção. Por isso, quando associada a tecnologias complementares de tratamento, surge como alternativa apropriada para utilização em sistemas de saneamento descentralizado, principalmente em associação com sistemas de filtragem no solo ou em filtros plantados com macrófitas (SEZERINO & PHILIPPI, 2000; VYMAZAL & KRÖPFELOVÁ, 2008).

## 2.7 FILTROS PLANTADOS COM MACRÓFITAS (*CONSTRUCTED WETLANDS*)

A utilização de filtros plantados com macrófitas (FPM) ou *constructed wetlands* como tratamento complementar na remoção de nutrientes vem sendo estudada desde 1960 e atualmente sua aplicação e pesquisa estão difundidos em diversas regiões do planeta. Desde então, uma vasta gama de aplicações tem sido testadas e a tecnologia se comprova bastante versátil (VYMAZAL & KRÖPFELOVÁ, 2008). A partir da década de 80, o sistema ganhou gradativamente mais popularidade e hoje abrange o tratamento de efluentes industriais, agroindustriais, domésticos, manejo de águas pluviais e até na recuperação de ambientes aquáticos degradados (BASTOS, 2007; VYMAZAL, 2008 e MONTEIRO, 2009). Em 1967 foi inaugurado na Holanda o primeiro sistema *constructed wetland* público, planejado para tratar águas residuárias da cidade e preservar as águas do Lago Balaton (LAKATOS, 1998 *apud* VYMAZAL & KRÖPFELOVÁ, 2008). Uma das importantes vantagens dos FPM está associada a sua flexibilidade e adaptação às variações de carga orgânica e hidráulica sem ocasionar significativo comprometimento em sua eficiência (SHUTES, 2001), podendo também ser integrado à paisagem natural (PLATZER *et al.*, 2007).

Os FPM são sistemas que dispõem de um material de recheio (usualmente empregando brita, areia e cascalho) onde o efluente a ser tratado é disposto e irá percolar. As macrófitas empregadas, do tipo emergente, são plantadas diretamente neste material de recheio, também conhecido como material filtrante. Estes reatores possuem algum tipo de impermeabilização de fundo, a fim de impedir que o efluente a ser tratado possa percolar para camadas mais profundas do solo e atingir o lençol freático (PHILIPPI & SEZERINO, 2004).

Os processos de tratamento ocorrem por diversos mecanismos no FPM, dentre estes estão a retenção de nutrientes pela filtração e sedimentação ou a adsorção de compostos químicos por obstrução ou troca iônica, que são exemplos de processos físico-químicos que acontecem simultaneamente no reator. Também ocorrem outras reações no leito, tais como a degradação microbiológica aeróbia e anaeróbia, predação microbiana e retirada de nutrientes pelas macrófitas, o que acontece próximo às raízes (rizosfera). Além disto, as espécies vegetais encarregam-se de aumentar a taxa de troca de gases com a atmosfera, através da injeção de oxigênio e da evapotranspiração natural (LAZAROVA *et al*, 2003).

Dentre os FPM de escoamento subsuperficial há duas subdivisões:

- Fluxo Horizontal;
- Fluxo Vertical.

No primeiro sistema, de fluxo horizontal, o esgoto é disposto na porção inicial (zona de entrada) e percola vagarosamente pelo material filtrante até a porção final. Essa percolação tende a seguir na horizontal e é provocada por uma pequena declividade de fundo e pelo fluxo pistão. Nesse tipo de sistema, o esgoto entra em contato com zonas aeróbias, anóxicas e anaeróbias. A primeira zona é mais evidente ao redor das raízes e rizomas das macrófitas, uma vez que, como já comentado, essas transportam oxigênio da parte aérea para as raízes, além da ocorrência de fenômenos como a convecção e difusão de oxigênio atmosférico (KADLEC & KNIGHT, 1996; COOPER *et al*, 1996; SEZERINO *et al*, 2005). A segunda e a terceira zona ocorrem nas camadas mais profundas do leito filtrante.

Esses sistemas possuem, de forma geral, boa performance na remoção de matéria orgânica (DBO e sólidos suspensos), fósforo e Nitrogênio, com ênfase na desnitrificação.

A utilização de sistemas de FPM de escoamento subsuperficial de fluxo vertical seguido de fluxo horizontal serve para promover a remoção de nitrogênio através da nitrificação seguido da desnitrificação. Estes são denominados sistemas híbridos. Portanto, o maior mecanismo de remoção de nitrogênio orgânico nos FPM é a sequência dos processos de amonificação, nitrificação e desnitrificação, o que ocorre mais significativamente quando o sistema da aplicação de sistemas híbridos (IWA SPECIALIST GROUP ON USE OF MACROPHYTES, 2000; COOPER *et al*, 1996;).

Nos sistemas horizontais os mecanismos de remoção de nutrientes e contaminantes biológicos das águas residuárias incluem processos físicos, químicos e biológicos, envolvendo fenômenos de precipitação, adsorção, predação e variação de temperaturas. Devido às características anteriormente descritas associadas a diversos outros fatores não relatados, como a excreção de biocidas pelas raízes de algumas macrófitas, por exemplo, permitem altas taxas de remoção de patógenos e bioindicadores como os coliformes fecais (PHILIPPI & SEZERINO, 2004).

### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

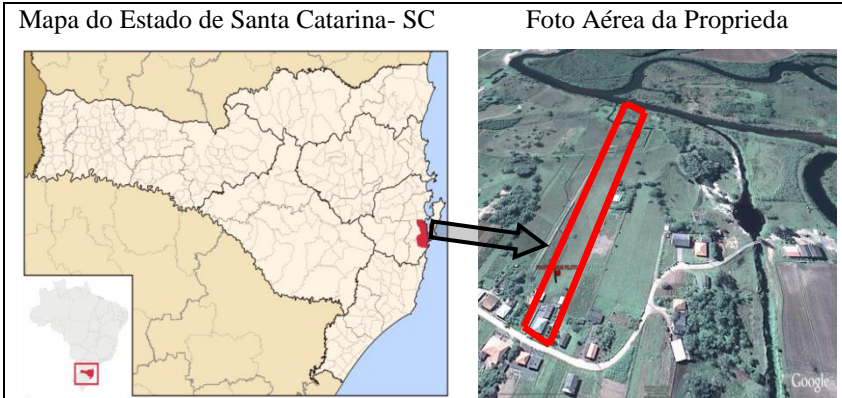
#### **3.1 LOCALIZAÇÃO DA PESQUISA**

Esta pesquisa foi desenvolvida no município de Palhoça, que integra a região metropolitana da grande Florianópolis, capital do estado de Santa Catarina. Situada geograficamente sobre a latitude de 27°54'14.27"S e longitude de 48°39'29.36"O, a propriedade piloto possui como maior ponto de referência espacial a rodovia BR 101 (km 244) distando cerca de 45 km do centro da capital próximo as margens do Rio da Madre, como pode ser visto na Figura 02. A propriedade possui 3,5 Ha e foi selecionada dentre as propriedades indicadas pela Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), instituição parceira do projeto, devido a suas características quanto a população residente, localização estratégica e atividades agrícolas.

A maioria da extensão de território municipal (70%), é composta por áreas destinadas a atividades rurais, onde predominam culturas de subsistência como arroz, feijão, milho, frutas e cana de açúcar. Além das lavouras de subsistência, existe também significativa

atividade pecuária destacando-se a avicultura, que possui índices semelhantes a regiões do extremo-oeste do estado (IBGE, 2008).

Figura 2 - Localização espacial da propriedade piloto, Palhoça, SC.

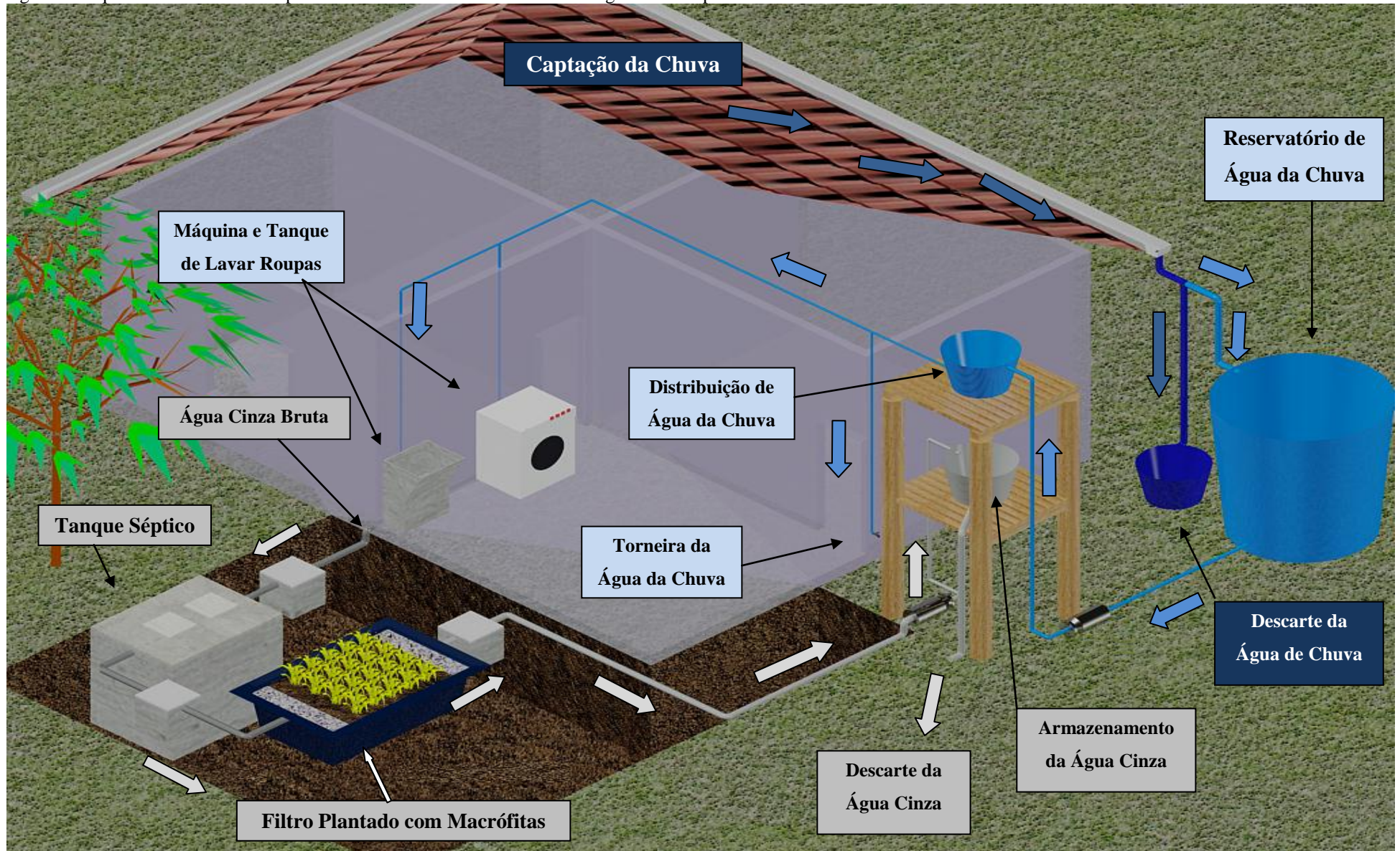


Fonte: Elaborado pelo autor (2012)

### 3.1.1 Características da Propriedade Piloto

A residência sede da propriedade selecionada é caracterizada como unifamiliar onde residem quatro moradores, sendo a mesma constituída de três banheiros, três quartos, duas pias de cozinha, e uma área de serviço, onde há um tanque e uma máquina de lavar roupas. Na residência piloto foram implantados sistemas de aproveitamento e reúso de água correspondentes a duas divisões de águas. A primeira refere-se à linha de água azul, a qual consiste em captar a água da chuva através do telhado e aproveitá-la diretamente no tanque e na máquina de lavar roupa, e outros fins, como irrigação da horta, lavagem de pisos e veículos. A segunda linha é a de água cinza, que consiste no tratamento dos efluentes da máquina de lavar roupas e do tanque, sendo estas também reaproveitadas para fins não potáveis (Figura 3).

Figura 3: Esquema dos sistemas de aproveitamento da chuva e tratamento de água cinza implantados na residência



Fonte: Elaborado pelo autor (2012).

## 3.2 DESCRIÇÃO DOS SISTEMAS DE SANEAMENTO IMPLANTADOS

### 3.2.1 Estimativa das Demandas não Potáveis

Para o dimensionamento do sistema de armazenamento da água da chuva e água cinza, fez-se necessário calcular a quantidade de água que é utilizada na propriedade apenas para fins não potáveis, como para rega da horta e jardim, na máquina de lavar roupa, limpeza de pisos, etc. As tabelas 13 e 14 apresentam alguns dos parâmetros adotados da bibliografia especializada ou obtidos a partir de entrevistas com o proprietário. Com relação à rotina de irrigação da horta, espécies ornamentais e limpeza de pisos, foram estimadas em função do instrumento (mangueiras) e do tempo médio gasto em cada atividade.

Tabela 12 – Estimativa da demanda de água para as atividades agrícolas da propriedade piloto.

Atividades	Especificação	Demanda	Unidade
Irrigação da Hortas	Irrigação varia de acordo com a época	37,6	l/dia
Dessedentação de Bovinos	Cerca de nove animais de até 410kg	450,0	l/dia
Dessedentação de Avinos	Cerca de doze animais produzindo ovos	2,5	l/dia
<b>Total médio de água consumido para atividades agrícolas</b>		<b>490,1</b>	<b>l/dia</b>

Fonte: TELLES e DOMINGUES (2006).

Tabela 13 - Estimativa da demanda de água para fins não potáveis na residência da propriedade piloto.

Atividades	Demanda	Unidade
Descarga do bacio sanitário	124,0	L/dia*
Lavação de roupas (máquina e tanque)	200,0	L/dia*
Irrigação de Jardins	10,4	L/dia
Lavação de Pisos	42,7	L/dia
<b>Demanda média para fins não-potáveis</b>	<b>377,1</b>	<b>L/dia</b>

\*Referente ao consumo de quatro habitantes.

Fonte: PETERS (2006) e PHILIPPI *et al* (2010).

### **3.2.2 Características Gerais do Sistema de Aproveitamento de Água da Chuva**

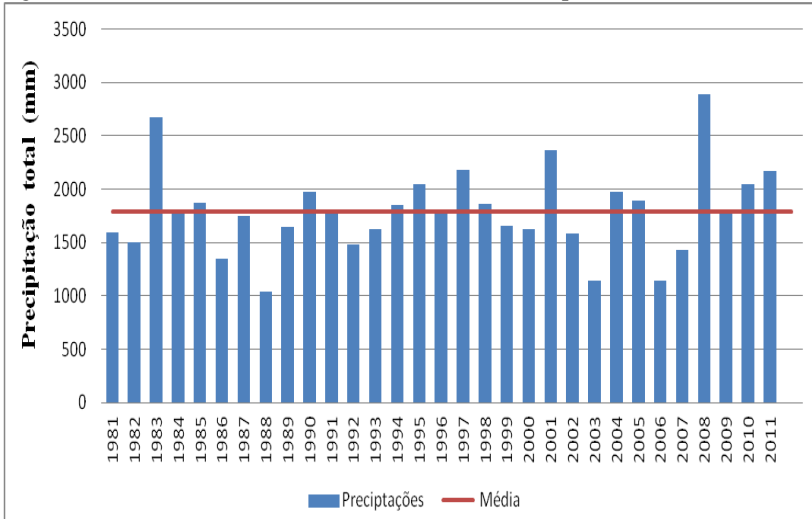
Conforme mencionado o sistema de aproveitamento de água da chuva foi dimensionado objetivando a utilização de água de chuva para fins não potáveis, tais como; a lavagem de roupas (máquina de lavar e tanque), limpezas gerais e irrigação de jardins. Para tanto, foi adotado um sistema simplificado sem a necessidade de unidades de tratamento. O volume médio de captação foi estimado por modelo matemático determinístico, que é aquele que trata os resultados de forma única e determinante, baseando-se em séries pluviométricas históricas existentes, entre outras características locais.

A seguir serão descritos os principais parâmetros e relações matemáticas utilizadas para dimensionamento do sistema de aproveitamento de água da chuva instalado.

#### **3.2.2.1 Estimativa do Potencial de Captação de Água da Chuva**

Para estimativa do potencial de captação de chuva foram utilizados os dados históricos coletados pela estação meteorológica localizada em São José (27°36'07" S e 48°37'11" O), pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Estes foram fornecidas pelo Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina da EPAGRI. De acordo com os dados apresentados na Figura 04 pode-se aferir a média anual de precipitação de 30 anos (1981 a 2011) para a referida região, equivalente a 1789,4 mm/ano.

Figura 4 - Série histórica de chuvas na Grande Florianópolis (São José)



Fonte: Elaborado a partir dados do INMET/ EPAGRI, (2012).

Consideram-se também as áreas disponíveis para a coleta de água de chuva que consistem no telhado da casa principal e no telhado da garagem, representando uma área total de 178 m<sup>2</sup>. A superfície de captação principal possui cobertura de telhas cerâmicas e coeficiente de *Run-Off* igual a 0,8 (GONÇALVES, 2006). Estas e outras informações referentes ao dimensionamento deste sistema estão dispostas na Tabela 14.

Toda a água que cai sobre os telhados é coletada por um sistema de calhas de alumínio que circunda toda a casa e encaminha todo o volume por tubulações de PVC de 100 mm até a cisterna de armazenamento principal situada ao lado da residência.



Tabela 14 - Parâmetros de dimensionamento do sistema de aproveitamento de água da chuva.

<b>Parâmetros Adotados</b>	<b>Valor Adotado</b>
Precipitação média anual (I)	1789,4 mm/ano
Precipitação média mensal (I)	149,1 mm/mês
Dias sem chuva adotado no projeto (DS)	13 dias
Área de telhado (A)	178,0 m <sup>2</sup>
Coefficiente Run-Off (C)	0,8
<b>Volume médio de chuva captada</b>	<b>21,2 m<sup>3</sup>/mês</b>

Fontes: Elaborado pelo autor (2012)

De acordo com os dados apresentados, para a obtenção do volume médio de captação mensal, têm-se a seguinte relação matemática:

$$V_{cap} = \frac{A \times P \times C}{12} \quad (1)$$

Onde:

$V_{cap}$  = Volume médio de chuva a ser captado em um mês (m<sup>3</sup>)

A = Área de captação do telhado (m<sup>2</sup>)

P = Precipitação média anual (mm/mês)

$V_{cap} \cong 21,2 \text{ m}^3/\text{mês}$  ou  $0,71 \text{ m}^3/\text{dia}$

## I. Determinação dos Volumes de Armazenamento

Para o cálculo do volume do reservatório ( $V_{rs}$ ) utilizou-se uma estimativa média de 13 dias sem chuvas significativas na região (DS) (INMET, 2012), e o valor médio de água de chuva diariamente requerida na propriedade para os usos que exigem uma água com mais qualidade. Neste caso foram selecionadas as seguintes atividades: abastecimento dos animais, irrigação de hortas, lavagem de roupas e descarga do bacio sanitário. A Equação 02 representa o cálculo utilizado para determinação do volume de reserva.

$$V_{rs} = (V_{bs} + V_{lr} + V_{ag}) \times DS \quad (2)$$

$$V_{res} = (124,0 + 200,0 + 490,1) \times 13$$

$$V_{res} \cong 10600,0 \text{ litros}$$

Onde:

$V_{rs}$  = Volume do reservatório (litros)

$V_{bs}$  = Volume diário para bacias sanitários (litros)

$V_{lr}$  = Volume diário para lavagem de roupas (litros)

$V_{ag}$  = Volume diário para atividades agrícolas (litros)

$DS$  = Número de dias sem chuvas significativas na região

Para o armazenamento principal foi adotado a cisterna de fibra de vidro com capacidade de 10000 litros disponível no mercado. Levando em conta que ao volume de armazenamento principal soma-se o volume contido no reservatório de distribuição localizado acima do nível da laje da residência, os dois volumes totalizam 10300 litros. Desta forma, o volume total de armazenamento corresponde a 97% do volume total necessário para a demanda calculada por 13 dias consecutivos sem chuva. É, portanto, um valor aceitável, dispensando a necessidade de elevar custos em função da aquisição de outros arranjos hidráulicos.

Na saída da cisterna de 10000 litros, foi instalada uma bomba Schneider BCR-2000 1/3 CV monofásica, que encaminha a água para referido reservatório superior de 300L, e que por gravidade, irá suprir as demandas de água da propriedade piloto. Como demonstra o layout apresentado na Figura 03 e a imagem retratada na Figura 05.

Figura 5: Armazenamento e descarte do sistema de aproveitamento de chuva implantado



Fonte: Arquivos do GESAD (2011).

## II. Determinação dos Volumes de Descarte

Conforme abordado antes, o descarte da primeira parcela de água precipitada justifica-se devido ao alto grau de contaminação desta água quando comparada a água que seguirá para o tratamento após alguns minutos de precipitação. Neste projeto foi utilizado um volume de descarte igual a uma lâmina d'água de  $1,4 \text{ mm/m}^2$  sobre a área total dos telhados, portanto, têm-se o volume aproximado de 250 litros, os quais são descartados manualmente após cada precipitação significativa.

Para o armazenamento temporário do volume de descarte, foi previsto um tanque com capacidade de 300 litros, no qual foi adaptado um sistema de tubulações com duas torneiras bóias que trabalham juntas. O sistema hidráulico montado deve encarregar-se de garantir que após precipitação do volume de limpeza do telhado, o restante da precipitação seja encaminhado para o tanque de armazenamento principal, conforme esquema ilustrado na Figura 06. Depois de cada precipitação, o descarte é esvaziado manualmente através de um registro no fundo do tanque, para que este volte a operar na próxima chuva que houver. Além disto, a manutenção do sistema é feita periodicamente através da remoção de resíduos e limpeza da superfície do tanque de descarte.

Figura 6 - Dispositivo de descarte e detalhe das torneiras bóias utilizadas.



Fonte: Fotografia de arquivos do GESAD (2011).

A Tabela 15 apresenta o resumo dos principais componentes do sistema de armazenamento e descarte adotados neste sistema de aproveitamento de água de chuva:

Tabela 15 - Principais componentes do sistema de armazenamento e descarte da chuva.

<b>Componente do Sistema</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidade</b>
Volume de descarte	0,25	m <sup>3</sup>
Volume do reservatorio superior	0,3	m <sup>3</sup>
Volume do reservatório principal	10	m <sup>3</sup>
Bomba Schneider BCR-2000	1/3.	CV

Fontes: Elaborado pelo autor (2012).

### **3.2.3 Características Gerais do Sistema de Tratamento de Água Cinza**

Para a determinação do volume diário de água cinza gerado na propriedade foram utilizados parâmetros extraídos de referências bibliográficas e das experiências obtidas na pesquisa em uma residência localizada no bairro Ratoles em Florianópolis, a qual possuía composição familiar semelhante a deste piloto (PETERS, 2006 e PHILIPPI *et al*, 2010). Desta forma, o volume diário de água cinza considerado para utilização do tanque e da máquina de lavar roupas é de 6,0 m<sup>3</sup>/mês, equivalente ao consumo diário de quatro habitantes com contribuição média (C) de 50 litros por dia para cada pessoa.

Para garantir os aspectos sanitários necessários para reúso das água cinza, sem com isso elevar custos, adotou-se um arranjo composto de tratamentos primário e secundário, proporcionando em ambos a associação de processos físicos e biológicos. Para o tratamento primário, optou-se por um decanto digestor anaeróbio ou tanque séptico (TS), sendo este dimensionado dentro dos preceitos das normas técnicas vigentes. Como tratamento secundário, foi adotado sistema tipo filtro plantado com macrófitas (FPM) (*constructed wetlands*) de regime sub superficial e com fluxo horizontal.

