

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**CARACTERIZAÇÃO E TRATAMENTO DE ÁGUAS  
CINZAS VISANDO REÚSO DOMÉSTICO**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Geraldo Rampelotto**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2014**

# **CARACTERIZAÇÃO E TRATAMENTO DE ÁGUAS CINZAS VISANDO REÚSO DOMÉSTICO**

**Geraldo Rampelotto**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Civil.**

**Orientador: Prof. Dr. Elvis Carissimi**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2014**

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Rampelotto, Geraldo  
Caracterização e tratamento de águas cinzas visando  
reúso doméstico. / Geraldo Rampelotto.-2014.  
117 f.; 30cm

Orientador: Elvis Carissimi  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Civil, RS, 2014

1. Saneamento ambiental 2. Tecnologias sustentáveis  
3. Reúso 4. Águas cinzas I. Carissimi, Elvis II. Título.

---

© 2014

Todos os direitos autorais reservados a Geraldo Rampelotto. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

E-mail: [grampelotto@gmail.com](mailto:grampelotto@gmail.com)

---

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Tecnologia  
Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Dissertação de Mestrado

**CARACTERIZAÇÃO E TRATAMENTO DE ÁGUAS CINZAS  
VISANDO REÚSO DOMÉSTICO**

elaborado por  
**Geraldo Rampelotto**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

**Elvis Carissimi, Dr. (UFSM)**  
(Presidente/Orientador)

**Daniela Guzzon Sanagiotto, Dra. (UFRGS)**

**Delmira Beatriz Wolff, Dra. (UFSM)**

Santa Maria, 22 de agosto de 2014.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a toda a minha família pelo apoio na busca da qualificação profissional.

Meu agradecimento ao meu orientador, professor Dr. Elvis Carissimi, pela oportunidade, paciência, ensinamentos e confiança durante esse período.

Meu agradecimento aos bolsistas, colegas e alunos voluntários que participaram desta pesquisa de forma exemplar, auxiliando no laboratório: Anelise, Eduarda, Glaucia, Henrique, Keila, Maria Augusta, Marielle, Mirian, Naiana, Rafaela, Roberta, Ronaldo, Samara e Sizabeli.

Aos colegas do mestrado, servidores e professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, pelo companheirismo, momentos de desconcentração e aprendizagem e apoio.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental: Alcides Sartori, André Colasiol, José Astério Rosa do Carmo e Marília Goulart.

Ao professor do Departamento de Engenharia Química, Djalma Dias da Silveira, e funcionário do laboratório, Alfeu Angelo Pasini, por auxiliar nas análises.

Aos professores Pedro Roberto de Azambuja Madruga e Talles Augusto Araujo, pelo incentivo no início do curso; ao professor Marcos Alberto Oss Vaghetti, pela contribuição através do Grupo de Pesquisa em Tecnologias Sustentáveis (GEPETECS) e a disponibilização dos dados da unidade habitacional experimental no Campus da UFSM.

A Universidade Federal de Santa Maria, que possibilitou meu desenvolvimento em uma Universidade pública de qualidade.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pelo apoio financeiro durante o mestrado.

Muito obrigado!

## RESUMO

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental  
Universidade Federal de Santa Maria

### CARACTERIZAÇÃO E TRATAMENTO DE ÁGUAS CINZAS VISANDO REÚSO DOMÉSTICO

AUTOR: Geraldo Rampelotto

ORIENTADOR: Elvis Carissimi

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 22 de agosto de 2014.

A produção e disseminação do conhecimento para as questões ambientais, considerando os aspectos sociais e econômicos, entre eles, o reúso de águas, aplicado para fins não potáveis vem ao encontro das premissas de planeta sustentável. As águas cinzas, quando devidamente tratadas, podem ser utilizadas para consumo não potável em edificações como, por exemplo, descarga de vasos sanitários, lavagem de pisos, lavagem de calçadas, irrigação de jardins, usos ornamentais como espelhos d'água e chafarizes, desde que não proporcione riscos à saúde dos usuários. Neste estudo foi avaliado em escala laboratorial o potencial de tratamento de águas cinzas oriundas da máquina de lavar roupas e a possibilidade de reúso dessas águas para fins não potáveis em residências populares. A metodologia teve como base a pesquisa experimental, empregando estratégia de investigação envolvendo coleta de dados e análises de parâmetros, quantificando a produção de água potável, demanda de águas cinzas, análises de parâmetros físico-químicos e microbiológicos, avaliação do desempenho da água cinza sintética e real, utilizando processo químico através de coagulação, floculação, flutuação e flotação, filtração em meio granular e pós-tratamento por adsorção em carvão ativado. Foi realizada uma etapa preliminar de caracterização qualitativa de águas cinzas coletadas do efluente da máquina de lavar roupa, do ponto de vista físico-químico e microbiológico, em uma residência unifamiliar. Foram coletadas 43 amostras no período de 6 meses e feitas análises laboratoriais; a água cinza apresentou condutividade elétrica de  $364 \pm 196 \mu\text{Scm}^{-1}$ ; cor aparente de  $362 \pm 201 \text{uC}$ ; cor verdadeira de  $157 \pm 102 \text{uC}$ ; sólidos totais de  $391 \pm 215 \text{mgL}^{-1}$ ; sólidos suspensos de  $40 \pm 29 \text{mgL}^{-1}$ ; sólidos dissolvidos de  $347 \pm 201 \text{mgL}^{-1}$ ; sólidos sedimentáveis de  $1,0 \pm 0,8$ ; temperatura de  $25 \pm 3,5 \text{ }^\circ\text{C}$ ; turbidez de  $49 \pm 36 \text{ NTU}$ ; pH de  $7,4 \pm 1,2$ , DQO de  $300 \pm 142 \text{ mg/L}$ , DBO de  $101 \pm 142 \text{ mg/L}$ ; surfactantes de  $0,6 \pm 0,5 \text{ mg/L}$ ; coliformes totais variaram de ND a  $9,6 \times 10^5$  e coliformes termo tolerantes de ND a  $1,8 \times 10^5$ . Através de ensaios de tratabilidade utilizando teste de jarros, foram definidas as melhores condições de concentrações do coagulante,  $160 \text{ mg/L}$  de sulfato de alumínio ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ), resultando o pH de coagulação de 5,0 e turbidez de 14 NTU, otimização da mistura rápida, Gf de  $1200 \text{s}^{-1}$ , tempo de 8s e a otimização da floculação com melhor desempenho Gf  $40 \text{s}^{-1}$  com o tempo 6 a 10 min. Para as condições anteriores definidas foram passados por meios granulares diversos, selecionando o melhor material, que foi a areia de grãos 0,42mm (tamanho efetivo). Os resultados indicam que o sistema de pré-tratamento químico através da coagulação, floculação ou flotação com posterior passagem por filtro de areia e adsorção por carvão ativado, foram bem sucedidos para a remoção dos parâmetros avaliados. Comparando os parâmetros iniciais da amostra e os resultados de maior eficiência do tratamento, temos os respectivos índices: remoção de turbidez, 36,6NTU para 0,04NTU; cor aparente, 276uC para 20uC; DQO, 228mg/l para 34mg/L; e surfactantes 1,09mg/L para 0,20mg/L. Os resultados obtidos neste trabalho indicaram o potencial de aplicação desse tratamento visando o aproveitamento de águas cinzas em residências.

**Palavras-chave:** Saneamento ambiental. Tecnologias sustentáveis. Reúso. Águas cinzas.

## ABSTRACT

Master Course Dissertation Professional Graduation  
Program in Civil Engineering  
Universidade Federal de Santa Maria

### CARACTERIZAÇÃO E TRATAMENTO DE ÁGUAS CINZAS VISANDO REÚSO DOMÉSTICO.

AUTHOR: GERALDO RAMPELOTTO

ADVISER: ELVIS CARISSIMI

Defense Place and Date: Santa Maria, August 22, 2014.