Devido aos fins pretendidos para a água cinza tratada e procurando reduzir os insumos químicos, como o cloro, optou-se, em um primeiro momento, por não utilizar tratamento terciário, ou desinfecção. A seguir serão descritos os componentes e etapas de tratamento instaladas na propriedade piloto.

### **3.2.4 Características Gerais do Tanque Séptico**

Para o dimensionamento do tanque séptico foram seguidas as recomendações dispostas na NBR 7229/93 para esgotos domésticos. Considerando a temperatura média do mês mais frio do ano que entre 10°C e 20°C e uma taxa de acumulação (K) prevendo a limpeza do tanque a cada dois anos. O tempo de detenção (T) no tanque séptico foi de um dia e o valor adotado para a geração de lodo fresco foi igual ao indicado para esgotos domésticos ( $L_f=1,0$ ).

O reator foi construído em alvenaria e dimensionado para atender um volume útil de 1,7 m<sup>3</sup>, com dimensões de 0,75 m de largura, 1,50 m de comprimento, 1,50 m de altura total e 1,30 m de altura útil. O tanque séptico é interligado a duas câmaras de passagem, uma antes, que recebe a água cinza bruta, e outra depois, que recebe o efluente já tratado no reator, sendo que estas câmaras são interligadas no sistema por tubulações de PVC com diâmetro nominal de 100 mm. Além de eventuais manutenções nas tubulações, as câmaras de inspeção também permitem a coleta de água para análise antes e depois do tratamento primário. Para permitir a realização periódica da retirada do lodo, o tanque foi coberto com uma tampa removível de concreto, contendo dois poços de visita de 0,30m x 0,30m conforme pode ser observado na Figura 07.

Figura 7 - Construção e impermeabilização do tanque séptico após a instalação hidráulica.



Fontes: Elaborado pelo autor (2012).

A Tabela 16 apresenta os principais parâmetros de projeto adotados para o dimensionamento do tanque séptico, maiores informações sobre o procedimento de cálculo podem ser obtidas na NBR 7.229 (ABNT, 1993).

Tabela 16 - Parâmetros de projeto adotados no dimensionamento do tanque Séptico.

Parâmetros de Projeto	Valor	Unidade	Observações Gerais
Usuários	4	pessoas	Família padrão médio de consumo
Contribuição diária	50	L/hab.dia	Efluente doméstico do tanque e máquina de lavar roupas
Lodo fresco (Lf)	1	L/dia	Padrão médio (NBR 7229/93)
Tempo detenção hidráulica	1	dias	Abaixo 15°C para L/d (NBR 13969/97)
Taxa de acumulação de lodo (K)	105		Limpeza a cada 2 anos e $t^{\circ} = 10$ a $20^{\circ}\text{C}$ (NBR 7229/93)
Volume útil calculado (Vu)	1700	litros	Valor adotado será $Vu = 12,0\text{m}^3$

Fontes: Elaborado pelo autor (2012).

É importante salientar que todos os componentes de alvenaria do sistema de tratamento foram cuidadosamente impermeabilizados para evitar que o líquido penetre e polua o solo e águas subterrâneas. Para

tanto, foi necessário a aplicação de impermeabilizantes químicos na mistura de concreto e argamassa e também foi feita a impermeabilização interna e externa de todas as faces do TS e câmaras de inspeção com revestimento impermeabilizante, sempre aplicando duas ou três camadas, em especial atenção às bordas e juntas.

### **3.2.5 Tratamento Secundário: Filtros Plantados com Macrófitas**

Como alternativa tecnológica para o tratamento secundário de água cinza foi selecionado o sistema de filtro plantado com macrófitas (FPM), conhecido internacionalmente como *constructed wetlands*, conforme mencionado anteriormente. A seguir serão descritos alguns dos principais aspectos de dimensionamento adotados.

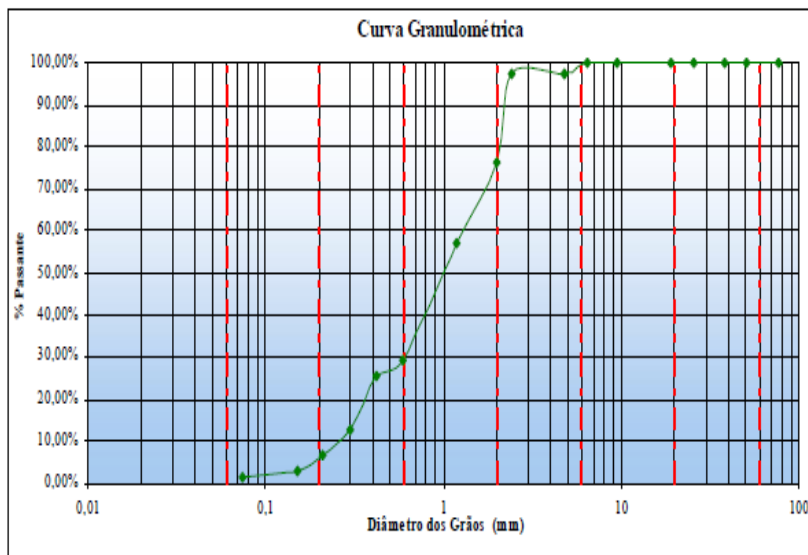
#### **3.2.5.1 Características do Leito Filtrante**

No dimensionamento do filtro devem ser levadas em conta certas variáveis, como por exemplo; vazão média do sistema, características do material filtrante e a concentração da demanda biológica de oxigênio (DBO) afluente e efluente do sistema. Para tanto, considerou-se valores para a constante de remoção de  $\text{DBO}_5$  ( $K_T$ ) igual a  $0,70 \text{ d}^{-1}$  e profundidade do leito filtrante de 0,7 m (PHILIPPI & SEZERINO, 2004).

A areia utilizada como material filtrante no filtro plantado foi previamente analisada para garantir que as características obtidas a partir de ensaio granulométrico estivessem de acordo com as especificações. Para a areia utilizada para este sistema o coeficiente de uniformidade foi  $(U) = 3$  unidades, para um diâmetro efetivo  $(d_{10}) = 0,4\text{mm}$  e diâmetro efetivo  $(d_{60}) = 1,2\text{mm}$ . A curva granulométrica da areia selecionada pode ser visualizada na Figura 08.



Figura 8 - Curva granulométrica da areia com as características adequadas ao projeto.



Fonte: Arquivos do GESAD (2010).

A espécie de macrófitas selecionada para o plantio na superfície do filtro foi o Papiro (*Cyperus papyrus*) devido a sua facilidade de adaptação e estética, fornecendo a o sistema um cunho paisagístico. Com relação à quantidade de matéria orgânica esperada na saída do TS e depois do FPM, por medida de precaução, optou-se por adotar valores dispostos na bibliografia referente aos esgotos domésticos após o tratamento primário anaeróbio, que, segundo Von Sperling (2005), situam-se na faixa de 250mg/L de  $DBO_5$ . Para estimativa da concentração na saída do FPM utilizou-se o valor de 20mg/L de  $DBO_5$ .

Para o cálculo de área superficial requerida, utilizou-se da Equação 03 com cinética de primeira ordem aplicável aos reatores tipo pistão, como considerado para filtros plantados de fluxo horizontal (PHILIPPI & SEZERINO, 2004).

$$A = \frac{Q \times (\ln C_o - \ln C_e)}{K_T \times p \times n} \quad (03)$$

Onde:

$Q$  = vazão afluyente (m<sup>3</sup>/d)

$C_o$  = concentração afluyente em termos de DBO (mg/L)

$C_e$  = concentração efluyente em termos de DBO (mg/L)

$K_t$  = constante de remoção de DBO (d<sup>-1</sup>)

$n$  = porosidade do material  $\left( \frac{\text{m}^3 \text{vazio}}{\text{m}^3 \text{material}} \right)$

$p$  = profundidade do material (m)

Logo;

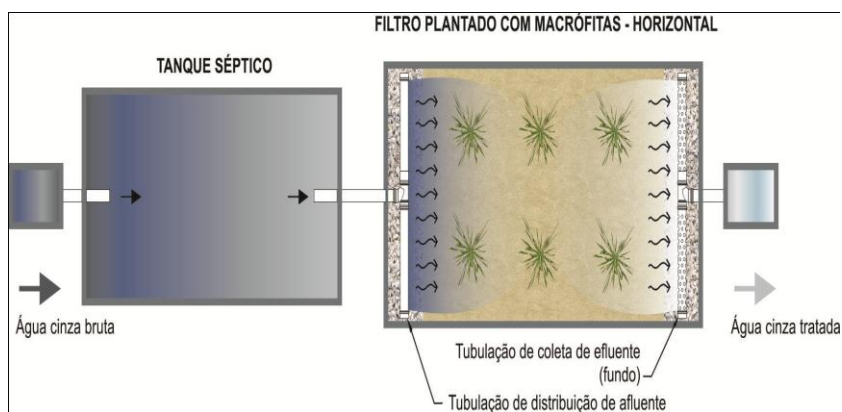
$$A = \frac{0,2 \times (\ln 245 - \ln 20)}{0,70 \times 0,70 \times 0,35}$$

$$A = \frac{0,50}{0,17}$$

$$A \cong 3,0 \text{ m}^2$$

Na Figura 09 é possível visualizar o layout dos sistemas de tratamento primário e secundário, composto pelo TS, FPM, câmaras de inspeção e outros respectivos acessórios hidráulicos.

Figura 9: Esquema do sistema de tratamento de água cinza empregado.



Fonte: Adaptado de MAGRI *et al* (2011).

A Tabela 17 resume os principais parâmetros adotados no dimensionamento do sistema de tratamento por filtro plantado de fluxo horizontal subsuperficial.

Tabela 17 - Principais parâmetros para o dimensionamento do filtro plantado de fluxo horizontal.

Parâmetro	Valor	Unidade
Vazão afluente nos wetlands (Q)	0,20	m <sup>3</sup> /d
Concentração entrada em termos de DBO5 (C <sub>0</sub> )	250,00	mg/L
Concentração saída em termos de DBO5 (C <sub>e</sub> )	20,00	mg/L
Constante de reação cinética de 1 <sup>a</sup> ordem (KT)	0,70	T(d <sup>-1</sup> )
Porosidade do material filtrante (n)	0,35	m <sup>3</sup> .vz/m <sup>3</sup> . mat
Profundidade do material (p)	0,60	m
Área superficial mínima requerida (A)	2,50	m <sup>2</sup>

Fonte: Elaborado a partir de PHILIPPI & SEZERINO (2004).

### 3.2.5.2 Características do Filtro Plantado com Macrófitas

Neste sistema a relação entre área superficial e o número de usuários foi de aproximadamente 0,8 m<sup>2</sup>/hab, considerando que o somente uma parcela do efluente da residência é destinado a este sistema (50 L/hab.dia). Foi adotada uma proporção de 2:1 entre comprimento e a largura do reator obtendo as seguintes dimensões:

- Largura do filtro plantado igual a 1,5 m;
- Comprimento do filtro plantado igual a 2,0 m;
- Altura útil leito filtrante p= 0,70m ;

O efluente proveniente do tanque séptico é distribuído na entrada do FPM por uma tubulação de PVC esgoto DN 75mm, a qual foram feitos orifícios direcionados para baixo, visando uma melhor distribuição do líquido sobre o leito. Após percorrer o filtro, em um tempo de detenção hidráulica de aproximadamente 10 dias, o efluente é captado na saída por uma tubulação semelhante à entrada, porém perfurada na parte de cima. Para a impermeabilização e proteção do solo, foi utilizada a geomembrana em polietileno de alta densidade (PEAD) com 0,8mm de espessura. Este material permite uma instalação mais fácil, rápida e com menor custo quando comparado à alvenaria. A Figura 10 apresenta a instalação e início do preenchimento do sistema.

Figura 10 Escavação do FPM com detalhe da manta plástica e da tubulação de coleta do efluente.

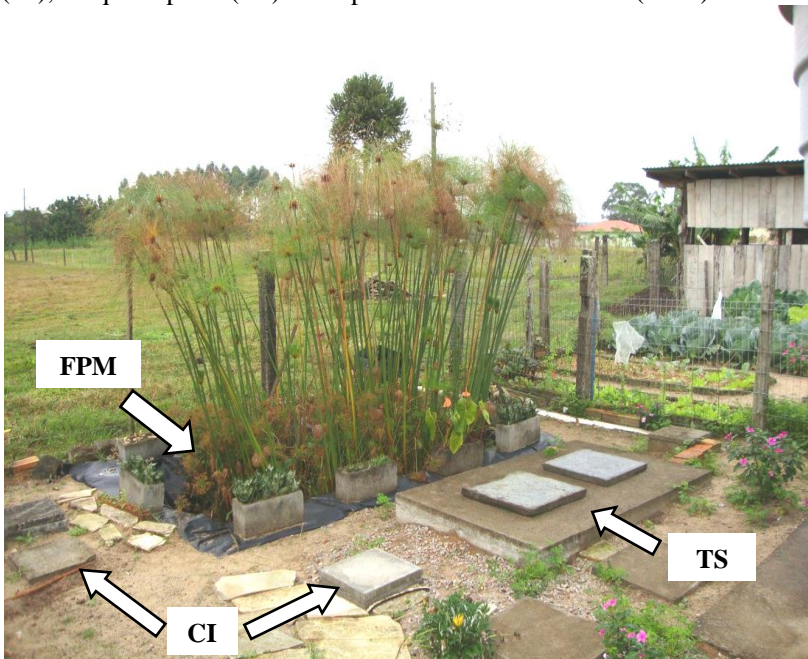


Fontes: Elaborado pelo autor (2012).

Para proteção das tubulações de distribuição e coleta do efluente no FPM é recomendada o preenchimento com brita nº 02 na entrada e na saída do filtro, como ilustra a Figura 12. Além disto, devido à possível presença de partículas finas e pequenas porções de argila e silte na areia, é fundamental a lavagem de todo o material de preenchimento.

A Figura 13 retrata uma das vistas do sistema de tratamento em operação, nesta imagem podem ser observadas as tampas do tanque séptico e o filtro de areia plantado com papiros maduros. Também aparecem as câmaras de inspeção que antecedem e procedem cada componente do sistema, permitindo a coleta de água para as análises. Com relação ao número de *Cyperus papyrus* plantados utilizou-se uma relação de aproximadamente quatro indivíduos por cada metro quadrado da superfície do filtro, observando um distanciamento simétrico com cerca de 25 cm das bordas e entre cada pequena muda de papiros.

Figura 11 - Sistema de tratamento de água cinza: câmaras de inspeção (CI), tanque séptico (TS) filtro plantado com macrófitas (FPM).



Fonte: Arquivos do GESAD (2011).

### 3.3 CARACTERIZAÇÃO QUALITATIVA DAS ÁGUAS

#### 3.3.1 Monitoramento da Qualidade da Água Cinza

A caracterização da água cinza propostas nesta pesquisa consiste na realização de análises laboratoriais da qualidade da água após ser utilizada para limpeza doméstica de roupas e depois de cada etapa de seu tratamento. Portanto, foram selecionados três diferentes pontos de coleta destas águas. O primeiro ponto é destinado a coleta da mistura bruta de águas do tanque e máquina de lavar roupas, a qual é realizada na câmara de inspeção que antecede o TS. Após, encontra-se a segunda câmara de inspeção, onde o efluente tratado no TS é coletado. Por último, a terceira coleta é realizada na câmara de inspeção e controle de nível, localizada logo após o FPM.

O programa de monitoramento da qualidade da água cinza teve início em 30 de abril de 2010, e foi desenvolvido até janeiro de 2012 com periodicidade quinzenal, sempre as quintas-feiras pela manhã, totalizando 22 meses de dados. Todas as coletas foram realizadas pela própria equipe do projeto com devido equipamento de segurança e minimizando a probabilidade de contaminação. Após a coleta das amostras, devidamente identificadas e preservadas em bolsa térmica, estas eram encaminhadas diretamente para o Laboratório Integrado de Meio Ambiente da UFSC (LIMA), onde foi utilizada toda a infraestrutura para as análises dos parâmetros descritos (Tabela 18).

**Tabela 18 - Parâmetros, frequência e metodologia de análise de água cinza.**

<b>Parâmetro</b>	<b>Unidade</b>	<b>Metodologia</b>
Potencial hidrogeniônico	**	Método eletrométrico - Standard Methods 4500-H <sup>+</sup> (APHA, 1998). Leitura em pHmetro digital, modelo B474 - MICRONAL®
Alcalinidade total	mg/L	Titulação potenciométrica com solução de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,02N – Standard Methods 2320B (APHA, 1998)
Turbidez	mg/L	Turbidímetro HACH, modelo 2100P (APHA, 1995).
Sólidos totais	mg/L	Método gravimétrico - secagem a 105°C - Standard Methods 2130B (APHA, 1998).
Sólidos fixos e voláteis	mg/L	Método gravimétrico - muflagem a 550°C - Standard Methods 2130B (APHA, 1998).
Sólidos suspensos totais	mg/L	Método gravimétrico - filtração em membrana de fibra de vidro e secagem a 105°C - Standard Methods 2130B (APHA, 1998).
Demanda Química de Oxigênio	mg/L	Digestão em refluxo fechado – método colorimétrico – Standard Methods 5220D (APHA, 1998). Leitura em espectrofotômetro HACH®
Nitrogênio amoniacal	mg/L	Método colorimétrico de Nessler (VOGEL, 1981). Leitura em espectrofotômetro HACH®
Nitrito	mg/L	Método colorimétrico - Standard Methods 4500-N-NO <sub>2</sub> - (APHA, 1998). Leitura em espectrofotômetro HACH®
Nitrato	mg/L	Método colorimétrico com brucina - Standard Methods (APHA, 1972). Leitura em espectrofotômetro HACH®
Ortofosfato	mg/L	Método do ácido Vanadomolibdato (APHA, 1998). Leitura em espectrofotômetro HACH®
Coliformes totais	NMP/100mL	Substrato cromogênico. Colilert®
Escherichia coli	NMP/100mL	Substrato cromogênico. Colilert®

Obs: Todas as análises são realizadas em amostragem simples, exceto; ortofosfato, DQO e a série de nitrogênio que são realizadas em duplicata.

Fonte: Elaborado pelo autor (2012).

### 3.3.2 Monitoramento da Qualidade da Água de Chuva

O plano de monitoramento da qualidade da água de chuva seguiu os mesmos procedimentos apresentados para a água cinza, tanto no que diz respeito à definição de frequência das coletas que ocorreram de forma simultânea durante o período de 22 meses anteriormente descritos. Todos os parâmetros e métodos analíticos demonstrados na Tabela 18 foram utilizados para a água da chuva e, além destes, também foram analisados Coliformes totais (substrato cromogênico Colilert) e a Turbidez (Turbidímetro HACH, modelo 2100P - APHA, 1995), ambos com frequência quinzenal.

Para a caracterização das águas de chuva captadas na residência piloto foram utilizados apenas dois pontos de coleta. O primeiro ponto foi no tanque de descarte da primeira água de chuva. O segundo ponto foi na torneira instalada na cisterna principal de armazenamento da água (10.000 litros), a qual alimenta o tanque de distribuição para fins não potáveis.

### 3.4 QUANTIFICAÇÃO DAS ÁGUAS

Para monitorar a variação temporal do consumo de água em diferentes Unidades Hidro Sanitárias (UHS) foram instalados quatro hidrômetros adaptados para pontos estratégicos da residência piloto, de maneira que fosse possível quantificar simultaneamente o consumo de alguns dos principais pontos consumidores de água e a quantia total utilizada na propriedade. Porém, devido a aspectos técnicos e financeiros optou-se por instalar os equipamentos de medição somente em locais estratégicos e onde não fosse necessário danificar a estrutura da residência.

Desta forma, constatou-se também um arranjo tal que permite o monitoramento dos principais pontos de interesse, permitindo analisar de forma geral o balanço das fontes alternativas de água disponíveis e o que é efetivamente utilizado. Este arranjo, porém, não visa atender a todos os aparelhos hidráulicos individualmente (Tabela 19).



Tabela 19 - Descrição do sistema de hidrometria instalado na residência piloto.

Hidrômetro	Local instalado	Observações
H-01	Ponteira de abastecimento	A diferença ente H-01 e H-2 é igual ao consumo do banheiro interno.
H-02	Cozinha da residência	Apesar de haver duas cozinhas somente a cozinha da residência é utilizada atualmente.
H-03	Saída da cisterna de distribuição da chuva	Água da chuva aplicada para diversos fins não potáveis
H-04	Saída do tanque de distribuição da água cinza	Volume de água cinza armazenada após o tratamento empregado (temporariamente descartada).

Fonte: Elaborado pelo autor (2012).

Todos os quatro hidrômetros instalados foram testados e, segundo especificações do fabricante, todos os equipamentos estão de acordo com a Portaria nº 246 de 17 de outubro de 2000, cumprindo exigências do Instituto Nacional de Metrologia Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO) e da Associação Brasileira de Normas Técnicas. O modelo dos hidrômetros empregados é de aplicação residencial do tipo monojato (*Unimag Premium*) para água fria, diâmetro 3/4" de acordo com a descrição básica fornecida pelo fabricante do produto (Figura 12).

Figura 12 - Descrições hidrômetro utilizado na pesquisa fornecidas pelo fabricante.

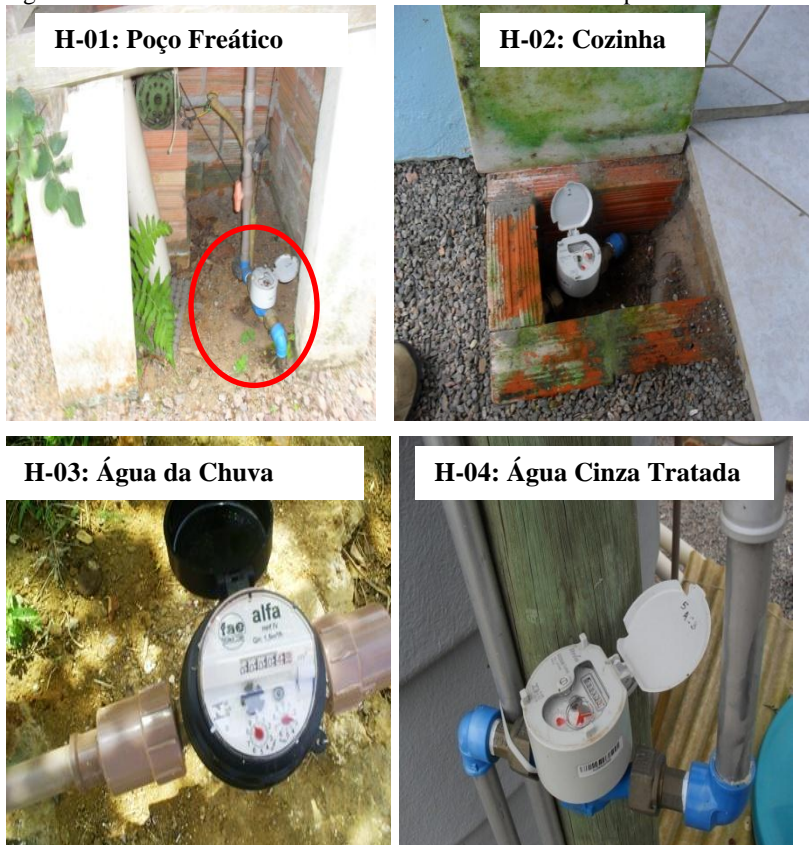
Diâmetro Nominal (DN)	mm pol.	15 – 20 (1/2" – 3/4") <i>Unimag Premium</i>
Classe Metrológica	Classe	B
Vazão Máxima - Qmax	m <sup>3</sup> /h	1,2
Vazão Nominal - Qn	m <sup>3</sup> /h	0,6
Vazão de Transição - Qt	l/h	48
Vazão Mínima - Qmin	l/h	12
Início de Funcionamento Típico	l/h	6
Perda de Carga a Qmax	bar	
Comprimento	mm	

Fonte: Elaborado pelo autor (2012).