The production and dissemination of knowledge on environmental issues, considering the social and economic aspects, including the reuse of water used for non-potable purposes meets the assumptions of sustainable planet. As, when properly handled, greywater can be used for non-potable consumption in buildings, for example, discharge of toilets, washing floors, washing sidewalks, watering gardens, ornamental uses such as water features and fountains, since that does not provide health risks to users. In this study was evaluated in laboratory scale the potential treatment of greywater coming from the washing machine, and the possibility of reuse of this water for non-potable purposes in popular residences. The methodology was based on the experimental research, using research strategy involving data collection and analysis parameters, quantifying the production of drinking water, greywater demand, analysis of physical, chemical and microbiological parameters, evaluating the performance of synthetic greywater and chemical process by using coagulation, flocculation, fluctuation and flotation, filtration through granular media and post-treatment by adsorption on activated charcoal. A preliminary step of qualitative characterization of greywater collected from the washing machine, from the point physicochemical and microbiological was carried out in a single-family residence. It were collected 43 samples in the period of six months and carried out at laboratory scale, greywater showed electrical conductivity of  $364 \pm 196 \mu\text{Scm}^{-1}$ ; apparent color of  $362 \pm 201 \text{uC}$ ; true color of  $157 \pm 102 \text{uC}$ ; total solids of  $391 \pm 215 \text{mgL}^{-1}$ ; suspended solids of  $40 \pm 29 \text{mgL}^{-1}$ ; dissolved solids of  $347 \pm 201 \text{mg L}^{-1}$ ; settling solids of  $1.0 \pm 0.8$ ; temperature of  $25 \pm 3.5^\circ\text{C}$ ; turbidity of  $49 \pm 36 \text{NTU}$ ; pH of  $7.4 \pm 1.2$ , COD of  $300 \pm 142 \text{mg/L}$ , BOD of  $101 \pm 142 \text{mg/L}$ ; surfactants of  $0.6 \pm 0.5 \text{mg/L}$ ; coliforms ranged from ND to  $9,6 \times 10^5$  and tolerant coliforms term ranged from ND to  $1.8 \times 10^5$ . Treatability tests carried out with jar tests, the best conditions of coagulation are defined concentrations of 160 mg/L of aluminum sulfate ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ), resulting pH coagulation of 5.0 and turbidity of 14.1 NTU, optimization of rapid mixing, Gf of  $1200 \text{s}^{-1}$ , time of 8s and optimization of flocculation with better performance Gf  $40 \text{s}^{-1}$  and the time 6 to 10 min. For the above defined conditions were passed by several granular media, selecting the best material, which was the sand grains 0.42mm (effective size). The results indicate that the system of chemical pretreatment by coagulation, flocculation and flotation with subsequent passage through sand and activated carbon adsorption filter, have been successful for the removal of the evaluated parameters. Comparing the initial parameters of the sample and the results improved efficiency of the treatment, we have respective indexes, remove turbidity, 37 NTU to 0.04 NTU; apparent color 276uC to 20uC; COD 228mg/L to 34mg/L and surfactants 1.09mg/L 0.20mg/L. Results showed the potential of the application of this treatment for greywater reuse in residences.

**Keywords:** Environmental sanitation. Sustainable technologies. Reuse. Greywater.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição do uso doméstico de água para diferentes países. ....	21
Tabela 2 – Composição das águas cinzas de acordo com a fonte. ....	28
Tabela 3 – Caracterização de águas cinzas de baixa carga. ....	29
Tabela 4 – Caracterização de águas cinzas de alta carga. ....	30
Tabela 5 – Resumo da metodologia das análises dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos. ....	43
Tabela 6 – Vazões e taxas de filtração .....	54
Tabela 7 – Resultados da caracterização das AC da máquina de lavar roupa, período de novembro/13 a março/14, comparado com pesquisas desenvolvidas no mundo. ....	64
Tabela 8 – Efluente do teste de jarros da água cinza real de uma lavada, armazenada e submetido ao pré-tratamento com coagulação e floculação, velocidade ascensional 1,0 cm/min e filtração em areia e adsorção em carvão ativado granular. ....	89
Tabela 9 – Efluente do flotador da água cinza real, submetido ao pré-tratamento com coagulação e floculação, velocidade ascensional 1,0 cm/min e filtração em areia e adsorção em carvão ativado granular. ....	90