O programa de monitoramento elaborado contempla uma frequência da leitura dos equipamentos de forma que os dados obtidos possam ter maior representatividade temporal e significância prática possível. Devido à impossibilidade de uma leitura diária dos hidrômetros a coleta de dados é realizada rigorosamente com as datas e horários previamente definidos para minimizar variações.

Todas as leituras dos hidrômetros foram realizadas pelo proprietário da residência de forma compatível com a rotina da casa, o que definiu uma frequência de duas vezes por semana, sempre nas sextas (20h) e segundas-feiras (7h). O período total do monitoramento foi aproximadamente de 15 meses, com início dia 11 de novembro de 2010 e término em 27 de fevereiro de 2012. Desta forma foi possível abranger variações sazonais e da rotina semanal da família de agricultores (dias úteis e finais de semana). Na Figura 13 pode-se visualizar alguns dos hidrômetros instalados na propriedade piloto.

Figura 13 - Detalhe dos hidrômetros instalados na residência piloto.



Fonte: Elaborado pelo autor (2012).

### 3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para o tratamento de dados utilizou-se dois softwares estatísticos. O primeiro foi o software Excel, escolhido para realizar a estatística descritiva dos resultados das análises, composto pela média, mediana, desvio padrão, valores máximos e mínimos e percentuais. Foram gerados gráficos do tipo *Box Plot* e gráficos de barra com os valores médios. O segundo software aplicado foi o *SPSS Statistics 19 (IBM)*, selecionado para proceder com análises de variância (ANOVA) a fim de constatar a consistência dos dados de entrada.

Uma análise de variância visa fundamentalmente verificar se existe uma diferença significativa entre as médias e se os fatores que exercem influência em alguma variável dependente. Desta forma, ANOVA caracteriza-se por ser um teste de hipóteses, que fornece a probabilidade de grupos de dados terem médias iguais ou diferentes. Este procedimento deve ser confiável para dados com distribuição normal, de maneira que os valores não normais tiveram de ser normalizados pelo próprio software.

Para o grupo de dados selecionados foi adotada uma avaliação com um fator de referência (*one way*). Assim, existem ao menos duas hipóteses consideradas na análise:  $H_0$  representa as médias iguais, ou seja, não há diferença entre os níveis analisados e  $H_1$  onde as médias são diferentes. Se o  $p$ -valor  $< \alpha$ , sempre então rejeitamos a hipótese de nulidade  $H_0$ . Caso contrário, rejeita-se a hipótese de nulidade  $H_0$ , ou seja, não há evidências de diferenças estatísticas entre os tratamentos, ao nível  $\alpha$  de significância escolhido, neste caso optou-se por 5% ( $\alpha = 0,05$ ).

As discussões sobre os resultados do teste foram realizadas para as análises de qualidade da água cinza com relação à entrada e saída do tratamento e da água da chuva considerando o tanque de descarte e a cisterna de armazenamento. Todos os parâmetros de qualidade da água analisados receberam o tratamento estatístico descrito, procedendo também à normalização de dados quando necessário.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA (ANOVA)

Para os parâmetros de qualidade de água de chuva (cisterna de armazenamento e descarte) a análise de variância (ANOVA) demonstrou que apenas os sólidos suspensos totais ( $p=0,029$ ), turbidez ( $p=0,047$ ) e alcalinidade ( $p=0,035$ ) foram considerados estatisticamente iguais ou sem variação significativa entre as médias. Nota-se que os valores de  $p > 0,05$  significam que há diferença entre as séries de dados, assim pode-se afirmar que os dados médios obtidos foram diferentes para o descarte e reservatório em relação todos os outros parâmetros, apresentando valores de  $p$  na faixa de  $0,09$  a  $0,50$ .

Com relação aos parâmetros analisados para água cinza na entrada e na saída do sistema de tratamento foi constatado que não

existe diferença ou variância estatística entre médias obtidas para DQO ( $p= 0,041$ ) e *E. coli* ( $p= 0,005$ ). Porém, no restante dos parâmetros apresentaram alguma variação estatística entre os valores médios obtidos de acordo com a faixa de distribuição ( $p= 0,420$  a  $0,853$ ).

## **4.2 FONTES ALTERNATIVAS DE ÁGUA DISPONÍVEIS NA PROPRIEDADE PILOTO**

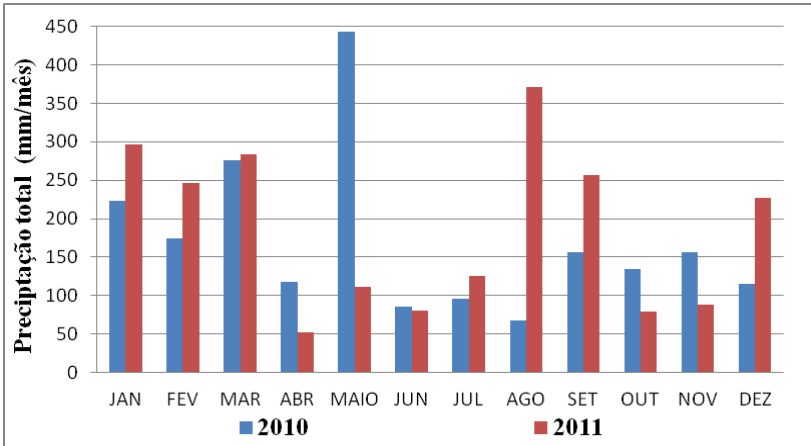
### **4.2.1 Características Pluviométricas da Região da Grande Florianópolis, SC**

Conforme exposto anteriormente, os dados meteorológicos obtidos junto ao INMET/EPAGRI (2012) foram referentes à precipitação total na região da Grande Florianópolis (estação pluviométrica de São José) entre os anos de 1981 e 2011, totalizando uma série histórica de 30 anos. Observa-se que a pluviometria média anual é de 1.784 mm de chuva. Os anos de menor precipitação foram em 1986, 2003 e 2006, apresentando o total pluviométrico de 1.034, 1.140 e 1.141 mm de chuva, respectivamente. Os anos em que foram registradas as maiores de precipitações foram 2008, 1983 e 2001 com os totais de 2.817, 2.674 e 2.360 mm de chuva, respectivamente.

A Figura 14 resume os dados fornecidos pela EPAGRI e o INMET, apresentando as médias dos valores mínimos, médios e máximos para cada mês dos anos de 2010 e 2011. Percebe-se que a estiagem de chuvas geralmente ocorre nos meses de abril a agosto, sendo que o mês de junho é o que apresenta a menor média de precipitação, 74,7 mm/mês, considerando o período de 30 anos de monitoramento. Julho destaca-se pelas mínimas precipitações registradas nas últimas três décadas que foram de apenas 4,4 e 8,1 mm/mês, ocorrendo nos anos de 1988 e 2008, respectivamente. Para o mesmo período de monitoramento, o mês mais chuvoso é geralmente janeiro com uma média 239,3 mm/mês, mas podendo atingir até 625 mm, como registrado em dezembro de 1998.

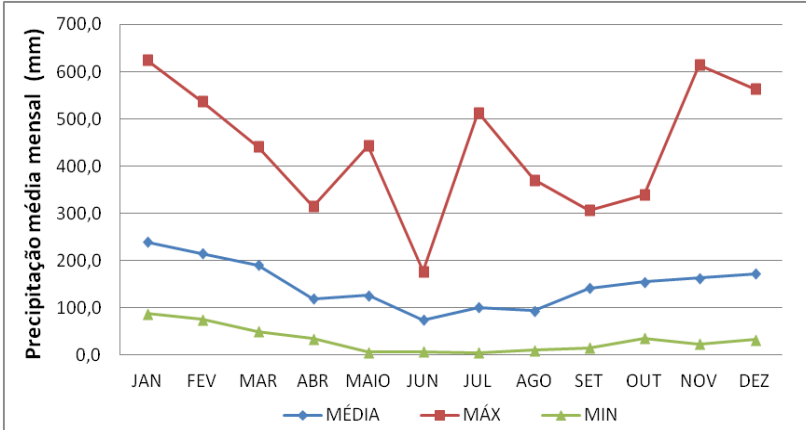
Na Figura 15 pode-se constatar as Médias, máximas e mínimas mensais de pluviosidade total para Grande Florianópolis/SC referente a série histórica de chuva de 1981 a 2011.

Figura 14 - Precipitação total média registrada para Grande Florianópolis em 2010 e 2011.



Fonte: Elaborado pelo autor com os dados INMET /EPAGRI (2012).

Figura 15 – Médias, máximas e mínimas mensais de pluviosidade total para Grande Florianópolis/SC referente a série histórica de chuva de 1981 a 2011.

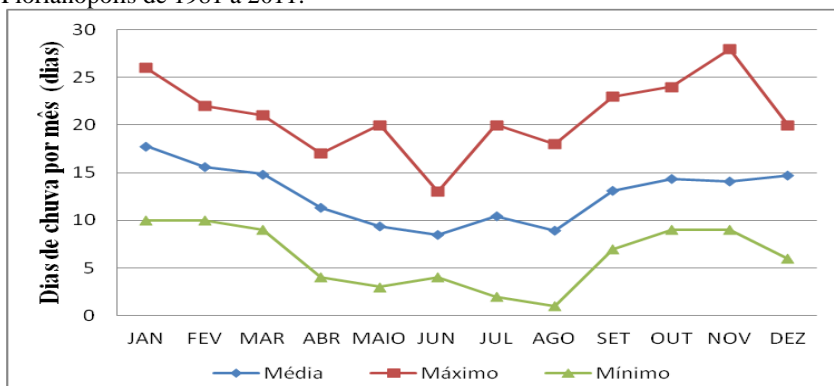


Fonte: Elaborado pelo autor com os dados INMET /EPAGRI (2012).

Com relação à análise do número de dias com chuva significativa novamente junho ganha destaque, isto porque esta apresenta uma média de apenas 8 dias de chuva no mês. Logo após estão maio e agosto, ambos com uma média de 9 dias chuvosos. Os meses que na média mais ocorrem dias de precipitações na região são janeiro,

fevereiro e março, sendo 18, 16 e 15, respectivamente. Os valores extremos podem ser observados nos respectivos meses de precipitação acumulada total, descritos anteriormente. Se for calculada a média anual referente às médias mensais de dias com chuva o valor final é de aproximadamente 13 dias de chuva por mês (Figura 16).

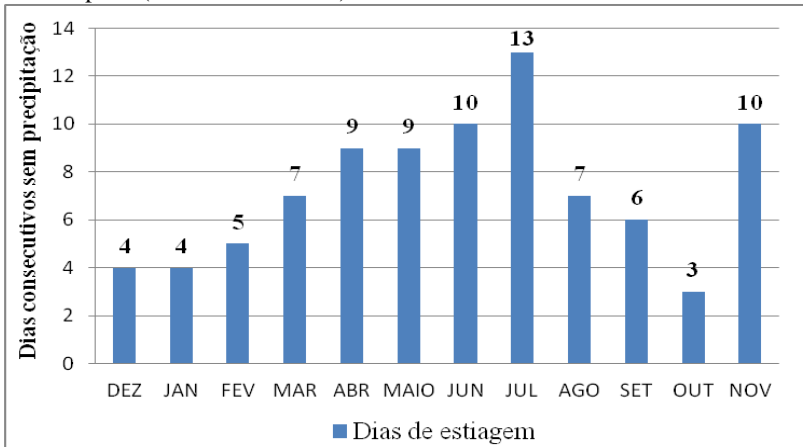
Figura 16 - Relação de dias de ocorrência de chuva na região da Grande Florianópolis de 1981 a 2011.



Fonte: Elaborado pelo autor com os dados INMET /EPAGRI (2012).

Baseado nos dados diários no período entre dezembro de 2010 a novembro de 2011, fornecidos pela estação de São José (Grande Florianópolis), foi possível identificar o número de dias consecutivos sem ocorrência de precipitação significativa. Neste caso convencionou-se que as precipitações significativas são aquelas superiores a 1,4 mm/dia, pois este é o mínimo necessário para preenchimento do descarte e limpeza dos telhados (Figura 17).

Figura 17 - Dias consecutivos sem significativa precipitação na Grande Florianópolis (12/2010 a 11/2011).



Fonte: Elaborado pelos dados INMET/EPAGRI (2012).

Para o período apresentado observa-se que o sistema de aproveitamento da chuva instalado na residência piloto teve seu dimensionamento verificado, correspondendo a um máximo de 13 dias consecutivos sem significativa precipitação, conforme margem prevista. Este fato ocorreu entre os dias 04 a 17 de julho de 2011 e o segundo maior período de estiagem foi registrado nos meses de julho e novembro de 2011, com até 10 dias de estiagem.

#### 4.2.2 Potencial de Captação do Sistema de Aproveitamento de Água de Chuva

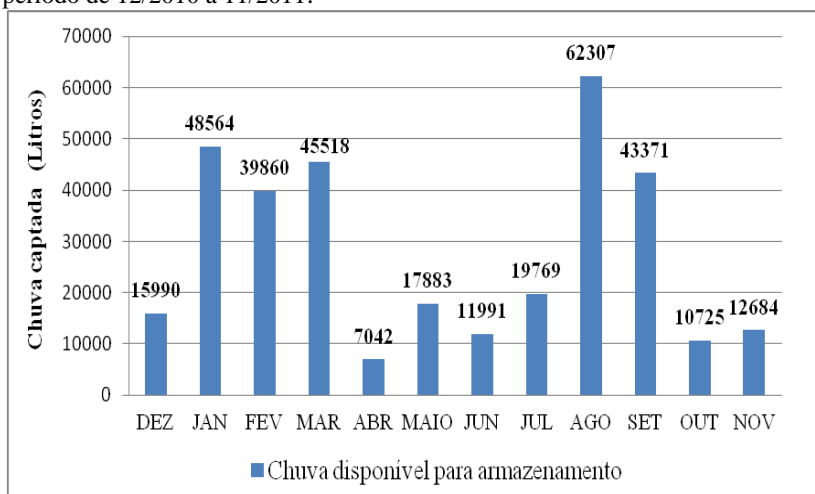
Para o dimensionamento do sistema de aproveitamento de água da chuva foi adotado um valor genérico médio baseado em séries históricas, conforme descrito anteriormente. Porém, após cerca de dois anos de operação do sistema já é possível estimar, de maneira mais aproximada, a real disponibilidade deste recurso durante o período. A partir dos dados atualizados pela estação meteorológica de São José (INMET, 2012), pode-se quantificar o volume de chuva captado da superfície de 178 m<sup>2</sup> dos telhados.

Conforme descrito anteriormente e como podem ser observados na Figura 18, os volumes médios diários de chuva o volume de chuva potencialmente aproveitado não é igual ao efetivamente armazenado.



Para efeitos de análise no cálculo da quantidade de chuva captada pela superfície reduz-se o volume de descarte de 250 litros para limpeza do telhado. Como simplificação mais próxima da realidade, considerou-se que o descarte tenha ocorrido uma vez a cada dia de precipitação daquele mês. Também não foram consideradas nestes valores as perdas por evaporação e as perdas no sistema.

Figura 18 - Volume de chuva disponível para o armazenamento durante o período de 12/2010 a 11/2011.



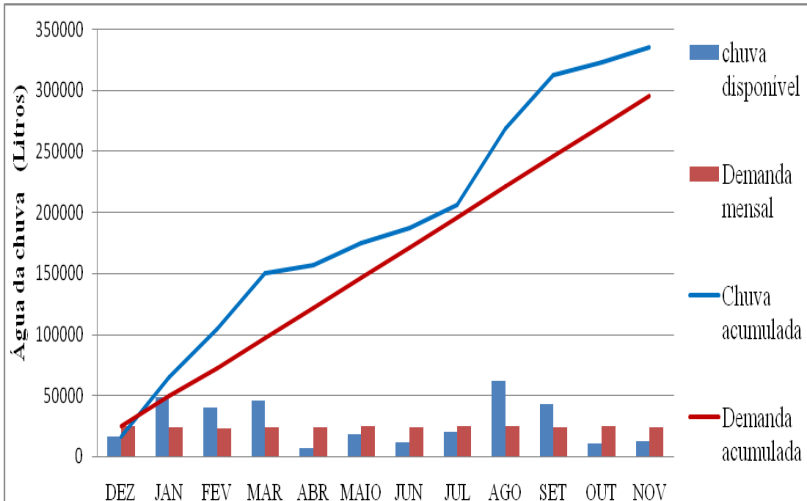
Fonte: Elaborado pelo autor com os dados INMET /EPAGRI (2012).

Considerando a demanda média diária por água da chuva na propriedade piloto, que inclui bacio sanitário, lavagem de roupas e atividades agrícolas anteriormente descritas, tem-se um volume médio requerido de 24.423 litros de água da chuva por mês. Para o período analisado este valor nem sempre foi inferior ao potencial de captação apresentado acima, isto aparentemente pode significar um déficit entre a produção e a demanda por chuva mensal. De fato ocorre uma melhor distribuição diária da chuva ao longo do mês, o que permite amortizar estas diferenças.

Conforme comentado anteriormente, não houve falta de água no período, exceto devido ao esvaziamento para manutenção e limpeza da cisterna principal, o que ocorre geralmente uma vez por ano. Na Figura 19 estão relacionados os dados de produção e demanda mensal e acumulados para o período de um ano de funcionamento do sistema de

aproveitamento da chuva, assim como a estimativa de chuva média captada pelo sistema em relação à demanda diária calculada para cada mês.

Figura 19: Volume de chuva mensal disponível e acumulada em relação a demanda mensal e acumulada.



Fonte: Elaborado pelos dados INMET/ EPAGRI (2012).

Conforme pode ser observado na Figura 19, a disponibilidade de chuva captada pela superfície dos telhados (178,0 m<sup>2</sup>), considerando o descarte de 250,0 litros a cada dia de precipitação significativa, é superior a demanda para fins não potáveis estimada para a propriedade piloto, quando analisado para um período de um ano completo. Melhores resultados podem ser obtidos considerando-se que para intervalos pequenos de estiagem (1 ou 2 dias) pode não ser necessário descarte da primeira água, o que aumentaria substancialmente a disponibilidade de água pluvial para armazenamento.

#### 4.2.3 Avaliação Quantitativa do Consumo das Fontes Alternativas da Propriedade

Com relação aos dados quantitativos obtidos cabe salientar que não foi objetivo deste trabalho monitorar diariamente cada unidade hidrossanitária, mas sim obter uma noção do balanço hídrico da propriedade e das fontes alternativas de água, bem como a diferença de

volume médio diário para dias de semana e finais de semana, conforme descrito anteriormente. Os resultados obtidos foram tratados estatisticamente através dos softwares *SPSS Statistics 19 (IBM)* e *Excel (Microsoft)*. Estes foram agrupados mês a mês para cálculo das médias obtidas pelo monitoramento, objetivando conhecer a variação anual e padronizar os dados em relação a outras referências utilizadas para comparação dos resultados.

Os valores das medições dos hidrômetros instalados em pontos estratégicos para medição da captação e utilização da água subterrânea são apresentados na Tabela 20.

Tabela 20 - Resultados do monitoramento dos hidrômetros abastecidos pelo água do lençol freático.

Consumo Médio de Pontos Abastecidos com Água Subterrânea (litros/dia)									
MÊS	Captação Subterrânea (H-01)			Banheiro Interno (MI)			Pia da Cozinha (H-02)		
	Final de Semana	Dias Úteis	Consumo médio	Final de Semana	Dias Úteis	Consumo médio	Final de Semana	Dias Úteis	Consumo médio
nov/10	676,7	304,0	410,0	433,3	201,3	267,1	243,3	102,7	142,9
dez/10	562,5	280,5	349,4	363,8	191,0	234,0	198,8	89,5	115,4
jan/11	332,5	314,0	327,1	187,5	216,0	225,7	145,0	98,0	101,4
fev/11	405,0	309,8	337,0	285,0	211,6	232,6	120,0	98,2	104,4
mar/11	540,0	272,0	348,6	375,0	202,0	251,4	165,0	70,0	97,1
abr/11	517,5	256,0	326,0	383,8	200,5	248,0	133,8	55,5	78,0
mai/11	641,3	242,5	356,4	463,8	168,0	252,5	177,5	74,5	103,9
jun/11	521,7	288,0	390,0	368,3	201,0	275,0	153,3	87,0	115,0
jul/11	363,0	354,8	357,1	153,0	278,8	242,9	210,0	76,0	114,3
ago/11	583,8	224,0	326,8	417,5	144,5	222,5	166,3	79,5	104,3
set/11	345,0	275,0	315,7	235,0	187,0	217,1	110,0	88,0	98,6
out/11	505,0	187,0	281,1	361,3	104,0	181,4	143,8	83,0	99,7
nov/11	508,8	216,0	299,6	385,0	125,5	199,6	123,8	90,5	100,0
dez/11	390,0	328,0	306,7	297,5	229,0	214,3	92,5	99,0	92,4
<b>MÉDIA</b>	<b>492,3</b>	<b>275,1</b>	<b>338,0</b>	<b>336,4</b>	<b>190,0</b>	<b>233,2</b>	<b>155,9</b>	<b>85,1</b>	<b>104,8</b>

Fonte: Elaborado pelo autor (2012).

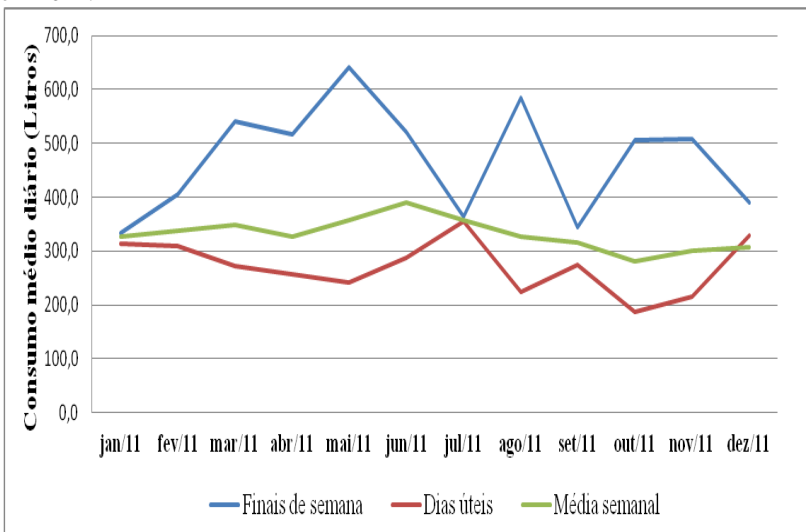
Toda a água utilizada para consumo humano para nutrição, preparo de alimentos e higiene pessoal da residência é proveniente da captação do lençol freático da região por bombeamento. Esta fonte

atende a pia da cozinha e o banheiro da residência que contém chuveiro, vaso sanitário e lavabo. Estes setores correspondem a maior parcela da água utilizada atualmente (59%). Considerando que além de suprir a demanda para os fins potáveis (pias e chuveiro), uma parcela desta água ainda é utilizada para a descarga do bacio sanitário do banheiro interno.

Avaliando os dados pode-se constatar que o consumo diário varia bastante em relação aos dias da semana. Como a rotina de trabalho fora da propriedade de pelo menos dois membros da família é em horário comercial e apenas em dias úteis (segunda a sexta-feira), há uma sensível diminuição no consumo de água nestes períodos em relação às médias para sábado e domingo. Assim, O consumo médio diário de água aduzida do subsolo para dias úteis foi igual a 47,5 L/hab.dia, enquanto que para os finais de semana a média foi 123L/hab.dia, isto representa um acréscimo de cerca de 61% em relação ao consumo dos dias úteis.

A Figura 20 apresenta a variação temporal no que diz respeito à utilização média diária para finais de semana, dias úteis (de segunda a sexta) e a média para semana toda.

Figura 20: Variação temporal no volume médio de água subterrânea consumida em 2011.



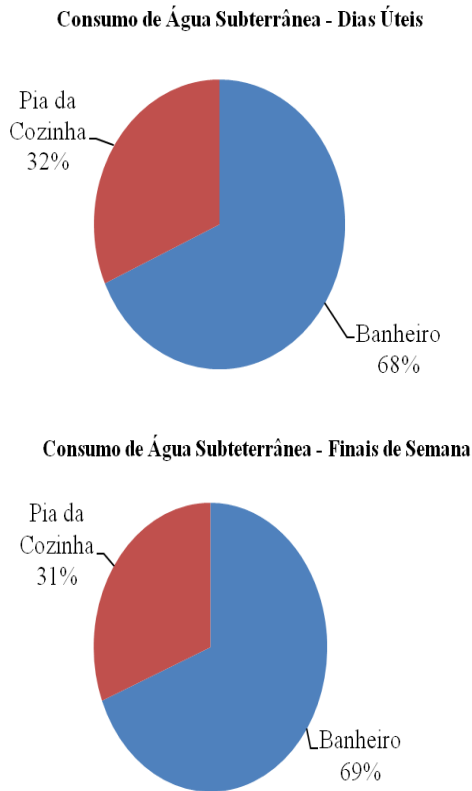
Fonte: Elaborado pelo autor (2012).

Magri *et al* (2009), observaram um consumo médio de 47,5 L/hab.dia e 16,2 L/hab.dia para o banheiro (incluindo bacio sanitário) e pia da cozinha, respectivamente, considerando uma residência com características semelhantes e também com uma contribuição de quatro habitantes. As maiores médias *per capita* para os mesmos setores nesta pesquisa (finais de semana) foram superiores e correspondem a 84,0L/hab.dia e 39,0 L/hab.dia para o banheiro (incluindo bacio sanitário) e pia da cozinha, respectivamente. No entanto, para o consumo observado durante os dias úteis nestes mesmos pontos, obteve-se valores bastante similares ao relatados pelos referidos autores. Neste caso, o consumo do banheiro e da pia da cozinha foram igual a 47,5 L/hab.dia e 21,2 L/hab.dia, respectivamente.

Como é perceptível, existe amplitude nos valores médios mensais, variando entre o mínima 55,5 L/hab.dia em outubro de 2011(dias de úteis), até quase 170,0 L/hab.dia para o mês de novembro de 2010 (final de semana). Apesar disto, não foi possível constar significativa relação entre as condições climáticas das diferentes estações do ano e o consumo hídrico da residência, este fato pode estar relacionado com a abundância de água na região em praticamente todos os meses do ano.

Apesar dos valores de consumo diário serem discrepantes, a proporção existente entre o consumo de cada UHS monitorada é muito semelhante tanto para dias úteis como para os finais de semana, como pode ser visualizada na Figura 21.

Figura 21 - Percentual de volume de água subterrânea consumida em cada UHS.



Fonte: Elaborado pelo autor (2012).

Na prática, os aspectos socioeconômicos acabam por influenciar diretamente nos hábitos, rotinas e, conseqüentemente, no padrão de consumo. Além das diferenças entre o ambiente urbano e o rural há ainda variações dentro de cada meio. Por exemplo, a partir dos anos 80 tem sido cada vez mais comum no Brasil, a modelo do que ocorre em países desenvolvidos, a multifuncionalidade de propriedades rurais (atividade não agrícolas) e a gradual proximidade entre o campo e os centros urbanos que contribuiu para esse movimento denominado por alguns autores como: novo rural (DEL GROSSI & SILVA, 2002). A presente pesquisa ratifica esta condição, uma vez que três dos quatro

membros da família em estudo trabalham fora em horário comercial durante os dias úteis. Ainda assim, a família mantém as atividades de agricultura de subsistência e isto pode explicar o baixo consumo observado para os dias úteis, enquanto que nos finais de semana este aumenta também em função de atividades agrícolas.

O consumo médio diário de água da chuva captada e de água cinza após o tratamento está apresentado na Tabela 21.

Tabela 21 - Monitoramento quantitativo da água cinza tratada e da água de chuva armazenada.

<b>Fontes Alternativas Não Potáveis (litros/dia)</b>						
<b>MÊS</b>	<b>Aproveitamento da Chuva (H-03)</b>			<b>Água Cinza Tratada (H-05)</b>		
	<b>Final de Semana</b>	<b>Dias Úteis</b>	<b>Consumo Médio</b>	<b>Final de Semana</b>	<b>Dias Úteis</b>	<b>Consumo Médio</b>
nov/10	355,0	132,7	196,2	35,0	50,0	45,7
dez/10	293,8	136,0	184,0	35,0	27,5	29,1
jan/11	200,0	242,0	215,7	50,0	70,0	78,6
fev/11	200,0	251,2	236,6	45,0	106,0	79,0
mar/11	410,0	114,0	198,6	70,0	8,0	25,7
abr/11	398,8	211,5	264,9	46,3	13,0	20,3
mai/11	350,0	176,5	226,1	32,5	23,0	25,7
jun/11	293,3	123,0	194,3	50,0	5,0	25,0
jul/11	399,0	194,0	252,6	130,0	83,6	96,9
ago/11	308,8	178,0	215,4	232,5	128,0	157,9
set/11	423,3	205,0	271,4	190,0	72,0	99,5
out/11	386,3	188,5	261,4	72,5	64,0	71,1
nov/11	445,0	206,5	274,6	61,3	60,5	60,7
dez/11	320,0	332,0	273,3	62,5	163,0	49,5
<b>MÉDIA</b>	<b>341,7</b>	<b>192,2</b>	<b>233,2</b>	<b>79,5</b>	<b>62,4</b>	<b>61,8</b>

Fonte: Elaborado pelo autor (2012).

Desde a instalação do sistema de aproveitamento de água de chuva o proprietário optou por utilizar esta fonte para certas finalidades não tão exigentes em relação ao consumo humano. Corroborando com o cálculo de captação média durante o período de monitoramento descrito no item anterior só houve falta de água da chuva armazenada por um período de dez dias durante o mês de fevereiro de 2011, quando, devido

a pouca precipitação, optou-se por realizar a manutenção e limpeza do sistema.

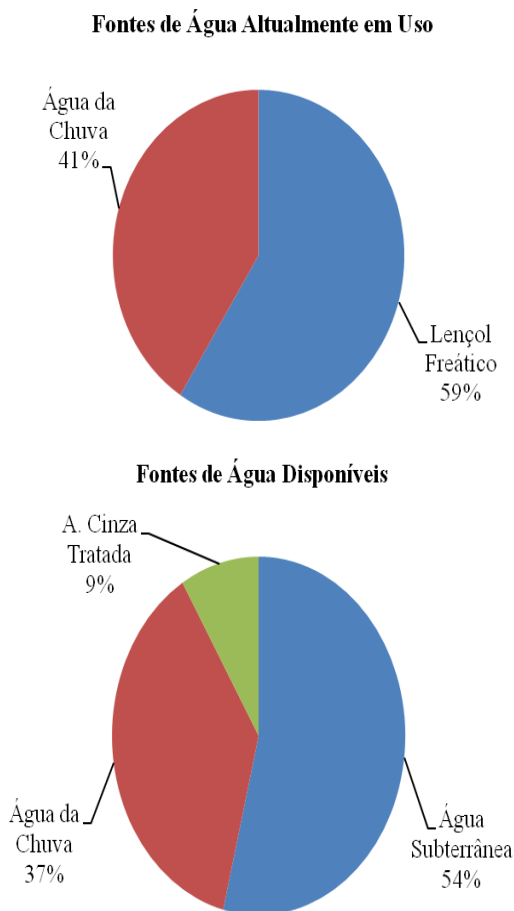
A água de chuva armazenada na cisterna abastece o tanque e máquina de lavar roupas, o banheiro externo da residência (lavabo e bacio sanitário) e uma torneira externa usada para irrigação de pequenas hortas e limpezas gerais. É importante destacar que nem todas as demandas agrícolas planejadas estão sendo supridas atualmente, como a dessedentação de animais, por exemplo. Para suprir as atuais demandas observou-se um consumo médio de água da chuva de 342 L/dia para os finais de semana e 192 L/dia para dias úteis, o que equivale a 85,5 L/hab.dia e 48,0 L/hab.dia, respectivamente.

A água cinza diariamente produzida e tratada na residência apresenta-se como uma fonte complementar de água gerando uma média de 61,8 L/dia o que representa aproximadamente um aporte de 1854,0 L/mês. Este volume é suficiente para cobrir a demanda por água na irrigação de jardins e limpeza de pisos que equivalem a um total de 53,8 L/dia, de acordo com a demanda anteriormente estimada. Estas e outras possibilidades serão melhor detalhadas de acordo com outros aspectos além da disponibilidade e demanda, ou seja, os aspectos qualitativos.

Durante o período de realização desta pesquisa a água da chuva não foi utilizada para todos os possíveis fins agrícolas planejados (apenas irrigação de hortas) e também não existe outra fonte de água na propriedade além do lençol freático e do sistema de aproveitamento da chuva. Desta forma, pode-se dizer que o consumo total para cada habitante, no que diz respeito ao abastecimento de água na residência, independente dos dias da semana, é em média igual 142,7 L/hab.dia. A Figura 22 apresenta dois cenários para o quantitativo das fontes alternativas da propriedade piloto.



Figura 22 - Proporção das atuais fontes abastecimento na propriedade piloto.



Fonte: Elaborado pelo autor (2012).

O consumo de água da chuva armazenada é diferente do consumo captado pelo sistema, ou seja, existe um potencial maior de uso desta fonte para outras finalidades, como já foi demonstrado anteriormente. Mesmo assim, a água de chuva já representa uma significativa parcela (41%) de toda a água de abastecimento atualmente utilizada.

Conforme descrito anteriormente a ONU (2012) aponta que o valor mínimo padronizado de consumo diário para todas as atividades

básicas domésticas seria de até 50L/hab.dia, porém, em países industrializados este valor pode ser somente uma pequena proporção da média consumida, como no caso do Canadá, onde o requerimento básico de 50 L/hab.dia equivale a cerca de 10% do volume diário consumido por cada habitante. Nos E.U.A o consumo médio por habitante é de cerca de 281 L/hab.dia podendo chegar a 197 L/hab.dia quando adotadas medidas de conservação deste recursos (AWWA, 1998 *apud* TSUTIYA, 2006).

A ABNT (1993) propõe três padrões econômicos que influenciam no consumo: alto, médio e baixo, correspondendo a 160 L/hab.dia, 130 L/hab.dia e 100 L/hab.dia, respectivamente. Logo, a propriedade piloto corresponderia um padrão médio a alto, o que não corresponde com a realidade da família. Desta forma, os valores relativamente altos encontrados podem estar relacionado com maior número de atividades desenvolvidas, como por exemplo, a irrigação de pequenas hortas no entorno da casa e a limpeza de ferramentas das atividades agrícolas.

#### 4.3 CARACTERIZAÇÃO QUALITATIVA DA ÁGUA DE CHUVA

Os resultados obtidos no monitoramento da qualidade da água da chuva armazenada e descartada estão sintetizados na Tabela 22.

Tabela 22 – Parâmetros de qualidade da água da chuva analisados.

Parâmetros	Unidade	Descarte	DP	Cisterna	DP	Nº. Amost
pH	–	<b>7,0</b>	± 0,7	<b>7,1</b>	± 0,9	30
Turbidez	NTU	<b>3,4</b>	± 2,6	<b>1,3</b>	± 0,9	14
Sólidos Totais	mg/L	<b>87,3</b>	± 39,1	<b>79,0</b>	± 37,2	15
Sólidos Volateis	mg/L	<b>36,6</b>	± 16,2	<b>32,5</b>	± 23,5	13
Sólidos Fixos	mg/L	<b>56,1</b>	± 43,4	<b>44,3</b>	± 28,6	14
Sólidos Suspensos	mg/L	<b>2,5</b>	± 3,1	<b>0,9</b>	± 1,4	14
DQO	mg/L	<b>12,0</b>	± 13,38	<b>6,2</b>	± 9,0	21
Alcalinidade	mg/L de CaCO <sub>3</sub>	<b>27,1</b>	± 12,6	<b>15,1</b>	± 6,1	29
N. Amoniacal	mg/L	<b>1,3</b>	± 0,9	<b>0,7</b>	± 0,3	22
Nitrito	mg/L	<b>ND</b>	-	<b>ND</b>	-	16
Nitrato	mg/L	<b>0,5</b>	± 0,6	<b>0,2</b>	± 0,2	16
Ortofostato	mg/L	<b>ND</b>	-	<b>ND</b>	-	24
<i>Coli</i> Totais	NMP/100 mL	<b>1240,2</b>	± 1122,1	<b>852,2</b>	± 932,6	19
<i>E. Coli</i>	NMP/100 mL	<b>76,2</b>	± 223,2	<b>37,6</b>	± 109,2	19

ND = Não detectado.

Fonte: Elaborado pelo autor (2012).

#### 4.3.1 Características Físicas da Água de Chuva (Sólidos e Turbidez)

Conforme discutido anteriormente os parâmetros da qualidade da água da chuva dependem primordialmente das características da atmosfera e da superfície de captação utilizada. Neste sistema de aproveitamento não há nenhum tratamento físico, químico ou biológico específico, exceto pelo o descarte da primeira água da chuva.

Para avaliar melhor esta influencia foram monitorados os seguintes parâmetros físicos:

- Sólidos suspensos (SS)
- Sólidos totais (ST)
- Sólidos voláteis (SV)

- Sólidos fixos (SF)
- Turbidez

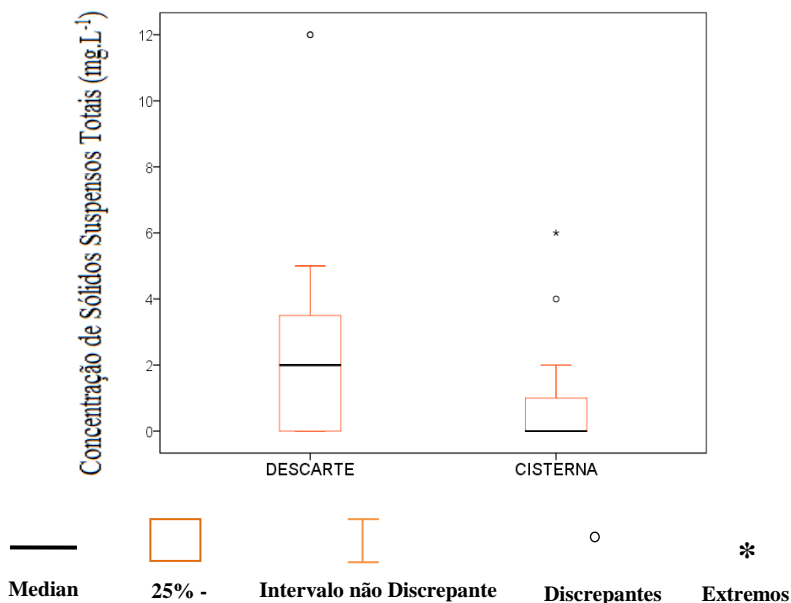
Os sólidos em suspensão na água da chuva aumentam significativamente após esta atingir a superfície de captação e as tubulações que conduzem a água até o sistema de aproveitamento composto dos tanques de descarte, armazenamento e distribuição da chuva. Para algumas regiões a concentração de sólidos suspensos provenientes exclusivamente da atmosfera pode ser maior que o obtido na água de descarte após a limpeza dos telhados, dependendo das condições de entorno, tais como urbanização, atividades industriais, proximidade de estradas de chão com elevado fluxo de veículos, etc.

Desta forma, para Anecchini (2005) e Jaques *et al* (2005) os sólidos suspensos foram mais expressivos do que os obtidos no presente estudo, inclusive para amostras da atmosfera, 7,9 mg/L e 7,0 mg/L, respectivamente. Este fato refletiu nas concentrações de sólidos suspensos em outros componentes do sistema de aproveitamento avaliados pelos autores. A maior evidência disto foi a alta concentração deste parâmetro no sistema de descarte e reserva monitorados por Anecchini (2005), incorrendo em valores iguais a 95,2 mg/L e 15,5 mg/L, respectivamente. Este fato provavelmente foi devido às características do local implantado, região metropolitana da cidade de Vitória, ES.

Na presente pesquisa foi selecionada uma residência em área rural com pouco fluxo de veículos próximo e com chuvas bem distribuídas praticamente em todos os meses do ano, conforme descrito anteriormente. Este cenário colaborou para os valores mínimos de sólidos suspensos totais verificados, apresentando concentrações de 2,5 mg/L e 0,9 mg/L, no descarte e no reservatório, respectivamente. Mesmo com baixas concentrações, pode-se afirmar que o descarte promoveu a remoção deste parâmetro, reduzindo a menos da metade o valor no reservatório. Portanto, a concentração de sólidos em ambos os casos encontra-se muito abaixo das recomendações brasileiras e internacionais mais exigentes para reuso de água, como a do Japão e da ABNT classe 1 (contato direto) que preconizam valores menores que 5,0 mg/L, por exemplo (LAZAROVA *et al*, 2003 ; ABNT, 1997).

A Figura 23 apresenta um gráfico dos valores obtidos para a concentração de sólidos suspensos totais para o sistema de aproveitamento da chuva instalado na propriedade piloto.

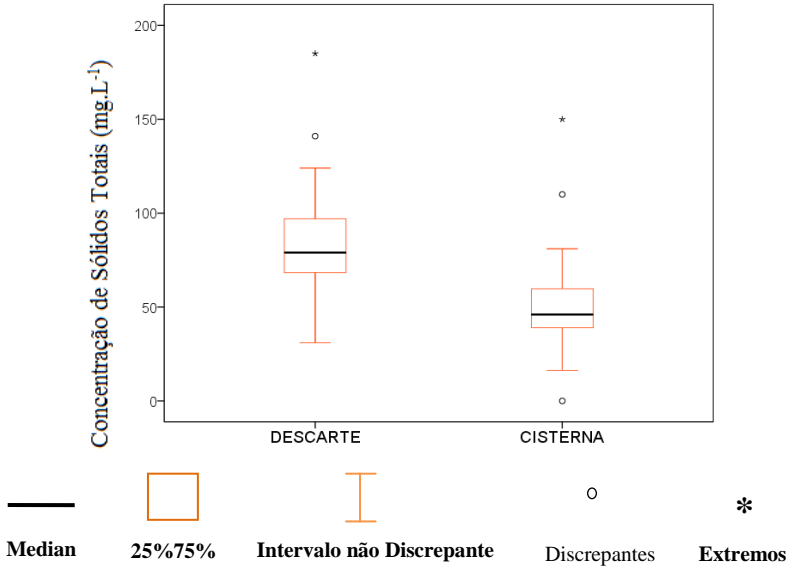
Figura 23 - Concentração de sólidos suspensos no descarte e na cisterna da chuva.



Fonte: Elaborado pelo autor (2012)

Em relação aos sólidos totais o sistema comportou-se de maneira diferenciada, apresentando concentrações pouco mais elevadas do que o observado para outros autores, correspondendo a concentrações iguais a 87,3 mg/L e 79,0 mg/L para o descarte e reservatório, respectivamente (Figura 24). Ainda assim, os valores estão dentro da faixa esperada para água da chuva e cumprem os requisitos da norma brasileira, que exige concentração de sólidos dissolvidos totais sempre inferiores a 500 mg/L para fins mais exigentes em que pode ocorrer o contato direto com os usuários.

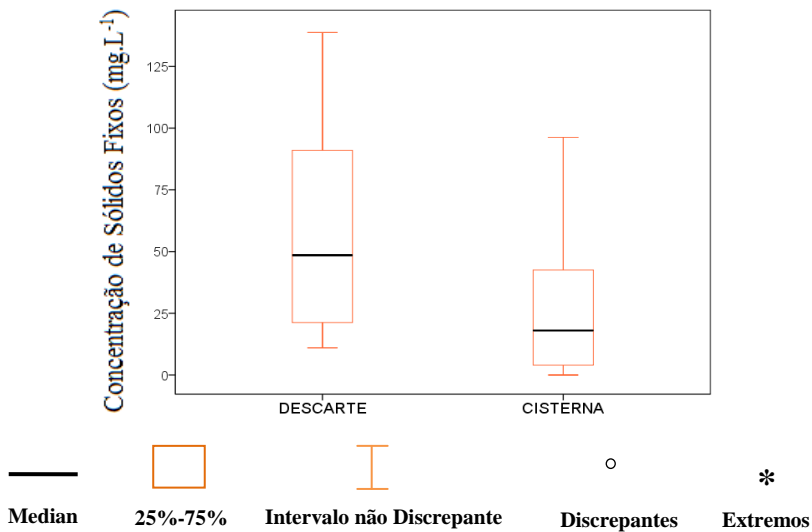
Figura 24 – Concentrações de sólidos totais no tanque de descarte e na cisterna de armazenamento da chuva.



Fonte: Elaborado pelo autor (2012).

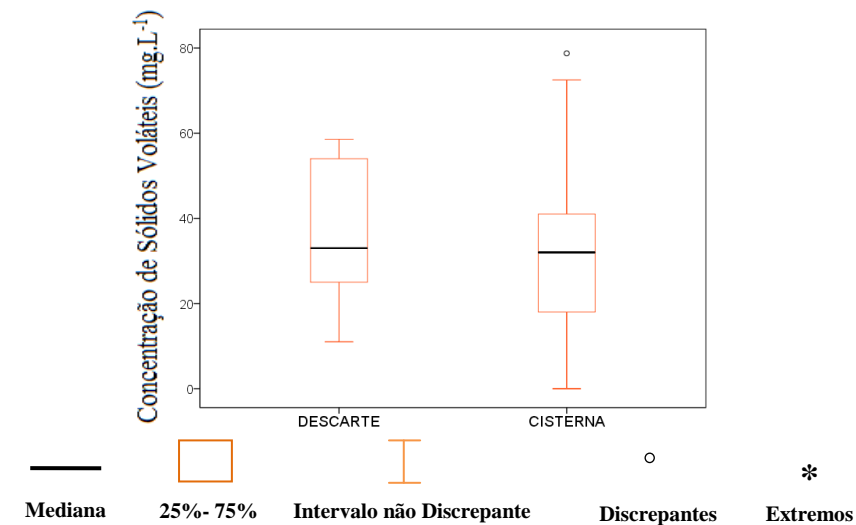
A parcela de sólidos voláteis e fixos pode indicar a proporção de matéria orgânica e inorgânica presentes no líquido analisado. Neste caso observa-se que a parcela de sólidos constituídos por compostos inorgânicos, ou minerais, é um maior que a orgânica, apesar da pouca diferença entre os valores obtidos. Com relação à proporção final de sólidos voláteis e fixos, de acordo com os valores médios obtidos, pode-se inferir uma relação de aproximadamente 35% e 27% mais sólidos minerais para o descarte e reservatório, respectivamente. As Figuras 25 e 26 apresentam nesta ordem os resultados para os sólidos fixos e voláteis no descarte e na cisterna.

Figura 25 - Sólidos fixos totais no tanque de descarte e armazenamento da chuva



Fonte: Elaborado pelo autor (2012).

Figura 26 – Concentrações de sólidos voláteis no tanque de descarte e armazenamento da chuva.