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3-1 – Esquema de um sistema de abastecimento de água de ciclo completo.....	19
Figura 3-2 – Sistema de reúso de águas cinzas.....	25
Figura 3-3 – Parcelas de contribuição de águas cinzas e de águas negras. ....	26
Figura 4-1 – Máquina de lavar roupas.....	40
Figura 4-2 – Equipamento de Teste de Jarros Marca PoliControl.....	45
Figura 4-3 – Figura da relação entre a rotação da paleta do equipamento, teste de jarros em função do gradiente de velocidade média e a relação entre a temperatura da água e o fator de correção do gradiente de velocidade. ....	46
Figura 4-4 – Saturador de bancada .....	48
Figura 4-5 – Bancada e detalhe do filtro .....	50
Figura 4-6 – Material filtrante conforme descrição a seguir. ....	53
Figura 5-1 – Consumo mensal de água potável entre os meses de dezembro/12 a março/14, no prédio .....	61
Figura 5-2 – Consumo per capita de água potável entre os meses de dezembro/12 a março/14, no prédio. ....	62
Figura 5-3 – Produção de AC, entre os meses de dezembro/2012 a março/14. ....	63
Figura 5- 4 – Resultados de DQO da água cinza sintética, fixado 0,93 mL/L de sabão líquido e variando de 0,85 mL/L a 1,05 mL/L de amaciante líquido. ....	67
Figura 5-5 – Resultados da DQO da água cinza sintética do experimento, diluindo em 150 litros de água, na proporção de 140 mL de sabão líquido e 150 mL de amaciante.....	67
Figura 5-6 – Resultados de Turbidez, água cinza sintética do experimento .....	68
Figura 5-7 – Resultados da cor aparente, água cinza sintética do experimento. ....	68
Figura 5-8 – Turbidez remanescente da água fluída com $V_a = 1,5$ cm/min em função da dosagem de sulfato de alumínio e do pH de coagulação . ....	70
Figura 5-9 – Valores de turbidez remanescente em função do tempo e do gradiente de velocidade ascensional de 3 cm/min da mistura rápida. ....	71
Figura 5-10 – Valores de turbidez remanescente em função do tempo e do gradiente de velocidade ascensional de 1,5 cm/min da mistura rápida. ....	72
Figura 5-11 – Valores de cor aparente remanescente em função do tempo e do gradiente de velocidade ascensional de 3,0 cm/min da mistura rápida. ....	72
Figura 5-12 – Valores de cor aparente remanescente em função do tempo e do gradiente de velocidade ascensional de 1,5 cm/min da mistura rápida. ....	72
Figura 5-13 – Turbidez remanescente em função do tempo e do gradiente de velocidade médio da floculação .....	74
Figura 5-14 – Turbidez mínima remanescente ( $G_f$ ótimo) em função do tempo de floculação ( $V_a = 1,0$ cm/min e $V_a = 1,5$ cm/min). ....	74