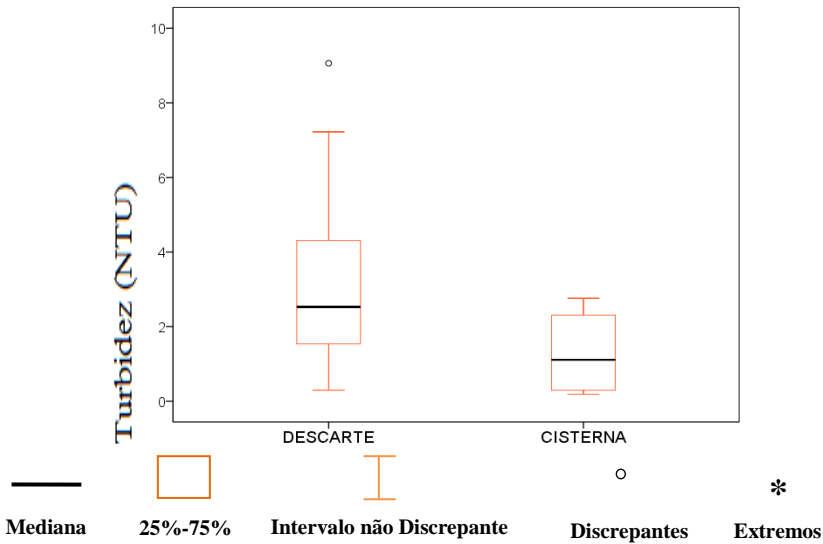


Fonte: Elaborado pelo autor (2012).

A literatura internacional faz referência a turbidez como um parâmetro de fácil verificação para que usuários de sistemas de aproveitamento de água da chuva aumentem a atenção e a frequência das análises, pois a poluição atmosférica em regiões industrializadas pode conferir esta característica às águas pluviais captadas, principalmente após períodos de estiagem (MACOMBER, 2010).

A Figura 27 dispõe o gráfico tipo *Box plot* com os resultados obtidos no monitoramento da turbidez.

Figura 27: Turbidez no descarte e na cisterna de armazenamento da chuva.



Fonte: Elaborado pelo autor (2012).

Os valores obtidos em relação aos parâmetros físicos avaliados foram satisfatórios e correspondem a outras indicações encontradas para sistemas semelhantes como compara a Tabela 23.



Tabela 23: Comparativo das concentrações de sólidos totais, suspensos e turbidez para vários autores.

Parâmetros	Unidade	Esta Pesquisa (2012)		Peters* (2006)		Anecchini (2005)		Jaques <i>et al</i> *
		Reserva	Descarte (1,4mm)	Reserva	Descarte (1mm)	Reserva	Descarte (1,5mm)	Reserva
Turbidez	NTU	<b>1,3</b>	<b>3,4</b>	2,5	4,6	0,2	21,5	4,7
ST	mg/L	<b>79,0</b>	<b>87,3</b>	68,7	96,9	15,5	175,4	-
SST	mg/L	<b>0,9</b>	<b>2,5</b>	1,7	2,9	1,5	95,2	-

\* Valores para região de Florianópolis

### 4.3.2 Características Químicas da Água de Chuva

Os parâmetros químicos analisados na qualidade da água da chuva armazenada e descartada foram divididos em cinco grupos:

- Compostos nitrogenados:  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_3$ .
- Ortofosfatos:  $\text{PO}_4$
- Compostos orgânicos e inorgânicos: DQO
- Outros: pH e alcalinidade

Na maioria dos casos a concentração de nutrientes na água da chuva, como fósforo e o nitrogênio, ocorre de maneira menos substancial do que o observado nas águas servidas. Ainda assim é possível encontrar tais substâncias na água da chuva, pois estas podem estar presentes na atmosfera devido a diversos fatores, tais como as emissões de regiões urbanizadas e industrializadas ou devido a fenômenos naturais como a atividade vulcânica (MACOMBER, 2010). A superfície de captação também pode contribuir diretamente para a presença de nutrientes na água de chuva captada, pois essa pode conter excrementos de animais, matéria orgânica vegetal, entre outras.

Como a região de estudo não apresenta nenhuma destas características de forma marcante, os valores obtidos para estes compostos são praticamente insignificantes em termos atmosféricos. No

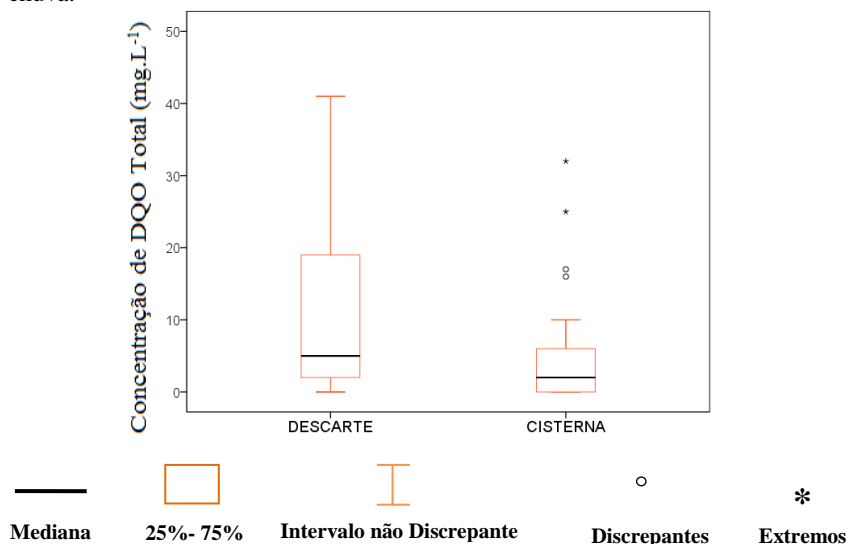
entanto, devido ao acúmulo de impurezas na superfície do telhado ser proveniente de diversas fontes, inclusive excretas de animais, existe a possibilidade de identificar tais nutrientes, principalmente na água de descarte. Dentre os parâmetros analisados não foram identificados nitritos ou ortofosfatos em concentrações significativas, enquanto que para os nitratos a concentração média foi de apenas 0,5 mg/L para o descarte.

Para a concentração de nitrogênio amoniacal os valores foram iguais a 1,3 mg/L e 0,7 mg/L para o descarte e o reservatório, respectivamente. Estes valores foram superiores aos obtidos pelos demais autores pesquisados, mas nestas concentrações não representam qualquer inconveniente ou risco sanitário para os usos pretendidos.

Pelos mesmos motivos abordados no item anterior a demanda química por oxigênio (DQO) não foi muito elevada em nenhum dos pontos analisados quando comparara as recomendações legais instituídas para o reuso de água pela norma brasileira (ABNT, 1997). O descarte propiciou uma significativa redução da matéria biologicamente e quimicamente degradável evidenciada pelas concentrações de DQO no tanque de descarte e no reservatório que foram iguais a 12,0 mg/L e 6,2 mg/L, respectivamente.

A Figura 28 indica que houve também significativa variação nos resultados coletados ao longo do tempo, porém em nenhum dos casos os valores da DQO excederam o valor de 75,0 mg/L normatizado pela ABNT para uso classe 3 (descarga de bacio sanitário). As maiores concentrações obtidas no monitoramento foram para o descarte (41 mg/L), seguido da cisterna (32 mg/L), o que também justifica o alto desvio padrão calculado.

Figura 28 – Concentrações de DQO no tanque de descarte e armazenamento da chuva.

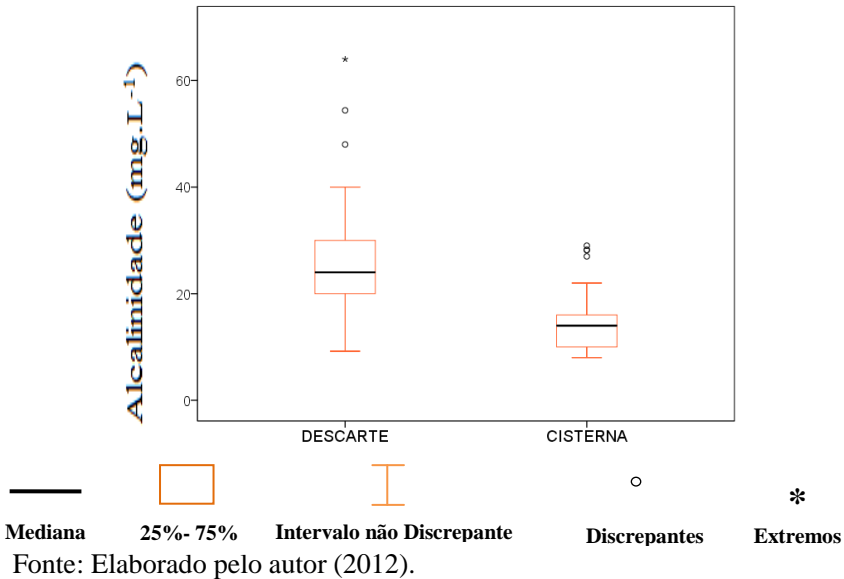


Fonte: Elaborado pelo autor (2012).

As análises de alcalinidade para água da chuva na presente pesquisa forneceram valores com grande amplitude, conforme pode ser observado na Figura 29, que demonstra graficamente os resultados obtidos no monitoramento. Novamente os valores encontrados no sistema de descarte (27,1 mg/L de CaCO<sub>3</sub>) foram cerca de 45% superiores aos obtidos no reservatório (15,1 mg/L de CaCO<sub>3</sub>), sendo que esta condição também foi verificada por outros autores referenciados.

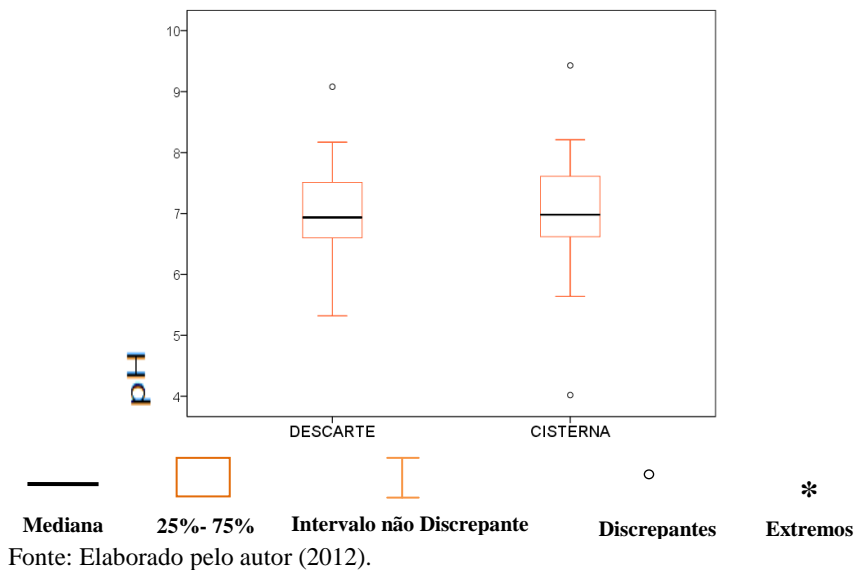
Para Peters (2005) a alcalinidade da chuva atmosférica apresentou valor médio de 3,9 mg/L e aumentou significativamente após a passagem pelo telhado apresentando valor médio de 31,2 mg/L no descarte, enquanto que na cisterna este valor decaiu para 23,1 mg/L (25% inferior). Estas variações de alcalinidade podem ser atribuídas a deposição de poeira na superfície de captação e as características particulares do telhado de captação. Os resultados podem ser consultados na Figura 29.

Figura 29 - Alcalinidade no tanque de descarte e armazenamento da chuva.



Tanto no descarte quanto no reservatório, os valores obtidos nesta pesquisa em termos de pH foram neutros não apresentando riscos de corrosão do sistema de aproveitamento da chuva ou outros inconvenientes que águas alcalinas ou ácidas podem ocasionar. Desta forma, o sistema avaliado encontra-se de acordo com o recomendado pela ABNT (2007) para o valor de pH (6,0 a 8,0), como demonstra graficamente a Figura 30.

Figura 30 – Variações no pH no tanque de descarte e armazenamento da chuva.



As demais referências consultadas apresentaram resultados compatíveis com os obtidos nesta pesquisa, como demonstra a Tabela 24.

Tabela 24: Comparativo da concentração dos parâmetros químicos analisados para diversos autores.

Parâmetros	Unidade	Esta Pesquisa (2012)		Peters* (2006)		Anecchini (2005)		Jaques <i>et al</i> * (2005)
		Reserva	Descarte (1,4mm)	Reserva	Descarte (1mm)	Reserva	Descarte (1,5mm)	Reserva
pH	-	<b>7,1</b>	<b>7,0</b>	7,6	7,5	6,2	6,3	5,1
DQO		<b>6,2</b>	<b>12,0</b>	4,8	9,8	7,9	20,9	12,4
Alcalinidade	mg/L CaCO <sub>3</sub>	<b>15,1</b>	<b>27,1</b>	23,1	31,2	2,7	5,3	3,6
N. Amoniacal	mg/L	<b>0,7</b>	<b>1,3</b>	0,3	0,6	0,1	0,3	0,7
Nitrato	mg/L			0,6	0,5	0,0	0,2	0,5
Ortofosfato	mg/L	<b>0,9</b>	<b>2,5</b>	-	-	-	-	0,3

\* Valores para região de Florianópolis

Fonte: Elaborado pelo autor (2012).

### 4.3.3 Contaminação por Coliformes Presentes na Água de Chuva

Os parâmetros biológicos analisados na qualidade da água da chuva armazenada e descartada foram baseados em dois grupos microbianos indicadores de contaminação, conforme descritos abaixo;

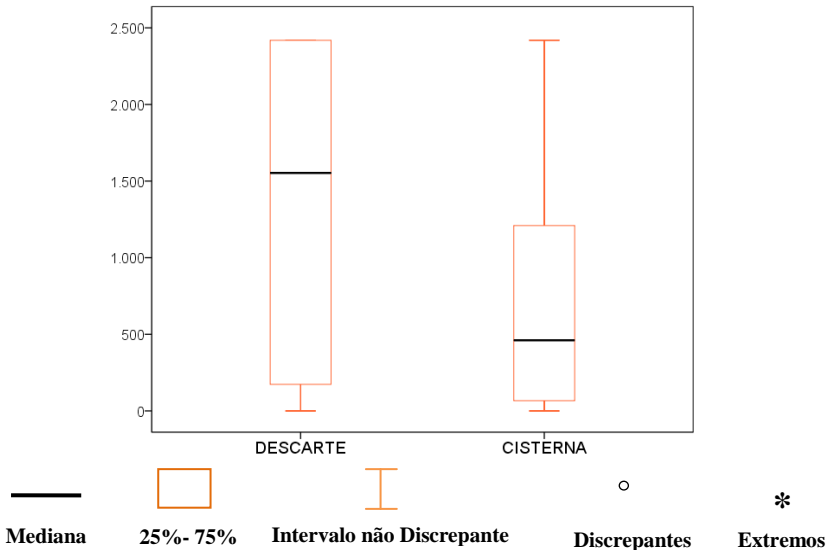
- Coliformes totais
- Coliformes fecais (*Escherischia coli* ou *E. coli*)

A concentração de coliformes é um dos principais parâmetros considerados para garantir a qualidade e seguridade da água que se pretende aproveitar para variadas finalidades. Mesmo considerando atividades não potáveis e sem o possível contato direto com os usuários, a preocupação com estes parâmetros é ressaltada em documentos do mundo inteiro.

Os valores obtidos para as concentrações de coliformes totais foram relativamente elevados, principalmente no descarte atingindo resultados superiores a  $10^3$  e uma média de 1.240,0 NMP/100ml para o descarte e 852,2 NPM/100ml no reservatório. Estes valores seriam considerados excessivos na maioria dos países que possuem normas com relação aos coliformes totais, diferentemente do Brasil, que não faz menção a tal parâmetro em suas normas. Neste caso seria recomendado algum processo de desinfecção para que fosse possível atingir valores menores que 200 NMP/100ml e 500 NMP/100ml em termos de coliformes totais, de acordo com o recomendado por Alemanha e Canadá, respectivamente, por exemplo.

Na Figura 31 é possível visualizar os resultados para a concentração de Coliformes totais no sistema de aproveitamento da chuva.

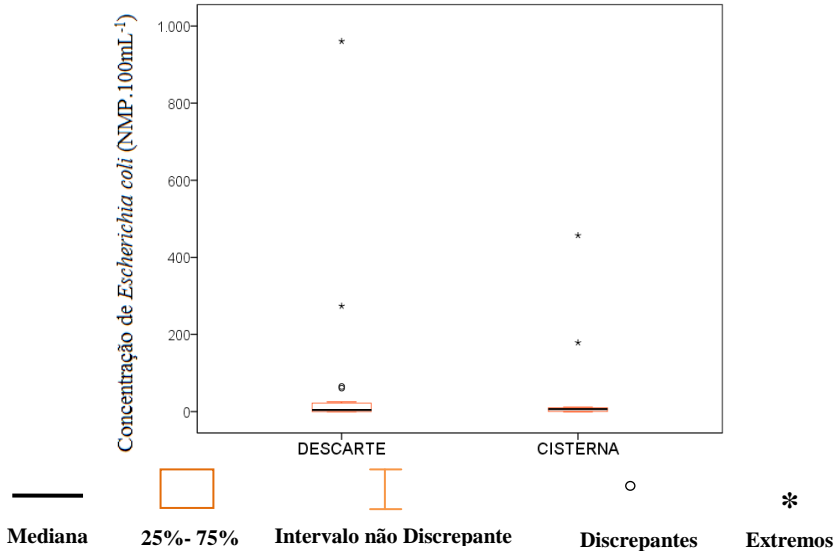
Figura 31 – Concentração de Coliformes totais no tanque de descarte e armazenamento da chuva.



Fonte: Elaborado pelo autor (2012).

Com relação à concentração de *Escherichia coli*, os resultados foram bastante satisfatórios, pois a maioria destes microrganismos foram carreados para o sistema de descarte e desta forma o reservatório apresentou menos da metade da concentração no descarte. A pesar disto, em ambos os casos o índice de contaminação pode ser considerado bastante inferiores aos limites da ABNT (1997) para utilização no bacio sanitário. No entanto, por não haver específico sistema de desinfecção e presença de cloro residual, em ambos os casos (descarte e reservatório), os efluentes estariam em desacordo com a norma brasileira que aborda a qualidade mínima necessária às águas aproveitadas da chuva (ABNT, 2007).

Figura 32 – Concentração de *E. coli* no tanque de descarte e armazenamento da chuva.



Fonte: Elaborado pelo autor (2012).

A Tabela 25 apresenta dados referentes à contaminação biológica obtidos nesta pesquisa em comparação ao que outros autores relatam para sistemas de aproveitamento da chuva semelhantes ao avaliado.

Tabela 25 – Contaminação biológica da água da chuva em comparativo com outros autores.

Parâmetros	Unidade	Esta Pesquisa (2012)		Peters* (2006)		Anmecchini (2005)		Jaques <i>et al</i> * (2005)
		Reserva	Descarte (1,4mm)	Reserva	Descarte (1mm)	Reserva	Descarte (1,5mm)	Reserva
Coliformes Totais	NMP/100 mL	852,2	1240,2	$1,5 \times 10^3$	$2,9 \times 10^3$	46,8	$3,4 \times 10^3$	$2,5 \times 10^3$
E. Coli	NMP/100 mL	37,6	76,2	4,5	150,0	-	-	13,1

\* Valores para região de Florianópolis

Fonte: Elaborado pelo autor (2012).



#### 4.4 CARACTERIZAÇÃO QUALITATIVA DA ÁGUA CINZA E EFICIÊNCIA DO SISTEMA DE TRATAMENTO.

A Tabela 26 sintetiza os resultados médios de todos os parâmetros de qualidade de água analisados em cada etapa de tratamento da água cinza proveniente da lavagem de roupas na propriedade piloto. Os valores obtidos foram tratados estatisticamente através dos softwares *SPSS Statistics 19 (IBM)* e *Microsoft Excel*, conforme anteriormente descrito.

Tabela 26 – Parâmetros de qualidade da água cinza em cada etapa do tratamento empregado.

Parâmetros	Unidade	Água Cinza Bruta	Desvio Padrão	Efluente do T. Séptico	Desvio Padrão	Efluente do Wetland	Desvio Padrão	Nº. Amost	E (%)
pH	–	<b>8,0</b>	± 1,0	<b>7,1</b>	± 0,3	<b>6,9</b>	± 0,4	36	-
S. Suspensos	mg/L	<b>234,0</b>	± 105,0	<b>108,5</b>	± 41,0	<b>13,9</b>	± 30,3	37	94,1
S. Totais	mg/L	<b>918,5</b>	± 395,2	<b>755,2</b>	± 142,3	<b>469,8</b>	± 105,5	21	48,9
S.T. Fixos	mg/L	<b>482,3</b>	± 354,3	<b>414,2</b>	± 130,3	<b>381,2</b>	± 105,1	22	21,0
S.T. Voláteis	mg/L	<b>436,2</b>	± 121,9	<b>328,7</b>	± 97,2	<b>88,6</b>	± 31,3	21	79,7
DQO	mg/L	<b>1199,5</b>	± 356,6	<b>787,4</b>	± 148,3	<b>105,2</b>	± 79,9	35	91,2
Ortofostato	mg/L	<b>82,9</b>	± 35,9	<b>43,2</b>	± 21,4	<b>4,6</b>	± 5,0	37	94,5
Alcalinidade	mg/L	<b>169,3</b>	± 80,6	<b>295,7</b>	± 78,3	<b>278,1</b>	± 78,4	37	-64,2
N. Amoniacal	mg/L	<b>5,6</b>	± 1,7	<b>11,9</b>	± 2,9	<b>3,9</b>	± 0,8	23	30,8
Nitrito	mg/L	<b>0,3</b>	± 0,2	<b>0,1</b>	± 0,1	<b>0,0</b>	± 0,02	37	89,3
Nitrato	mg/L	<b>0,5</b>	± 0,4	<b>0,3</b>	± 0,2	<b>0,1</b>	± 0,15	29	76,5
<i>E. Coli</i>	NMP/100 mL	<b>237,9</b>	± 592,3	<b>200,0</b>	± 549,9	<b>170,5</b>	± 533,8	20	28,3

E(%) = Eficiência global do sistema

Fonte: Elaborado pelo autor (2012).

Os resultados obtidos na caracterização da qualidade da água cinza antes e após o tratamento apresentaram uma grande amplitude de valores, principalmente nas concentrações de sólidos totais, ortofosfato e coliformes fecais. A variação destas concentrações ocorreu mais significativamente nos primeiros meses de funcionamento do sistema.

Além disto, alguns picos foram registrados devido a eventos isolados na rotina de lavagem de roupas da família. A seguir serão apresentados e discutidos os resultados obtidos para cada parâmetro considerando os três pontos de coleta e análise de água cinza durante o seu tratamento, são eles: água cinza bruta (ACB), efluente do Tanque séptico (ETS) e efluente do wetland ou filtro plantado (EFF).

#### 4.4.1 Características Físicas da Água Cinza

Os parâmetros físicos analisados foram divididos em quatro grupos:

- Sólidos suspensos totais (SST)
- Sólidos totais (ST)
- Sólidos voláteis (SV)
- Sólidos fixos (SF)

A associação de diferentes mecanismos de remoção de sólidos contribuíram para uma eficiência global de aproximadamente 45% para sólidos totais. A baixa eficiência encontrada refere-se a dificuldade de remoção da parcela de sólidos fixos (minerais) que foi apenas 22%, enquanto que a porção de sólidos voláteis (orgânicos) atingiu quase 80% de eficiência média após o tratamento secundário, onde ocorreu a maior parcela da remoção observada.

De acordo com os dados pode-se afirmar que a água cinza bruta possui significativa parcela de matéria orgânica representada pela concentração de sólidos totais voláteis (437 mg/L) que, apesar do desvio padrão alto, na média representam quase a metade de todos os contaminantes existentes na água, exceto os gases dissolvidos.

O valor médio da concentração de sólidos totais antes do tratamento foi igual a 918,5 mg/L, valor próximo ao obtido por outros autores que estudaram água cinza exclusivamente proveniente da lavanderia indicando inclusive, em alguns casos, valores superiores aos obtidos nesta pesquisa (MAGRI *et al*, 2009; SIEGRIST *et al*, 1976 *apud* ERIKSSON, 2002). Na Tabela 27 pode-se visualizar o comparativo dos resultados obtidos para vários autores que retrataram pesquisas com efluentes de fontes semelhantes.

Tabela 27 - Concentração de sólidos para o efluente bruto da lavagem de roupas para diferentes autores.

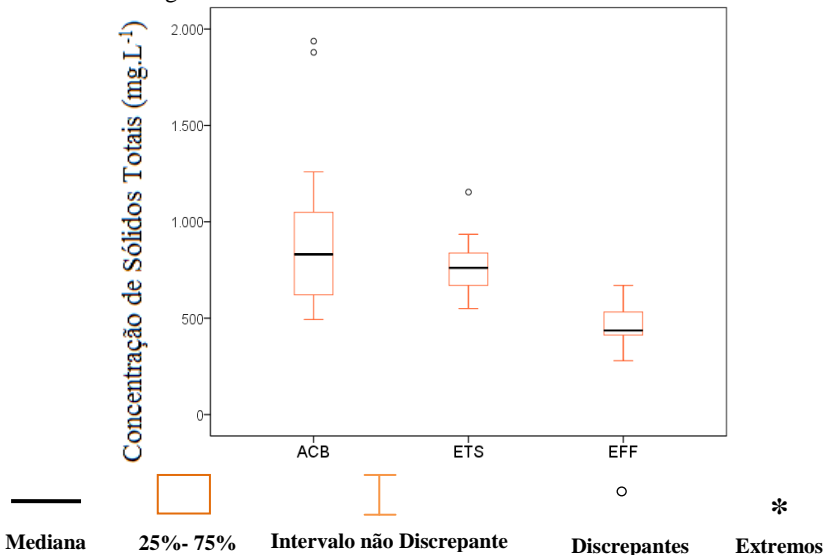
Parâmetros	Unidade	Esta	Magri <i>et al</i>	Li <i>et al</i>	Jamrah <i>et al</i>	Bazzarella	Siegrist <i>et al</i> .
		Pesquisa (2012)	(2009)	(2009)	(2007)	(2005)	(1976)*
SST	mg/L	234,0	143,0	266,0	244,0	221,0	280,0
ST	mg/L	918,5	1353,8	-	-	1862,0	1340,0

\* Apud Eriksson, 2002

Fonte: Elaborado pelo autor (2012).

As Figuras 33, 34 e 35 mostram a remoção de sólidos totais, fixos e voláteis, respectivamente, obtidas no sistema em cada etapa do tratamento empregado na água cinza.

Figura 33 - Resultados da concentração de sólidos totais em cada etapa do tratamento da água cinza.



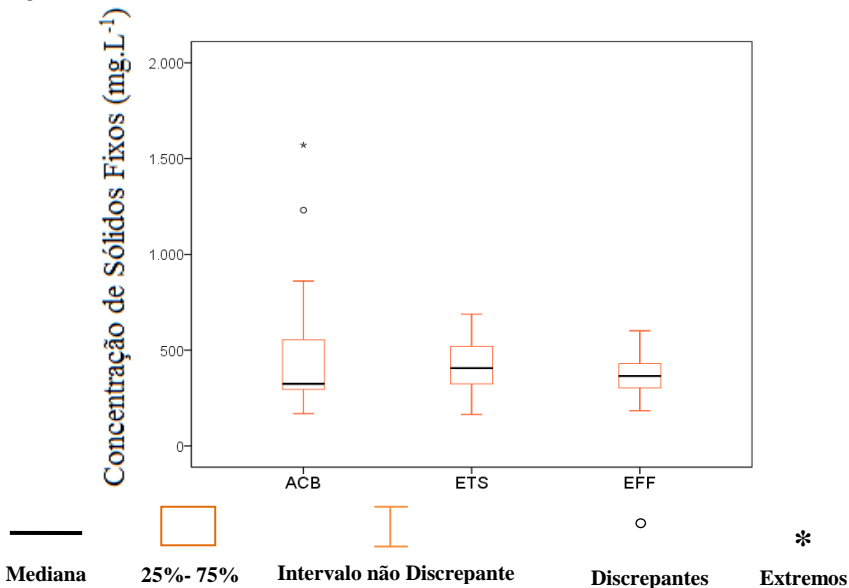
Fonte: Elaborado pelo autor (2012).

Os sólidos totais na agricultura devem ser controlados para de evitar o processo de perda da capacidade de infiltração dos solos devido

à presença excessiva de sais dissolvidos. A irrigação com águas com concentrações de sólidos totais entre 500 e 1000 mg/L podem causar problemas as espécies agrícolas mais sensíveis enquanto que valores superiores podem tornar impraticável a irrigação ao longo do tempo, principalmente em solos menos permeáveis, devido a sua saturação. Para estes valores também são relatados problemas relacionados a obstrução nos sistemas mecanizados de irrigação. (BASTOS & BEVILACQUA, 2006).

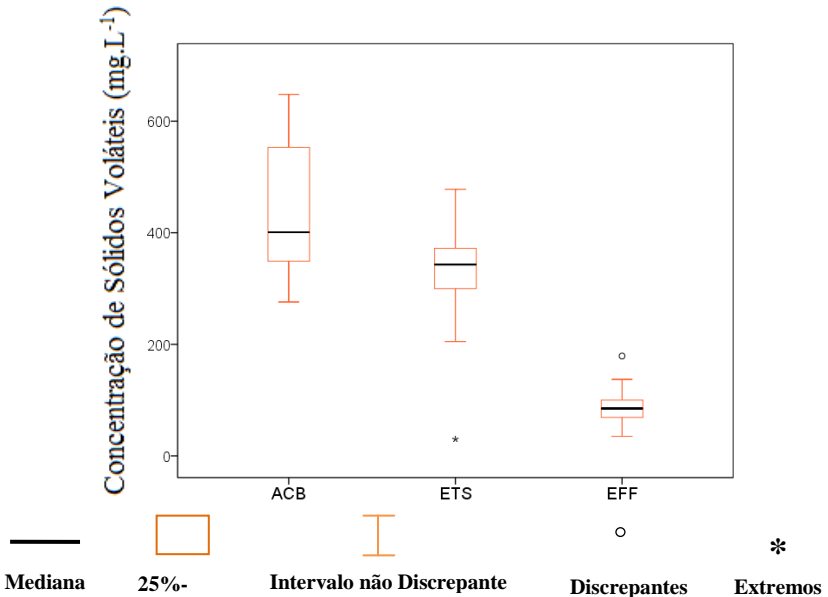
Porém, segundo Blum (2003), para os valores de sólidos dissolvidos totais abaixo de 500,0 mg/L não se observa nenhum efeito prejudicial relevante, confirmando o potencial das fontes alternativas estudadas, onde a maior concentração média obtida foi de 469,8 mg/L para a água cinza tratada, conforme relatado.

Figura 34 - Concentração de sólidos totais fixos em cada etapa do tratamento da água cinza.



Fonte: Elaborado pelo autor (2012).

Figura 35 - Concentração de sólidos totais voláteis em cada etapa do tratamento da água cinza.

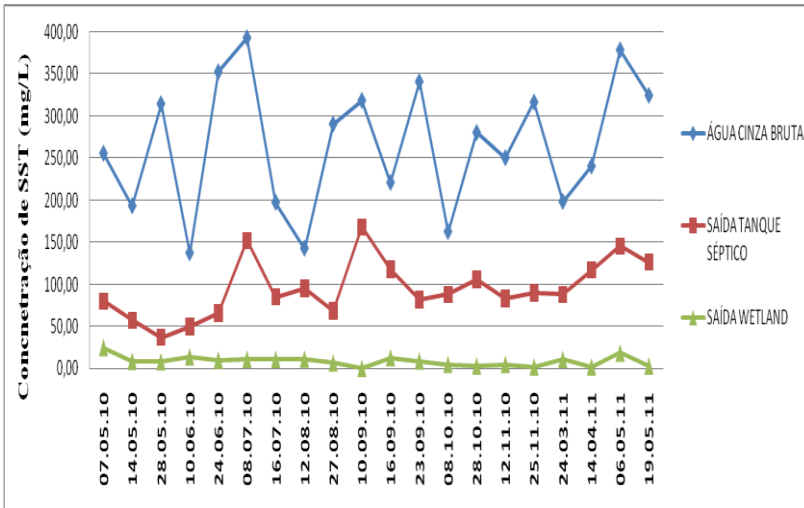


Fonte: Elaborado pelo autor (2012).

Como descrito anteriormente, grande parte da transformação ou eliminação da matéria orgânica no tratamento primário refere-se à associação de processos físicos e biológicos. A remoção dos sólidos em suspensão, por exemplo, ocorre dentro do tanque séptico principalmente devido à separação de fases e o crescimento bacteriano, este último responsável pela formação flocos microbianos maiores que tendem a precipitar. Esse e outros fenômenos contribuem diretamente para que cerca de 54% dos sólidos suspensos sejam retidos antes de atingirem o filtro plantado, evitando uma possível colmatação precoce do leito filtrante.

No gráfico da Figura 36 pode-se verificar que apesar da grande amplitude e variação de valores obtidos para a água cinza bruta ao longo do monitoramento, o tratamento primário ajudou a diminuir sensivelmente a variação na concentração dos sólidos suspensos, produzindo efluentes com a maioria das concentrações média entre 50 mg/L e 180 mg/L, também sempre inferiores a 200 mg/L.

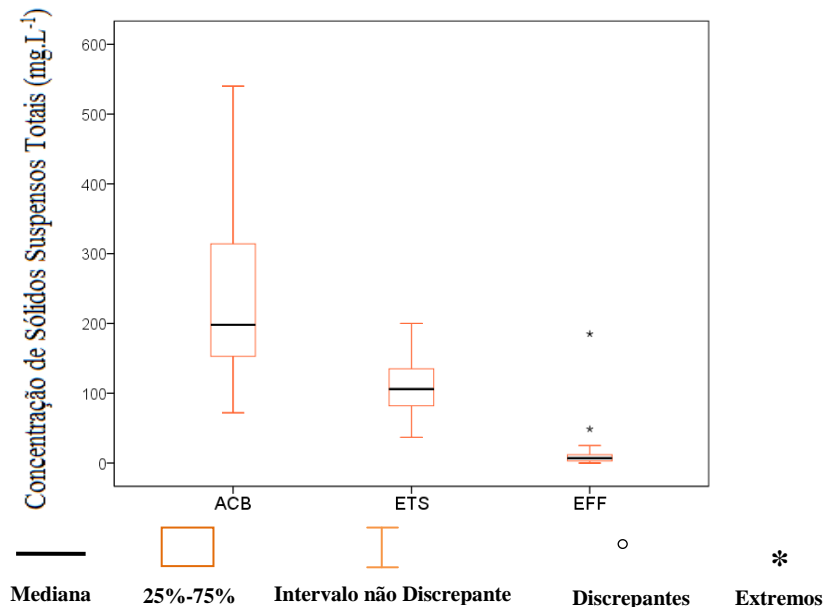
Figura 36 - Variação da concentração de sólidos suspensos para cada etapa do tratamento.



Fonte: Elaborado pelo autor (2012).

A remoção dos sólidos suspensos e dos sólidos totais após o tanque séptico ocorre no tratamento secundário por filtração (retenção e adsorção), metabolismo microbiano (biofilme) ou, em menor proporção, consumo pelas macrófitas plantadas no filtro (assimilação bioquímica). A eficiência global de sólidos suspensos do sistema avaliado foi de aproximadamente 94%, produzindo um efluente final de 13,9 mg/L. Este valor cumpre a alguns padrões internacionais para reúso desta água no bacio sanitário (EPA, 2004 e NSW HEALTH, 2002), no entanto ainda é superior aos 5,0 mg/L recomendados pelo manual ANA, FIESP & SIDUSCOM (2005). A Figura 37 mostra a efetiva remoção obtida no sistema em cada etapa do tratamento.

Figura 37 - Concentração de sólidos suspensos totais em cada etapa do tratamento da água cinza.



Fonte: Elaborado pelo autor (2012).

Quando comparada com o esgoto doméstico, a água cinza da lavanderia possui concentrações de SST e ST médias semelhantes às de um esgoto médio (230 mg/L) e forte (1160 mg/L), respectivamente, conforme descrito por Jordão & Pessôa (2005).

Philippi *et al* (1999 e 2006), avaliaram a eficiência de quatro sistemas de saneamento implantados em diferentes zonas rurais de Santa Catarina. Estes sistemas eram compostos por tanque séptico seguido de filtro plantado com macrófitas para tratamento de esgoto doméstico e apresentaram eficiência na remoção de sólidos suspensos superiores à 52%, com destaque para o sistema localizado no município de Tubarão, onde a remoção média foi de 87% devido à alta concentração de entrada (640 mg/L).

Na irrigação de culturas de forma mecanizada ou por sistemas de mangueira com difusor é possível ocorrer obstruções sistemáticas quando estes são alimentados com águas de elevada concentração de sólidos suspensos totais. Valores acima de 30,0 mg/L podem representar

um fator de risco para agricultura devido ao desperdício de tempo para solucionar os problemas relatados (USEPA, 2004).

Alguns autores são mais tolerantes e indicam que valores entre 50 e 100 mg/L para a concentração de sólidos suspensos totais que representam uma restrição classificada entre ligeira e moderada, enquanto que valores acima de 100 mg/L significam uma restrição severa ao seu uso ( WCPF 1989; AYERS & WESTCOT, 1991 *apud* BLUM, 2003). Novamente todas as fontes alternativas testadas na presente pesquisa apresentaram valores bastante inferiores aos que poderiam causar algum prejuízo, já que a água cinza teve uma grande remoção de sólidos suspensos após seu tratamento com valor médio final de apenas 13,9 mg/L.

#### **4.4.2 Avaliação Química da Água Cinza e seu Tratamento**

Os parâmetros químicos analisados foram divididos em cinco grupos:

- Compostos Nitrogenados
- Ortofosfatos
- Compostos orgânicos e inorgânicos (DQO)
- Outros: pH e alcalinidade

##### **4.4.2.1 Compostos Nitrogenados**

Pode-se dizer que a concentração de compostos nitrogenados na água cinza é relativamente baixa com relação aos esgotos domésticos. Isto se deve a ausência de urina na água cinza, já que esta é a principal fonte de nitrogênio no efluente doméstico (GONÇALVES, 2006). Jordão e Pessôa (2005), apresentaram valores de nitrogênio total Kjeldahl, amônia, nitrito e nitrato de 40 mg/L, 20 mg/L, 0,05 mg/L e 0,2 mg/L para esgotos domésticos médios, respectivamente. Estes valores também demonstram que nos esgotos domésticos, assim como na água cinza, em geral, não são encontradas altas concentrações de nitritos e nitratos, pois o processo de transformação dos compostos orgânicos nitrogenados em moléculas inorgânicas (nitrificação), exigem oxigênio e crescimento de fauna microbiana específica, o que retarda este processo.



As formas de nitrogênio analisadas nesta pesquisa foram o nitrito ( $\text{NO}_2$ ), nitrato ( $\text{NO}_3$ ) e a amônia ( $\text{NH}_3$ ). Conforme previsto, não foi constatada, de maneira significativa, a ocorrência de processos de nitrificação nos efluentes, já que sistema trata efluentes recentes em ambiente predominantemente anaeróbio. Desta forma, o nitrito e o nitrato apresentaram valores médios entre de 0,5 mg/l e 0,1 mg/L, praticamente desprezíveis em relação ao que preconiza o manual da ANA, FIESP e SINDUSCON (2005) para reuso de classe 2, que deve ser menor que 10mg de nitrato por litro de efluente tratado.

No sistema estudado, o nitrogênio amoniacal apresentou valores médios pouco mais elevados para o efluente bruto da lavanderia (6,5 mg/L) com relação ao observado para a maioria dos autores consultados, onde os resultados foram em torno de 1,0 a 3,0 mg/L para a concentração de amônia de efluentes do tanque e máquina de lavar roupas (MAGRI, 2009 ; BAZZARELLA, 2009 & CHRISTOVA-BOAL *et al*, 1996).

De maneira geral, as concentrações de nitrogênio amoniacal variam muito de autor para autor, podendo atingir valores bem superiores aos obtidos neste estudo. Um destaque para os altos valores obtidos no efluente do tanque de lavar roupas na pesquisa desenvolvida por Gonçalves e Bazzarella (2005), nesta ocasião foram relatados uma grande amplitude de concentrações de amônia, variando entre 1,1 mg/L até 15,2 mg/L . A Tabela 28 dispõe diferentes valores para concentração dos compostos nitrogenados avaliados nesta e em outras análises de água cinza proveniente da lavagem de roupas (máquina e/ou tanque de lavar roupas).

Tabela 28 - Concentrações de amônia, nitrito e nitrato de água cinza bruta proveniente do tanque e/ou máquina de lavar roupas em diferentes pesquisas.

Parâmetros	Unidade	Esta Pesquisa (2012)	Magri <i>et al</i> (2009)	Bazzarella (2005)	Almeida <i>et al</i> (1999)*	Surendran & Wheatley (1998)**	Butler <i>et al</i> (1995)*	Siegrist <i>et al</i> . (1976)**
N. Amoniacal	mg/L	6,5	2,5	1,5	2,0	10,7	10,0	0,7
Nitrito	mg/L	0,3	1,4	0,1	-	-	-	-
Nitrato	mg/L	0,5	2,2	0,5	2,0	1,6	1,9	0,6

\* Apud GONÇALVES (2006) \*\* Apud ERIKSSON *et al* (2002).

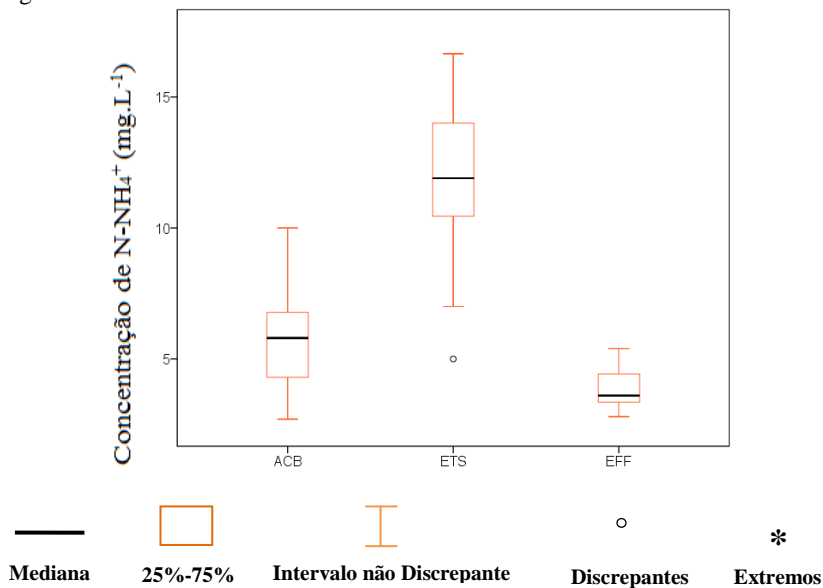
Fonte: Elaborado pelo autor (2012).

No efluente do tanque séptico, ocorreu uma significativa mudança na concentração do nitrogênio amoniacal, passando a apresentar 13,5 mg/L, ou seja, mais que o dobro do valor para o efluente bruto. Cabe salientar que também foram registradas certas variações ao longo do período de monitoramento, como pode indicar o elevado desvio padrão obtido na concentração da amônia da saída do tanque séptico. O motivo desta variação pode estar relacionado com processos físicos e biológicos, que interferem na transformação dos compostos orgânicos de nitrogênio. O ambiente do tanque séptico é mais propício para o crescimento bacteriano em função da temperatura e do pH, próximo da neutralidade, condição que também interfere quimicamente na transformação de compostos nitrogenados em amônia, principalmente na sua forma ionizada (VON SPERLING, 2005).

Apesar da elevação na concentração da amônia após o tanque séptico o sistema de tratamento instalado obteve cerca de 50% de eficiência global de remoção para este parâmetro. Ao passo que a eficiência isolada do filtro plantado com macrófitas foi de cerca de 73%, revelando que esta etapa do tratamento também possui características remoção de um tratamento terciário, quando associado a remoção de DQO.

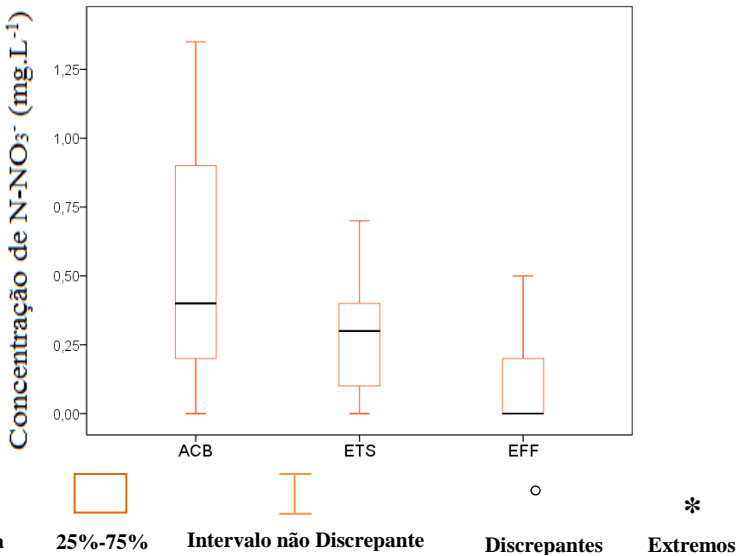
As Figuras 38 e 39 apresentam os resultados obtidos para a concentração de compostos nitrogenados analisados em cada etapa do tratamento empregado.

Figura 38 - Concentração de amônia ( $\text{NH}_3$ ) em cada etapa do tratamento da água cinza.



Fonte: Elaborado pelo autor (2012).

Figura 39 - Concentração de nitrato ( $\text{N-NO}_3$ ) em cada etapa do tratamento da água cinza.



Fonte: Elaborado pelo autor (2012).

#### 4.4.2.2 Presença de Ortofosfatos na Água Cinza

Os compostos que apresentam fósforo em sua estrutura ocorrem na maioria dos efluentes domésticos devido à decomposição de alimentos e a presença produtos de limpeza. De acordo com Bazzarella (2005), as principais fontes de fósforo na água cinza são detergentes e outros produtos químicos contendo fosfatos. Isso explica o fato de que os valores encontrados nas amostras de tanque e máquina de lavar são, na maioria dos casos, superiores aos obtidos para água cinza analisada, a qual possui concentração média de ortofosfato igual a 9,0 mg/L. Esta concentração é semelhante as características descritas para esgotos domésticos cujo o valor típico encontra-se em torno de 10,0 mg/L (JORDÃO E PESSÔA, 2005). Para água cinza bruta analisada nesta pesquisa, o valor médio da concentração de ortofosfato foi bem superior cerca de 82,9 mg/L.

Outra característica observada para a concentração de fósforo na forma de ortofosfato, foi a grande variação ao longo do programa de monitoramento, apresentando valores mínimos igual a 16,5 e máximos de até 188,1 mg/L. Este comportamento foi associado a variações no

volume de água e produtos de químicos utilizados para cada quantidade e qualidade de tecidos lavados. A literatura dispõe de valores bastante discrepantes com relação aos ortofosfatos da água cinza bruta. Enquanto a maioria dos autores aponta para concentrações entre 15,0 e 32,0 mg/L. A Tabela 29 apresenta a variação dos valores na concentração de ortofosfatos (PO<sub>4</sub>) para efluentes da lavagem de roupas em diferentes pesquisas.

Tabela 29 - Concentrações de ortofostatos na água cinza bruta proveniente do tanque e/ou máquina de lavar roupas em diferentes pesquisas.