Figura 5-15 – Turbidez remanescente em função da velocidade ascensional .....	75
Figura 5-16 – Remoção da turbidez de ensaios utilizando teste de jarros para coagulação e floculação e posterior flotação. ....	76
Figura 5-17 – Turbidez da ACS, filtração nos meios granulares diversos, efluente do teste de jarros, velocidade ascensional de 0,7cm/min. ....	77
Figura 5-18 – Cor aparente da ACS, filtração nos meios granulares diversos, efluente do teste de jarros velocidade ascensional de 0,7cm/min. ....	78
Figura 5-19 – DQO da ACS, filtração nos meios granulares diversos, efluente do teste de jarros velocidade ascensional de 0,7cm/min. ....	78
Figura 5-20 – Turbidez da ACS, filtração nos meios granulares diversos, efluente do teste de jarros, água coagulada e floculada. ....	79
Figura 5-21 – Cor aparente da ACS, filtração nos meios granulares diversos, efluente do teste de jarros, água coagulada e floculada. ....	79
Figura 5-22 – DQO inicial da ACS, filtração nos meios granulares diversos, efluente do teste de jarros, água coagulada e floculada. ....	80
Figura 5-23 – Turbidez da ACS, filtração nos meios granulares diversos, efluente do flotador. ....	81
Figura 5-24 – Cor aparente da ACS, filtração nos meios granulares diversos, efluente do flotador. ....	81
Figura 5-25 – DQO inicial da ACS, filtração nos meios granulares diversos, efluente do flotador. ....	82
Figura 5-26 – Turbidez inicial da amostra e remanescente após as etapas do tratamento, efluente do teste de jarros. ....	83
Figura 5-27 – Cor aparente inicial da amostra e remanescente após as etapas do tratamento, efluente do teste de jarros. ....	84
Figura 5-28 – Concentração da DQO na água e após as etapas do tratamento. ....	84
Figura 5-29 – Concentração de surfactantes na água e após as etapas do tratamento. ....	85
Figura 5-30 – Turbidez inicial da amostra e remanescente após as etapas do tratamento, efluente do flotador. ....	85
Figura 5-31 – Cor aparente inicial da amostra e remanescente após as etapas do tratamento, efluente do flotador. ....	86
Figura 5-32 – Concentração da DQO na água e após as etapas do tratamento. ....	86
Figura 5-33 – Concentração de surfactantes na água e após as etapas do tratamento. ....	87
Figura 5-34 – Turbidez inicial da amostra e remanescente após as etapas do tratamento, efluente do teste de jarros e flotador. ....	91
Figura 5-35 – Cor aparente inicial da amostra e remanescente após as etapas do tratamento, efluente do teste de jarros e flotador. ....	91
Figura 5-36 – Concentração da DQO na água cinza real e após as etapas do tratamento, efluentes do teste de jarros e flotador. ....	92
Figura 5-37 – Concentração de surfactantes na água cinza real e após as etapas do tratamento, efluentes do teste de jarros e flotador. ....	92

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Diretrizes de reutilização de água e normas de diferentes países. ....	31
Quadro 2 – Sistema de tratamento em função dos usos potenciais e fontes alternativas de água .....	34
Quadro 3 – Fluxogramas esquemáticos dos sistemas de filtração direta para águas de abastecimento. ....	37
Quadro 4 – Características da programação da máquina de lavar roupas.....	41
Quadro 5 – Programação no teste de jarros com controle automático e tempos no cronômetro e respectivas ações .....	56
Quadro 6 – Programação no teste de jarros, tempos no cronômetro e respectivas ações. ....	57
Quadro 7 – Programação do teste de jarros e tempos no cronômetro e respectivas ações. ...	59

## LISTA DE ABREVIATURAS

AC	– Águas cinzas
ACS	– Água cinza sintética
ANA	– Agência Nacional de Águas
CAG	– Carvão Ativado Granulado
CETESB	– Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CORSAN	– Companhia Riograndese de Saneamento
DBO	– Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	– Demanda Química de Oxigênio
ETA	– Estação de Tratamento de Água
EUA	– Estados Unidos da América
FAD	– Ar Dissolvido/Microflotação
FAI	– Flotação por ar Induzido
FDD	– Filtração Direta Descendente
FIESP	– Federação das Indústrias do Estado de São Paulo
FLA	– Filtro de Laboratório de Areia
FLB	– Filtro de Basalto Britado
FLCAG	– Filtro de Laboratório de Carvão ativado Granular
FLR	– Filtro de Laboratório de Resíduos
Gf	– Gradiente de Velocidade Médio Durante a Flocculação
Gmr	– Gradiente de Velocidade Médio de Mistura Rápida do Coagulante
	LabCAmb – Laboratório de Controle Ambiental
LEMA	– Laboratório de Engenharia e Meio Ambiente
MS	– Ministério da Saúde
NBR	– Norma Brasileira
OMS	– Organização Mundial de Saúde
PET	– Poli Tereftalato de Etila
pH	– Potencial de Hidrogênio
PVC	– Policloreto de vinil
Taj	– Tempo de Mistura do Alcalinizante
Tf	– Tempo de Flocculação
Tmr	– Tempo de Mistura Rápida do Coagulante
CE	– Condutividade elétrica

## LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE A –	Resultados das análises físico-químicas e biológicas, no período de 11/11/13 a 03/04/2014, procedente da máquina de lavar roupas da residência pesquisada. ....	103
APÊNDICE B –	Resultados das análises da água cinza sintética (ACS). ....	106
APÊNDICE C –	Resultados da turbidez remanescente da água fluída com $V_a = 1,5$ cm/min em função da dosagem de sulfato de alumínio e do pH de coagulação. ....	107
APÊNDICE D –	Resultados da turbidez remanescente em função do tempo e do gradiente de velocidade ascensional da mistura rápida, velocidade flutuação 3,0 cm/min e 1,5 cm/min. ....	109
APÊNDICE E –	Resultados da cor aparente remanescente em função do tempo e do gradiente de velocidade ascensional da mistura rápida, $V_a = 3,0$ cm/min e $V_a = 1,5$ cm/min. ....	110
APÊNDICE F –	Turbidez mínima remanescente em função do tempo de floculação ( $G_f$ ), para velocidades ascensionais $V_a = 1,5$ cm/min e $V_a = 1,0$ cm/min. ....	111
APÊNDICE G –	Resultados dos ensaios com teste de jarros, velocidade ascensional de 0,7 cm/min para escolha do meio filtrante e coleta de água nos filtros de laboratório. ....	112
APÊNDICE H –	Resultados dos ensaios com teste de jarros, ACS floculada para escolha do meio filtrante e coleta de água nos filtros de laboratório. ....	113
APÊNDICE I –	Resultados dos ensaios com teste de jarros, ACS floculada, velocidade ascensional no flutador de 3,5 cm/min, para escolha do meio filtrante e coleta de água nos filtros de laboratório. ....	114
APÊNDICE J –	Resultados das análises ACS, efluente do teste de jarros, submetida ao tratamento, velocidade ascensional de 1,0 cm/min. ....	115
APÊNDICE K –	Resultados das análises ACS, efluente do flutador, submetida ao tratamento, velocidade ascensional de 3,5 cm/min. ....	116

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>17</b>
2.1	Objetivo geral	17
2.2	Objetivos específicos	17
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>18</b>
<b>3.1</b>	<b>Água na Edificação</b>	<b>18</b>
3.1.1	Etapas do Tratamento e Distribuição	18
3.1.2	Consumo e uso doméstico de água	20
<b>3.2</b>	<b>Reúso de águas</b>	<b>21</b>
<b>3.3</b>	<b>Águas Cinzas (AC)</b>	<b>23</b>
3.3.1	Aspectos quantitativos das águas cinzas (AC)	24
3.3.2	Aspectos qualitativos das águas cinzas (AC)	25
<b>3.4</b>	<b>Tratamento das águas cinzas (AC)</b>	<b>32</b>
<b>3.5</b>	<b>Ensaio de tratabilidade de água</b>	<b>38</b>
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b>	<b>39</b>
<b>4.1</b>	<b>Contextualização da pesquisa</b>	<b>39</b>
<b>4.2</b>	<b>Caracterização quantitativa da água potável e da água cinza</b>	<b>39</b>
4.2.1	Estimativa do consumo de água potável residencial	39
4.2.2	Estimativa da produção de águas cinzas (AC)	40
<b>4.3</b>	<b>Caracterizações qualitativas das águas cinzas</b>	<b>42</b>
<b>4.4</b>	<b>Processo de tratamento das águas cinzas por filtração</b>	<b>44</b>
4.4.1	Equipamentos	44
4.4.2	Procedimento experimental	51
4.4.3	Ensaio de tratabilidade	54
<b>4.5</b>	<b>Análises estatísticas</b>	<b>60</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>61</b>
<b>5.1</b>	<b>Consumo de água potável</b>	<b>61</b>
<b>5.2</b>	<b>Efluente máquina de lavar roupas</b>	<b>62</b>
<b>5.3</b>	<b>Caracterização físico-química e microbiológica</b>	<b>63</b>
5.3.1	Parâmetros físicos	65
5.3.2	Parâmetros químicos	65
5.3.3	Parâmetros microbiológicos	66
<b>5.4</b>	<b>Água cinza sintética</b>	<b>66</b>
<b>5.5</b>	<b>Ensaio com teste de jarros e flotor</b>	<b>69</b>
5.5.1	Escolha da dosagem de coagulante e pH de coagulação	69
5.5.2	Escolha dos parâmetros da mistura rápida	71
5.5.3	Escolha dos parâmetros de otimização da floculação	73