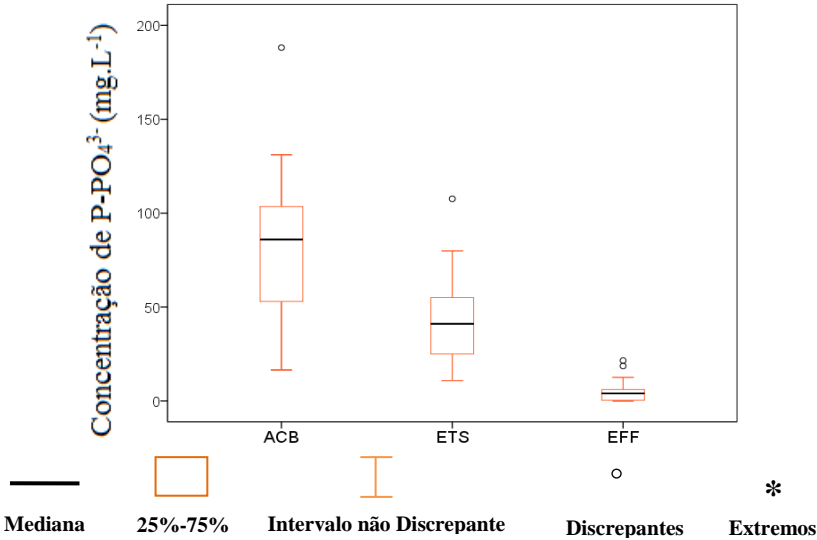
Parâmetros	Unidade	Esta Pesquisa (2012)	Butler <i>et al</i> (1995) <sup>1</sup>	Siegrist <i>et al</i> (1976) <sup>1</sup>	Surendran & Wheatley (1998) <sup>2</sup>	Laak (1974) <sup>2</sup>
Ortofostato (PO <sub>4</sub> )	mg/L	82,9	32,0	15,0	101,0	171,0

1. Bazzarella (2005) 2. Apud ERIKSSON *et al* (2002).

Fonte: Elaborado pelo autor (2012).

De maneira geral os valores obtidos nesta pesquisa para o efluente bruto estão dentro da faixa observada por diversas pesquisas, correspondendo a um resultado dentro da média esperada quando trata-se de água bruta proveniente da lavagem de roupas. No tratamento primário a eficiência alcançada foi de aproximadamente 47%, porém também houve uma significativa diminuição na amplitude dos valores encontrados, ratificando o potencial de amortecimento de cargas do tanque séptico. Este fato pode ser observado na Figura 40, que apresenta o gráfico com os resultados do monitoramento da qualidade da água cinza em termos de concentração de ortofosfatos para a entrada e saída dos reatores.

Figura 40: Concentração de ortofosfato em cada etapa do tratamento da água cinza.



Fonte: Elaborado pelo autor (2012).

O destaque maior encontra-se no tratamento secundário, onde ocorreu a maior porcentagem de remoção de ortofosfato, produzindo um efluente final com um valor médio de  $4,6 \pm 5,0$  mg/l, ou seja uma eficiência do sistema de 94,5% entre o efluente bruto e após FPM. Pode-se dizer que este comportamento já era esperado para os primeiros dois anos de operação deste tipo de sistema, já que até que haja a saturação do leito filtrante a porcentagem de remoção é bem mais significativa e após este período, verifica-se novamente a liberação do fósforo no ambiente.

#### 4.4.2.3 Caracterização do pH da Água Cinza

O Potencial Hidrogeniônico (pH) do efluente bruto foi um dos parâmetro que mais apresentou variação, na maioria dos casos com valores acima da neutralidade, apresentando um valor médio de  $8,0 \pm 1,0$ . Diversos autores relatam que a água cinza em geral, apresentam características alcalinas similares a obtida nesta pesquisa (TRAVIS *et al*, 2010; JAMRAH *et al*, 2007 e ERIKSON *et al*, 2002). Porém, quando a água cinza é analisada separadamente de acordo com sua origem e

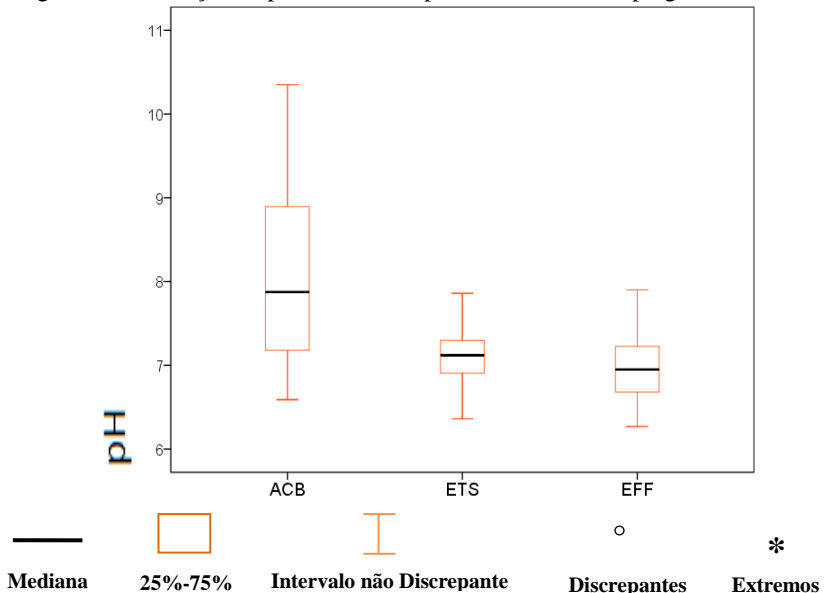
composição, percebe-se que as águas provenientes dos banheiros e da cozinha apresentam valores próximos da neutralidade ou até ácidos em relação às águas de lavanderia.

Bazzarella (2005), relata que para água cinza proveniente da cozinha valores de pH podem variar entre 4,2 e 5,9, enquanto que os valores referentes aos efluentes da máquina de lavar são bem mais alcalinos, variando entre 7,9 a 9,7. Christova-Boal *et al* (1996) obteve valores elevados de pH entre 9,3 a 10,0 para águas provenientes da lavagem de roupas.

Ao longo do sistema de tratamento foram constatados valores mais estáveis e sempre próximos da neutralidade indicando a capacidade do sistema em estabilizar as variações indesejadas, uma vez que valores de pH afastados da neutralidade podem debilitar o crescimento das bactérias que auxiliam na depuração da matéria orgânica e incentivar a proliferação de algas em corpo d'água. (VON SPERLING, 2005).

A Figura 41 apresenta os resultados do monitoramento da variação de pH no efluente bruto e a cada etapa do sistema de tratamento implantado.

Figura 41 – Variação de pH em cada etapa do tratamento empregado.



Fonte: Elaborado pelo autor (2012).

O pH constituiu-se num parâmetro importante no controle da qualidade da água utilizada para irrigação, pois sua capacidade de alterar as condições de acidez e alcalinidade no solo pode prejudicar certas espécies vegetais mais sensíveis. No entanto, devido ao amplo espectro de tolerância deste parâmetro (6,5 a 8,4) (BASTOS & BEVILACQUA, 2006), a possível influência negativa do pH para uma determinada cultura acaba sendo de forma indireta. A exemplo do que ocorre com metais pesados, que podem elevar o seu grau de toxicidade para certos valores de pH. (CROOK, 1993 *apud* BLUM, 2003).

#### 4.4.2.4 Caracterização da Alcalinidade da Água Cinza

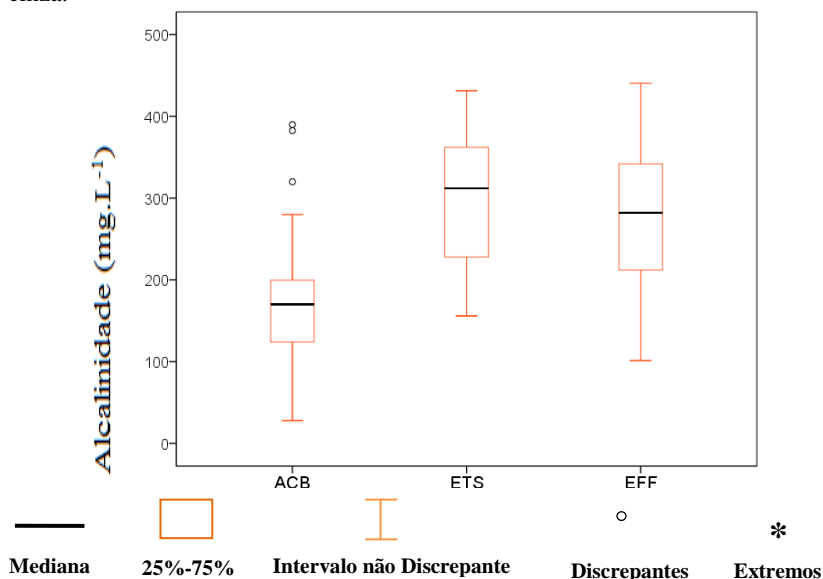
O maior contribuinte para a alcalinidade está nos sólidos dissolvidos na forma de bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ), carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) e hidróxidos ( $\text{OH}^-$ ). Os resultados obtidos para este parâmetro mostram valores dentro da faixa esperada de acordo com outros estudos, inclusive comparando com esgoto doméstico. Para Jordão e Pessoa (2005), esgotos sanitários médios apresentam concentração típica de 140 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ , variando numa faixa de 110 a 220 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ , enquanto que para Von Sperling (2005) os valores são superiores e variam entre 100 a 250 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ , culminando no valor típico de 200 mg/L de  $\text{CaCO}_3$  para esgotos domésticos sem segregação.

Em termos de água cinza da lavagem de roupas bruta (*laundrywater*) os valores também são semelhantes na bibliografia especializada, onde destacam-se os trabalhos de Magri *et al* (2009) e Bazzarella (2005) onde analisando exclusivamente máquina de lavar obteve-se uma média de 156,9 mg/L de  $\text{CaCO}_3$  e 74,2 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ , respectivamente. O segundo autor, no entanto, analisando somente o efluente do tanque de lavar roupas encontrou um valor bem superior ao da máquina de lavar para a alcalinidade, correspondendo a 206,9 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ .

A Figura 42 dispõe os resultados obtidos no monitoramento da concentração da alcalinidade em cada etapa do tratamento.



Figura 42 - Concentração de alcalinidade em cada etapa do tratamento da água cinza.



Fonte: Elaborado pelo autor (2012).

Conforme demonstrado, os valores de entrada estão de acordo com a bibliografia, porém após a permanência no tanque séptico e no filtro plantado, a concentração aumenta para valores próximo de 300 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ . Este fenômeno se deve a variação de pH e a liberação de  $\text{H}^+$  que ocorre durante o tratamento anaeróbio.

#### 4.4.3 Demanda Química de Oxigênio na Água Cinza

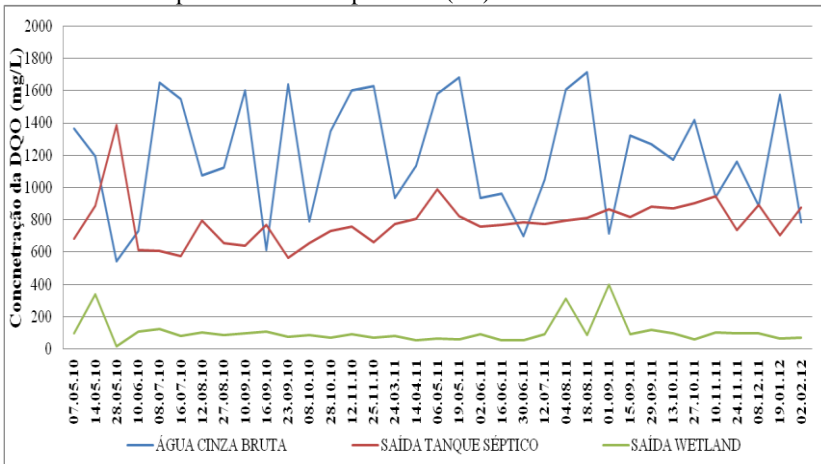
Os compostos orgânicos estão presentes na água cinza devido a processos de higiene pessoal humana. A maior parte dela é oriunda de resíduos de alimento, óleos e gorduras, resíduos corporais, cabelo, sabão etc. Já a matéria inorgânica provém principalmente dos produtos químicos e detergentes utilizados para limpeza (GONÇALVES, 2006).

Para a remoção de  $\text{DQO}_{\text{total}}$ , que representa indiretamente a quantidade de oxigênio necessária à oxidação química da matéria orgânica carbonácea, o tratamento empregado na água cinza apresentou boa eficiência, com cerca de 91% de remoção final. Destaque para as altas concentrações de DQO no efluente bruto (1199 mg/L), a qual

atingiu valores bem superiores aos encontrados para esgoto doméstico convencional, que variam entre 400 a 800 mg/L com valor típico de 700 mg/L para esgotos de características médias (VON SPERLING, 2005).

A Figura 43 apresenta um gráfico com a significativa variação da DQO<sub>total</sub> no efluente bruto ao longo do tempo, fato que pode estar relacionado com as alterações na rotina da lavagem de roupas, ou ainda em função da contaminação de roupas por atividades agrícolas esporádicas, como por exemplo a limpeza de currais. No entanto, valores médios semelhantes ou até superiores aos obtidos nesta pesquisa também podem ser encontrados na bibliografia.

Figura 43 - Variação temporal na demanda química de oxigênio (DQO) para o efluente bruto e após o tratamento primário (TS).



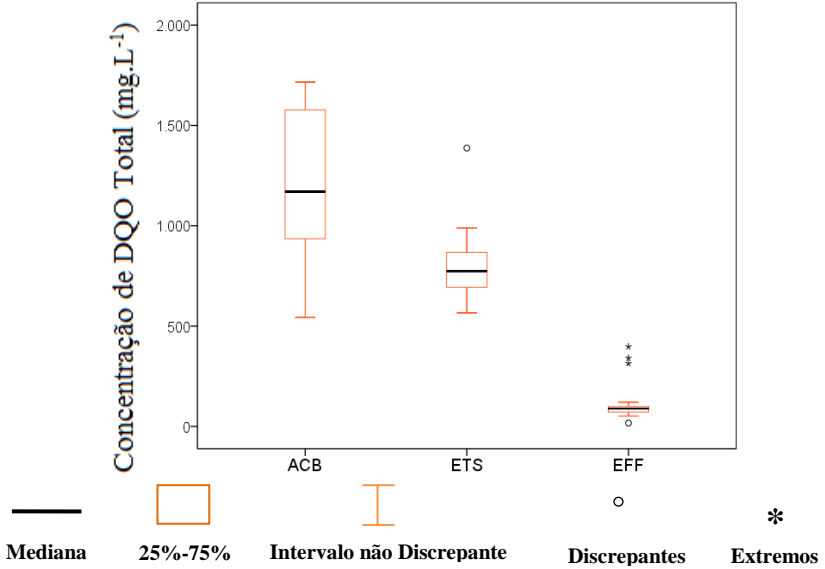
Fonte: Elaborado pelo autor (2012).

Almeida *et al* (1999) avaliaram a qualidade da água cinza de diferentes fontes domésticas segregadamente, descrevendo uma concentração média de DQO<sub>total</sub> igual a 1815 mg/L para o efluente bruto de máquina de lavar roupas. No referido estudo, os valores de DQO<sub>total</sub> obtidos para as águas provenientes da lavanderia foram superiores aos demais pontos de geração de água cinza, neste caso cozinha e banheiros.

Segundo Gonçalves (2006), nos sistemas de tratamento anaeróbios ocorre a maior parte da conversão da matéria orgânica biodegradável em biogás e biomassa bacteriana. O sistema primário de tratamento foi responsável pela remoção de apenas 34% da concentração de DQO<sub>total</sub>, valor um pouco abaixo do mínimo esperado

para tanque séptico convencional. No entanto Philippi *et al* (1999) também relatam porcentagens de remoção de  $DQO_{total}$  muito semelhantes as obtidas, porém no tratamento de esgoto doméstico convencional em unidades rurais em Santa Catarina. Neste último caso ocorreu uma remoção de 33% da  $DQO_{total}$  no tanque séptico e 71% de remoção global após o tratamento por filtros plantados (Figura 44).

Figura 44 – Concentração de DQO em cada etapa do tratamento empregado.



Fonte: Elaborado pelo autor (2012).

Apesar da alta eficiência na remoção global da DQO relatada na presente pesquisa (91%), o efluente final ainda apresenta valores de DQO elevados (105,2 mg/L) em relação ao preconizado para padrões de reuso com contato direto, tipo classe 1 e 2, onde a DQO máxima permitida é 75,0 mg/L (ANA, FIESP e SINDUSCON, 2005 ; ABNT, 1997).

#### 4.4.4 Presença de Coliformes Fecais na Água Cinza

A contaminação biológica é um dos principais problemas relacionados ao reuso de águas servidas, devido à preocupação com a segurança de usuários e daqueles que manuseiam a água para seu reuso.

Os mecanismos utilizados para a determinação de organismos patogênicos presentes numa determinada água que não passou por nenhum processo controlado de desinfecção são variados e consistem na contagem de indivíduos. Portanto a detecção de organismos patogênicos em uma amostra d'água é extremamente difícil, pois demanda grandes volumes de amostra e de tempo de análise para que, eventualmente, poucos indivíduos sejam detectados (VON SPERLING, 2005).

Os valores relacionados a contaminação biológica da água cinza por coliformes fecais (*Escherichia coli*) apresentaram grande variação associada a eventos da rotina de lavagem de roupas na residência, como a limpeza de roupas de trabalho no campo, por exemplo. Valores na ordem de  $10^3$  e  $10^4$  têm sido relatados para efluentes da lavagem doméstica de roupas (PHILIPPI *et al*, 2010; ERIKSSON *et al*, 2002). Porém, ainda assim, esta contaminação neste tipo de efluente é geralmente inferior e com menor possibilidade de contaminação do que o verificado nos esgotos, já que estes apresentam valores para coliformes totais e *E. coli* nas faixas de  $10^6$  a  $10^9$  NMP/100ml e  $10^5$  a  $10^8$  NMP/100ml, respectivamente (VON SPERLING, 2005).

O valor médio de coliformes fecais do efluente bruto foi em torno de 238,0 NMP/100ml, apesar da distribuição de valores ao longo do tempo ter sido bastante irregular o que refletiu em um alto desvio padrão na análise estatística. Este fato também foi relatado em outras experiências com efluente o mesmo tipo de efluente. Constatou-se que ocorreu a contaminação por coliformes totais no efluente da máquina de lavar roupas, no entanto, com relação à *Escherichia coli*, todos os pontos apresentaram valores mais baixos. Ainda assim, a variação dos valores ocorreu de forma significativa em relação a presença tanto de coliformes totais quanto dos fecais. A amplitude de valores obtidos na análise microbiológica para detecção de coliformes em água cinza exclusivamente proveniente da lavagem de roupas para os autores consultados pode ser visualizada na Tabela 30.

Tabela 30 - Concentrações de coliformes totais e coliformes fecais (*Escherichia coli*) na água cinza bruta proveniente do tanque e/ou máquina de lavar roupas em diferentes pesquisas.

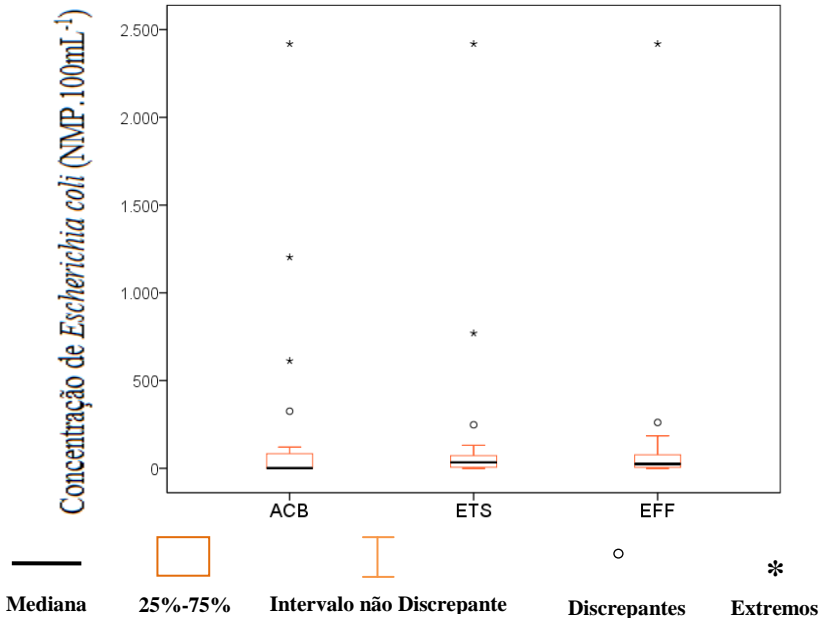
Parâmetros	Unidade	Esta Pesquisa (2012)	Magri <i>et al</i> (2009)	Christoval-Boal (1998)	Surendran & Wheatley (1998)*	Siegrist <i>et al</i> . (1976)*
Coliformes totais	NMP/100ml	-	$2,4 \times 10^6$	$2,3 \times 10^3 - 3,3 \times 10^5$	$7,0 \times 10^5$	85,0 - $8,9 \times 10^5$
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100ml	237,9	$1,2 \times 10^5$	110- $1,0 \times 10^4$	728,0	9,0 - $1,6 \times 10^4$

\* Apud ERIKSSON *et al* (2002).

Fonte: Elaborado pelo autor (2012).

No Brasil existe a obrigatoriedade da adoção de processos de desinfecção do efluente para os tipos de reuso propostos para classe que permitem o contato direto em seu manuseio. Apesar disso, não há uma obrigatoriedade na desinfecção das águas para os tipos de reuso menos exigentes, apesar dos valores permitidos para a concentração de coliformes fecais serem relativamente baixas. Este fato reforça a necessidade de tratamento da água cinza antes de sua aplicação planejada. A Figura 45 sintetiza os valores obtidos quanto a presença de *Escherichia coli* obtidos no monitoramento do sistema de tratamento empregado.

Figura 45 – Concentração de *Escherichia coli* em cada etapa do tratamento empregado



Fonte: Elaborado pelo autor (2012).

Como pode ser observado pelos resultados, o sistema construído obteve uma remoção gradual dos microrganismos analisados a cada etapa do tratamento. A eficiência global foi baixa com aproximadamente 30% em relação a entrada e saída, mas devido a baixa concentração média de *E. coli* da água cinza bruta, foi o suficiente para atingir uma média de 170,5 NMP/100ml. Desta forma, é possível enquadrar o efluente final em classes que não exigem desinfecção pelas normas brasileiras. Ou seja, as classes 3 e 4 que exigem valores para *E. coli* inferiores a 200 NMP/100ml e 500NMP/100ml, respectivamente (ABNT, 1997).

O valor obtido também contempla normatizações feitas para o Canadá visando reuso predial (bacio sanitário), que de acordo com CMHC (2004) *apud* BAZZARELLA (2005) deve ser no máximo 200 NMP/100ml, sem a necessidade de desinfecção e cloro residual obrigatórios como já ocorre em diversos países.

A Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 357 de 2005, classe 3, determina que para dessedentação de animais criados confinados não deverá ser excedido o limite de 1000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 6 amostras, coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral (BRASIL, 2005). Esta condição foi verificada para o efluente tratado, porém outros parâmetros recomendados não foram analisados.

Para fins agrícolas os padrões internacionais levam em consideração uma série de indicadores biológicos, muitos dos quais a identificação é mais complexa, dentre estes os principais estão: rotavírus, *campylobacter*, *cystosporidium* (FLORÊNCIO *et al*, 2006). Na presente pesquisa o único parâmetro biológico analisado foi a concentração de *E. coli*, para o qual o efluente final produzido apresentou características médias bem abaixo do limite máximo remendado pela OMS para o reuso mais exigente considerado (irrigação irrestrita de raízes e tubérculos), cujo máximo recomendado pela organização para *E. coli* é 1000 NMP/100ml (WHO, 2006).