5.5.4	Verificação da influência da velocidade ascensional .....	75
5.5.5	Ensaio de flotação .....	76
<b>5.6</b>	<b>Ensaio de filtração de meios granulares .....</b>	<b>77</b>
5.6.1	Escolha do meio filtrante.....	77
5.6.2	Ensaio em ciclo completo da ACS .....	82
5.6.3	Ensaio ciclo completo de amostra da água real .....	88
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>94</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>95</b>
<b>8</b>	<b>RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>96</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>97</b>

# 1 INTRODUÇÃO

A água é o líquido mais importante que há no planeta para manutenção da vida. É um recurso que não respeita divisas, atravessa cidades, estados e nações; portanto, é um bem a ser compartilhado. O desperdício e a poluição dos mananciais fazem com que ela se torne cada vez mais escassa e onerosa. No que tange ao aspecto quali-quantitativo, a água disponível para consumo tem-se tornado insuficiente. Para Stikker (1998), com o aumento da população em cerca de 85 milhões por ano, a disponibilidade de água doce por pessoa é decrescente. May (2008) atribui o aumento da demanda ao crescimento populacional acentuado e desordenado, que são os principais fatores que influenciam no consumo de água, principalmente nos grandes centros urbanos. Hanjra e Qureshi (2010) estimam que até 2015 haja um acréscimo de meio bilhão a três bilhões de pessoas que vivem em locais com escassez de água.

Segundo Gonçalves *et al.* (2010), o consumo de água residencial pode constituir mais da metade do consumo total de água nas áreas urbanas. Para esses autores, do ponto de vista estratégico, atuar no controle da demanda residencial é a melhor alternativa para prorrogar o estresse hídrico que se aproxima. Por outro lado, uma tendência nítida do setor da construção civil habitacional é a execução de edifícios sustentáveis, conceito decorrente da intensificação do debate no tema desenvolvimento sustentável do planeta. Trata-se dos edifícios verdes, cujas características ecologicamente corretas chamam cada vez mais a atenção. Dessa forma, o crescimento das atividades econômicas e a manutenção das condições de qualidade de vida da população dependem da conscientização, importância na conservação da água, insumo estratégico e deve ser usado de forma racional por todos os setores.

O caminho pode envolver a construção de grandes obras de engenharia para atender à demanda, como transposição de rios, aquedutos, barragens, que são necessárias, com os custos ambientais, econômicos e sociais relacionados, porém devem ser considerados outras soluções. São imprescindíveis pesquisas para desenvolvimento de sistemas que buscam soluções alternativas para o aumento da oferta da água, como por exemplo, utilização das águas de reúso, coleta, tratamento e aproveitamento da água pluvial, como também a diminuição do desperdício e perdas.

Uma forma a ser buscada como alternativa é a utilização das águas cinzas (AC), que provém de alguns locais nas edificações, entre eles: chuveiros, lavatórios, banheiras, máquinas de lavar roupa e pias de cozinha.

O uso dessas fontes alternativas como instrumento para a conservação de água potável em edificações exige cautela. Para a adequada utilização desses sistemas, deve ser desenvolvido um conjunto de ações voltadas para o projeto, execução, uso, operação e manutenção, de modo a não comprometer a saúde dos usuários. O reúso da água é tecnicamente viável, mas pode gerar problemas com a contaminação, por isso cuidados devem ser tomados para o seu emprego e a forma de armazenamento, levando-se em consideração a separação da água potável e evitando a conexão cruzada.

Neste trabalho, foi investigada a possibilidade de utilizar as águas oriundas da máquina de lavar roupas, seu reúso para fins não potáveis em residências, por meio de estudos quali-quantitativos. Foi estimado o consumo de água potável e avaliado em escala laboratorial o tratamento através de filtração, visando fornecer subsídios para aplicação em uma unidade habitacional experimental localizado no campus da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), que vem sendo estudado pelo Grupo de Pesquisa em Tecnologias Sustentáveis (GEPETECS) na casa popular eficiente.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Caracterizar e avaliar o potencial de tratamento de AC oriundas da máquina de lavar roupas, visando o reúso para fins não potáveis.