Diante do grande numero de referências, legislações e recomendações que abordam os requisitos de qualidade da água para seu reuso residencial e agrícola foi necessário organizar e tornar mais fácil o entendimento das diversas possibilidades e restrições de reuso de água no Brasil. Para tanto foi elaborada a Tabela 31 que sintetiza os resultados obtidos no monitoramento das fontes alternativas de água na propriedade piloto (água cinza tratada e água de chuva armazenada) com relação às normas e recomendações vigentes.

Tabela 31: Resumo das características da água cinza tratada e água da chuva armazenada com relação às normas de qualidade e os parâmetros analisados.

Parâmetros	Fonte Alternativa	Urbano Irrestrito		Predial		Agrícola Irrestrito		Agrícola Restrito
		Irrigação de ornamentais <sup>2</sup>	Limpeza de Pisos <sup>1</sup>	Lavagem de roupas <sup>1</sup>	Descarga do bacio sanitário <sup>1</sup>	Irrigação de Hortas (alimentos crus) <sup>3</sup>	Trato de animais <sup>5</sup>	Irrigação de culturas não ingeridas cruas e pomares <sup>4</sup>
<b>Volume Requerido</b>	ÁGUA DA CHUVA	-	-	200 L/d	124,0 L/d	35,0- 60,0 L/d	457,5 L/d	-
	ÁGUA CINZA TRATADA	10,4 L/d	42,7 L/d	-	-	-	-	-
<b>pH</b>	ÁGUA DA CHUVA	atende	atende	atende	atende	atende	atende	-
	ÁGUA CINZA TRATADA	atende	atende	atende	atende	atende	atende	-
<b>Sólidos Suspensos</b>	ÁGUA DA CHUVA	atende	atende	atende	atende	-	-	-
	ÁGUA CINZA TRATADA	não atende	não atende	não atende	não atende*	-	-	-
<b>Sólidos Totais</b>	ÁGUA DA CHUVA	-	-	atende	atende	-	-	-
	ÁGUA CINZA TRATADA	-	-	não atende	não atende	-	-	-
<b>DQO</b>	ÁGUA DA CHUVA	atende	-	-	-	-	-	-
	ÁGUA CINZA TRATADA	não atende	-	-	-	-	-	-
<b>Nitrito</b>	ÁGUA DA CHUVA	atende	atende	atende	-	-	-	-
	ÁGUA CINZA TRATADA	atende	atende	atende	-	-	-	-
<b>Nitrato</b>	ÁGUA DA CHUVA	-	atende	atende	atende	-	atende	-
	ÁGUA CINZA TRATADA	-	atende	atende	atende	-	atende	-
<b>Nitrogênio Amoniacal</b>	ÁGUA DA CHUVA	-	atende	atende	atende	-	atende	-
	ÁGUA CINZA TRATADA	-	atende	atende	atende	-	atende	-
<b>Fósforo Total</b>	ÁGUA DA CHUVA	-	atende**	-	atende**	-	-	-
	ÁGUA CINZA TRATADA	-	não atende**	-	não atende**	-	-	-
<b>Turidez</b>	ÁGUA DA CHUVA	-	atende	atende	atende	atende	atende	atende
<b>Alcalinidade</b>	ÁGUA DA CHUVA	atende	-	-	-	-	-	-
	ÁGUA CINZA TRATADA	não atende	-	-	-	-	-	-
<b>Coliformes totais</b>	ÁGUA DA CHUVA	-	-	-	-	-	-	-
<b>Coliformes fecais</b>	ÁGUA DA CHUVA	atende	não atende	não atende*	não atende*	atende	atende	atende
	ÁGUA CINZA TRATADA	atende	não atende	não atende*	não atende*	atende	atende	atende

\* Atendem somente requisitos da NBR 13969/97 \*\* Valores referentes ao ortofosfato.

(1) Classe 3 - ANA, FIESP & SIDUSCON (2005). (2) Classe 1 - ANA, FIESP & SIDUSCON (2005). (3) Referência: Classe 3 da NBR 13.969 (1997). (4) USEPA 2004. (5) Classe 3 - CONAMA n° 357 (2005)



## 5. CONCLUSÕES

Após um período de 22 meses de monitoramento de aproveitamento de água da chuva e do tratamento de água cinza pode-se concluir alguns aspectos importantes com relação à qualidade e quantidade da água proveniente de fontes alternativas e a eficiência dos sistemas instalados na propriedade rural estudada. Estes dados quando comparados com as normas vigentes permitem avaliar o potencial de usos das tecnologias propostas na geração de fontes alternativas de água para aplicações não potáveis no ambiente doméstico ou agrícola.

Para os resultados do monitoramento quantitativo do consumo e geração de água das fontes alternativas pode-se afirmar que apesar da variação de consumo constatada entre os dias úteis e os finais de semana, os valores médios obtidos estão de acordo com as faixas descritas na bibliografia para residências urbanas (ABNT, 1997). Porém a média obtida ainda está acima do esperado em ambiente rural. A faixa de valores encontrados para o consumo de dias úteis e finais de semana corresponde a uma residência padrão econômico médio a alto (142,7 L/hab.dia).

A água da chuva significa uma importante parcela de todo o volume de água atualmente consumida na propriedade (41%). Contribuindo efetivamente para a redução do consumo de água potável, principalmente no que diz respeito à demanda para lavagem de roupas, descarga do bacio sanitário externo à residência e irrigação das hortas caseiras, atividades atualmente exercidas com esta fonte.

O consumo médio da água de chuva para o período monitorado foi na faixa de 25% à 40% inferior que o projetado. Desta forma, além de suprir as atividades que já utilizam esta fonte, a chuva armazenada proporciona ainda um aporte de água disponível para outras atividades previstas, como a dessedentação e trato de animais ou outras não planejadas. A água cinza tratada também revelou-se como uma potencial fonte de água para fins menos exigentes, como a limpeza de piso e a irrigação de ornamentais, compondo cerca de 9% de toda o volume diariamente consumido. Sua produção ocorre de forma mais contínua e regular devido à rotina da lavagem de roupas o que é uma vantagem em relação à água de chuva.

No sistema de aproveitamento de chuva observou-se uma relevante remoção de sólidos e, conseqüentemente, diminuição dos valores de DQO, turbidez e coliformes para o reservatório, comprovando a eficiência do procedimento e mecanismo para o descarte dos primeiros 1,4mm de precipitação.

A água da chuva revelou uma qualidade superior à água cinza, inclusive em questões estéticas, comprovando sua potencialidade para aplicação com fins mais exigentes, como a lavagem de roupas ou atividades que exigem contato direto, bem como a agricultura irrestrita. A água no sistema de descarte também apresenta condições sanitárias para aplicação em fins não potáveis de menor exigência, tais como a irrigação e demais possibilidades da classe 4 (ABNT, 1997).

Todos os parâmetros físico-químicos analisados no reservatório de água de chuva enquadram-se nos limites estabelecidos nas normas técnicas vigentes. Para parâmetros como a DQO, turbidez e sólidos suspensos foram observadas concentrações cerca de 40 a 60% inferiores no reservatório em relação ao tanque de descarte. Porém, também foi constatada a presença de coliformes fecais no reservatório de água de chuva (38 NMP/100 mL) e devido à opção de não se adotar a desinfecção, a rigor, esta água não se enquadraria na classe 1 da ABNT (1997) ou mesmo nas exigências específicas para o aproveitamento da chuva dispostos na ABNT (2007).

Em relação à água cinza proveniente da lavagem de roupas e seu processo de tratamento, concluiu-se que esta apresentou grande variação em vários parâmetros analisados. Esta variação pode ser atribuída principalmente devido a eventos na rotina da lavagem de roupas que interferem na dosagem de produtos químicos de acordo com os tipos de tecido e seus usos. Isto ocorre quando as roupas utilizadas na agricultura são lavadas, eventos em que se observam maiores concentrações de coliformes fecais e sólidos, por exemplo.

O tanque séptico demonstrou boa eficiência como tratamento primário quando mantidos os parâmetros de dimensionamento utilizados para esgoto doméstico. Houve destaque na eficiência de remoção de sólidos suspensos (53%), DQO (34%) e ortofosfato (48%) para a relação de entrada e saída do tanque séptico. Desta forma constatou-se que a implantação deste tipo de tratamento primário auxilia diretamente no bom funcionamento do filtro plantado subsequente, evitando queda de rendimento, problemas estéticos e a colmatação precoce do mesmo.

Devido a segregação das águas residuárias nesta residência, a vazão de água afluyente no sistema de tratamento de água cinza é substancialmente menor que no caso do esgoto doméstico convencional. Em função disto a relação entre a área superficial do filtro e o número de usuários é baixa, com aproximadamente 0,8 m<sup>2</sup>/hab. Após consulta aos usuários sobre sua percepção quanto aos aspectos estéticos da água cinza após o tratamento, estes responderam não sentir nenhum

desconforto em relação a odores desagradáveis ou outro incômodo, confirmando a possibilidade de utilizá-la na descarga do bacio sanitário ou qualquer outro fim não potável sugerido.

A obrigatoriedade da presença de cloro residual recomendada pelas normas brasileiras impossibilita que o efluente seja utilizado para os fins de contato direto que compõe a classes 1 e 2 da ABNT (1997), ainda que os coliformes fecais sejam inferiores ao que preconizam para estas classes. Porém, após a cloração, provavelmente sua aplicação seria possível. Sem este processo a qualidade deste efluente seria adequada para as aplicações tipo classes 3 e 4, neste caso: descarga de bacio sanitário e irrigação por escoamento superficial ou pontual (ABNT, 1997).

Frente aos desafios da gestão da água e a necessidade de racionamento energético, especialmente no ambiente rural, a consagração de fontes alternativas de água que dispensam arranjos tecnológicos complexos caracteriza-se como importante instrumento de gestão da água. Desta forma, também é possível diminuir o consumo de água potável e evitar os impactos negativos provenientes do lançamento de efluentes não tratados no ambiente.

## **6. RECOMENDAÇÕES**

- Aprimorar o programa de monitoramento quantitativo de maneira que possam ser avaliadas todas as unidades hidrossanitárias isoladamente e com maior frequência possível (telemetria).
- Manter o monitoramento da qualidade das águas utilizadas na residência e propriedade piloto abrangendo outros os parâmetros exigidos pela ABNT além dos já avaliados no presente trabalho.
- Pesquisar alternativas seguras de reuso na agricultura, contemplando parâmetros de qualidade da água mais específicos, tais como concentração de cloretos, metais, surfactantes, taxa de absorção de sódio (*SAR*), entre outros.
- Testar processos de desinfecção das fontes alternativas avaliadas para definir a tecnologia mais apropriada ao contexto da propriedade piloto.

## 7. BIBLIOGRAFIA

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos NBR 7229. Rio de Janeiro, 1993. 15p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Tanques sépticos – unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – projeto, construção e operação: NBR 13.969. Rio de Janeiro, 1997. 60p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Água de chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – requisitos. NBR 15.527. Rio de Janeiro, 2007. 08p.

ALMEIDA, M. C., BUTLER, D., & FRIEDLER, E. At-source domestic wastewater quality. *Urban Water*, 1. 1999, p. 49–55.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). Agricultura Irrigada. Estudos Técnicos de Apoio ao Plano Nacional de Recursos Hídricos. Brasília, 2004.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). Relatório da Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil – Informe 2011. Brasília, 2011.

ANA, FIESP e SindusCon-SP. Conservação e reúso de água em edificações. São Paulo: Prol Editora Gráfica, 2005.

ANNECCHINI K. P. V; Aproveitamento da Água da Chuva Para Fins Não Potáveis na Cidade de Vitória (ES). Dissertação Mestrado em Engenharia Ambiental. Vitória, 2005.

AMARAL L. A.; FILHO A. N.; JUNIOR, O. D. R.; FERREIRA, F. L. A.; BARROS, L. S. S. Drinking water in rural farms as a risk factor to human health. *Revista Saúde Pública* vol.37 n°4. São Paulo, 2003.

APHA – American Public Health Association. Standard methods for the examination of water and wastewater, 19. ed. Washington, 1998.

ANTUNES J.M. Brasil é Referência Mundial em Plantio Direto. EMBRAPA Notícias (Site Oficial), Passo Fundo, 2008. Disponível em : <http://www.embrapa.br/imprensa/noticias/2008/fevereiro/2a-semana/brasil-e-referencia-mundial-em-plantio-direto/?searchterm=plantio%20direto> (acesso 01/03/ 2011)

BASTOS, J.C., Estudo Sobre a Aplicação de “Wetlands” na Melhora da Qualidade das Águas de Rios, Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental) UFPR. Curitiba, Paraná, 2007.

BASTOS R. K. X.; BEVILACQUA P. D., Normas e critérios de qualidade para o reuso de água. In: FLORENCIO L.; BASTOS R. K.X.; AISSE M. M., Tratamento e utilização de esgotos sanitários. Proj. PROSAB 2, ed. ABES, Rio de Janeiro, p. 403, 2006.

BAZZARELLA, B. B. Caracterização e aproveitamento de água cinza para uso não potável em edificações. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) UFES, Vitória, p. 150 2005.

BLUM, J. R. C. Critérios e padrões de qualidade da água. In: MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. Reúso de água. Ed. Manole. p. 125-175. São Paulo, 2003.

BRAGA, Benedito *et al.* Introdução à engenharia ambiental. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005, 318 p.

BRASIL, Resolução n° 357, Conselho Nacional do Meio Ambiente. Ministério do Meio Ambiente (CONAMA), 2005.

CMHC - CANADA MORTGAGE AND HOUSING CORPORATION. Water reuse standards and verification protocol. **Research Highlight**. Technical Series 04-131, 2004. Disponível em: <<http://www.cmhc.ca>>. Acesso em: 11 ago. 2005.

COOPER, P.F., JOB, G.D., GREEN, M.B. E SHUTES, R.B.E. Reed Beds and Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. Swindon: WRc plc. 184p, 1996.

CHRISTOVA-BOAL, D.; EDEN, R. E.; MACFARLANE, S. An investigation into greywater reuse for urban residential properties. *Desalination*. V.106, n. 1-3, p. 391-397, 1996.

DEL GROSSI, M. E. ; SILVA J. G. O novo rural: uma abordagem ilustrada. Instituto Agronômico do Paraná. Volume 1, 1ª ed. Londrina, 2002.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Reúso de águas residuárias tratadas na irrigação (Nota Técnica), Teresina, 2007. Disponível em:  
<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/68105> (acesso 10/10/2011).

ERIKSSON, E.; AUFFARTH, K.; MOGENS, H. LEDIN, A. Characteristics of grey wastewater. *Urban Water*. 2002.

FENDRICH, R.; OLIYNIK, R. Manual de utilização das águas pluviais: 100 Maneiras Práticas. Curitiba: Livraria do Chain Editora, 2002.

FLORENCIO L.; BASTOS R. K.X.; AISSE M. M., Tratamento e utilização de esgotos sanitários. Proj. PROSAB 2, ed. ABES, Rio de Janeiro, p. 403, 2006.

GHISI, E. Potential for potable water savings by using rainwater in the residential sector of Brazil. *Building and Environment*, p. 154-155, 2005.

GLEICK, P. H. Basic Water Requirements for Human Activities: Meeting Basic Needs. *Water International* n° 21 - IWRA, U.S.A p. 83-92, 1996.

GONÇALVES, R. F. et al. Gerenciamento de águas cinzas. In: GONÇALVES, R. F. (Coord. PROSAB 4, vol 5.). *Uso racional da água em edificações*. 1.ed. Rio de Janeiro: ABES, 2006.

HESPAHOL , I. Potencial de Reúso de Água no Brasil: Agricultura, Indústria, Município e Recarga de Aquíferos In: *Reúso de água*. Barueri-SP: Manole, 2003.

IBGE - FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICAS. Censo indicadores sociais municipais: uma análise dos resultados do universo do Censo Demográfico 2010, Rio de Janeiro, 2011.

IBGE - FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICAS. Pesquisa nacional por amostra de domicílios 2008 (PNAD). Rio de Janeiro, 2009.

IBGE - FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICAS. Sinopse do Censo Demográfico de 2007. Rio de Janeiro, 2008.

INMET- INTITUTO NACIONAL DE METEREOLOGIA. Normais Climatológicas: Precipitações Médias Mensais de 1981 a 2011. Brasília, 2006. (Cedido pela Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina S.A. - EPAGRI)

IWA – International Water Association. Constructed Wetlands for Pollution Control: Processes, Performance, Design and Operation. Scientific and Technical Report No. 8. London, England: IWA Publishing. P. 156, 2000.

JAQUES, R. C.; RIBEIRO, L. F. LAPOLLI, F.R. Avaliação da qualidade da água de chuva da cidade de Florianópolis – SC. In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES. p. 112 - 112. Campo Grande, 2005.

JAMRAH, A.; AL-FUTAISI, A.; PRATHAPAR, S.; HARRASI, A.A. Evaluating greywater reuse potential for sustainable water resources management in Oman. Environmental Monitoring Assessment, 2007.

JORDÃO, E. P. e PESSÔA, Constantino A. Tratamento de Esgotos Domésticos. 4 ed. Ed. Segrac, Rio de Janeiro, 2005.

KADLEC, R. H., KNIGHT, R. L. Treatment Wetlands. Lewis Publishers. Boca Raton, Florida. p. 893. 1996.

LAZAROVA, V. HILLS, S. BIRKS, R. Using recycled water for non-potable, urban uses: a review with particular reference to toilet flushing. *Water Science and Technology*. v. 3, n. 4, p. 69-77, 2003.

LI, F.; WICHMANN, K.; OTTERPOHL, R. Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses. *Science of Total Environment*, 2009.

MACOMBER, P. S. H. Guidelines on rainwater catchment systems for Hawai'i. College of Tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawai'i, Mānoa, p.5, 2010.

MAGRI, M. E.; FENELON, F. R.; PETERS, L.; ROSSETTO, T. S.; PHILIPPI, L. S. Reúso de águas cinzas tratadas em descarga de vaso sanitário e rega de jardim. In: *Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES)*, Belém, 2008.

MAGRI, M. E.; LEMOS, E.; KLAUS, G. FRANCISCO, J. G. Z.; PHILIPPI, L. S.: Desempenho de um sistema tipo tanque séptico seguido de filtro plantado com macrófitas no tratamento de águas cinzas. *26º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES)*, Porto Alegre, 2011.

MAGRI, M. E.; SUNTTI, C.; SERGIO, D. Z.; JOUSSEF, K. L.; PHILIPPI, L. S. Caracterização quali-quantitativa das águas cinzas nos seus diferentes pontos geradores em uma residência unifamiliar e alternativas de reúso. *25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Recife, 2009.

MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. Reúso de água. Ed. Manole. São Paulo, 2003.

MONTEIRO, R. C. M. Viabilidade técnica do emprego de sistemas tipo "wetlands" para o tratamento de água cinza visando o reúso não potável. (dissertação de mestrado). Departamento de Engenharia e Hidráulica da Escola Politécnica de São Paulo. São Paulo, 2009.



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](http://www.health.nsw.gov.au/publichealth/ehb/general/wastewater/greywater_policy.pdf)>. (Acesso em: 15/03/2011).

ONU – Organização das Nações Unidas. World population prospects: 2010 revision, 2010. Disponível em: [http://esa.un.org/unpd/wpp2008/peps\\_documents.htm](http://esa.un.org/unpd/wpp2008/peps_documents.htm) (acesso: 13/08/2011).

ONU – Organização das Nações Unidas. Relatório sobre a Situação da População Mundial 2011. Fundo de População das Nações Unidas, 2011. Disponível em: [http://whqlibdoc.who.int/publications/2010/9789241500265\\_eng.pdf](http://whqlibdoc.who.int/publications/2010/9789241500265_eng.pdf) (acesso: 03/01/2012)

ONU – Organização das Nações Unidas. World Water Assessment Programme (WWAP). The Key Water Indicator Portal Online: Drinking Water and Sanitation. 2012. Disponível em: [http://www.unwater.org/statistics\\_san.html](http://www.unwater.org/statistics_san.html) (acesso 19/03/2012).

PETERS M. R. Potencialidade de uso de fontes alternativas de água para fins não potáveis em uma unidade residencial. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.

PHILIPPI, L. S., COSTA, R. H. R., SEZERINO, P. H. Domestic effluent treatment through integrated system of septic tank and root zone. Water Science Technology. Elsevier Science LTD, v.40, n.3, p.125 – 131. Londres, 1999.

PHILIPPI, L. S. ; MAGRI, M. E. ; SUNTTI, C. . Balanço hídrico em uma residência unifamiliar, considerando águas cinzas e águas de chuva como fontes alternativas de água. In: 1º Congresso Lusófono sobre Ambiente e Energia, Cascaes. 2009.

PHILIPPI, L. S.; MAGRI, M. E.; SUNTI, C. Grey water reuse in households. In: SENS, M. L.; MONDARDO, R. I. Science and technology for environmental studies: experiences from Brazil, Portugal and Germany. Universidade Federal de Santa Catarina. p. 179-193. Florianópolis, 2010.

PHILIPPI, L. S.; OLIJNYK, D. P.; MAGRI, M. E. Arranjos tecnológicos para o tratamento descentralizado de esgotos sanitários. In: Anais da Conferência Internacional em Saneamento Sustentável: Segurança alimentar e hídrica para a América Latina, 2007, Fortaleza. 8p, 1 CD-ROM, 2007.

PHILIPPI, L. S., SEZERINO, P. H., PANCERI, B., OLIJNYK, D. P., KOSSAT, B. Root zone system to treat wastewater in rural areas in south of Brazil. 10th International Conference on Wetlands Systems for Water Pollution Control (IWA), p. 08, Lisboa, 2006.

PHILIPPI, L. S., SEZERINO, P. H. Aplicação de sistemas tipo wetlands no tratamento de águas residuárias: utilização de filtros plantados com macrófitas. Florianópolis, Santa Catarina. 1ª Edição. 2004.

PLATZER, C., HOFFMANN, H., CARDIA, W. 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, 2007.

REBOUÇAS A. C. A Água Doce no Mundo e no Brasil. In: Aldo Rebouças; Benedito Braga; José Galizia Tundisi. (Org.). Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação. Ed. Escrituras, p. 01-35. São Paulo, 2006.

SANTOS, J. R. M. dos. Irrigar é Preciso. Revista Agroanalysis. Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro, 1998.

SCHOLES L.; SHUTES, M. Constructed wetlands for flood prevention and water reuse 12th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control October 4– 8, 2010 San Servolo Island Venice, Italy 2010.

SEZERINO, P. H., PHILIPPI, L. S., BENTO, A. P., ALVARENGA, R. A. F., VALENTE, V. B. Filtro plantado com *typha* spp de fluxo horizontal (*constructed wetland*) aplicado como polimento de efluente de lagoa facultativa. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. p. 11, 2005.

SHUTES, R. B. E. Artificial wetlands and water quality improvement. Environment International, London, n. 26 p.441-447, 2001.

SUTHERLAND, K. Wastewater filtration: A future for grey water recycling. Filtration and Separation, 2008.

TELLES, D.D'A.; DOMINGUES A. F. Água na Agricultura e Pecuária. In: Águas doces no Brasil: Capital ecológico, uso e conservação. São Paulo: Escrituras, 2006.

TOMAZ, P. Previsão de consumo de água. Ed. Navegar. São Paulo, 2000.

TSUTIYA, M. T., Abastecimento de Água. Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

USEPA – UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Guidelines for water reuse. Office of Water, Washington, DC, 2004.

VON SPERLING, M. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG. Volume 1. 3ª edição. 2005.

VYMAZAL J. Constructed wetland for waste water treatment: a review. 12ª Word Lake Conference, p. 965-980. Jaipur, 2008.

VYMAZAL J. ; KRÖPFELOVÁ, L. Wastewater treatment in constructed wetlands with horizontal sub-surface flow. Springer, Dordrecht, 2008.

WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION. Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. v. 2: Wastewater use in agriculture. Genova, p. 203, 2006.