### **2.2 Objetivos específicos**

Os objetivos específicos foram:

- i. Estimar o consumo de água potável residencial e avaliar o potencial de reúso do efluente da máquina de lavar roupas;
- ii. Caracterizar, sob o ponto de vista físico-químico e microbiológico, AC residenciais, analisando condutividade elétrica, cor aparente e verdadeira, sólidos dissolvidos, suspensos, sedimentáveis e totais, temperatura, turbidez, demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio, (DBO), potencial de hidrogênio (pH), tensoativos (surfactantes), coliformes totais e coliformes termo tolerantes provenientes da máquina de lavar roupas;
- iii. Avaliar um processo de tratamento de águas cinzas por filtração, visando o seu reúso/reaproveitamento para fins não nobres, como descarga do vaso sanitário, lavagens de piso, irrigação (culturas e jardins), contra incêndio, entre outros.

### **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Neste capítulo será feita uma revisão dos diversos usos domésticos da água para consumo humano, abordando as etapas de tratamento, distribuição, consumo e seus diversos usos, o potencial de reúso das águas domésticas, abordando os aspectos quali-quantitativos e o tratamento por filtração direta das águas cinzas, bem como uma revisão sobre os ensaios de tratabilidade de água.

#### **3.1 Água na Edificação**

Para o consumo da água bruta, esta deverá ser precedida de diversas etapas de tratamento e desinfecção para sua potabilidade, com posterior distribuição e consumo, devendo seguir as normas vigentes; sua demanda é estimada através de estudos que são influenciados por diversos fatores.

##### **3.1.1 Etapas do Tratamento e Distribuição**

O tratamento de água bruta demanda investimentos elevados para produção, desde sua captação, reservação, distribuição e controle de qualidade. Para manter padrões recomendados pela Organização Mundial de Saúde (OMS), atender aos procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano estabelecidos na Portaria MS Nº 2914 de 12/12/2011, as concessionárias de saneamento devem exercer um rígido controle quali-quantitativo, investimento e preservação dos mananciais. A Figura 3-1, apresenta a planta de um sistema de abastecimento de ciclo completo – SAA, contemplando captação, elevatória, tratamento, reservação e posterior distribuição.



Figura 3-1 – Esquema de um sistema de abastecimento de água de ciclo completo.  
 Fonte: <http://www.sanebavi.com.br/?idt=43>.

Para que a água fique em condições adequadas para o consumo, tornando-se potável, o processo de tratamento deve estar isento de qualquer tipo de contaminação, evitando a transmissão de doenças. A água é captada do manancial em seu estado natural, oriunda dos lagos, rios, represas ou subterrânea, conduzida por gravidade ou através de estação elevatória (bombeamento). As etapas de tratamento começam com grades na entrada, para remoção de sólidos maiores; após, para oxidar os metais presentes na água, principalmente o ferro e o manganês, pode-se utilizar produto químico. Para isso, injeta-se cloro ou produto similar, pois tornam os metais insolúveis na água, permitindo assim a sua remoção nas outras etapas do tratamento. Adiciona-se cal para otimizar o processo, mantendo o pH na água no nível adequado. A remoção das partículas de sujeira se inicia no tanque de mistura rápida com a dosagem dos coagulantes (sulfato de alumínio ou cloreto férrico). Esses coagulantes têm o poder de aglomerar a sujeira formando flocos; a água já coagulada movimenta-se dentro dos tanques, os flocos misturam-se, ganhando peso, volume e consistência. Na decantação, os flocos formados anteriormente separam-se da água, sedimentando-se no fundo dos tanques. Após a decantação, a água ainda contém impurezas que não foram sedimentadas nesse processo. Por isso, ela passa por filtros constituídos por camadas de areia ou areia e antracito (carvão) suportadas por cascalho de diversos tamanhos que retêm a sujeira ainda restante.

A água limpa após o processo descrito acima recebe o processo de desinfecção, normalmente através de cloro ou ozônio para eliminar os micro-organismos nocivos à saúde, garantindo também a qualidade da água nas redes de distribuição e nos reservatórios. Para proteger as canalizações das redes e das casas contra a corrosão ou incrustação, a água recebe uma dosagem de cal que corrige seu pH. Por fim, a água é fluoretada, em atendimento à Portaria no Ministério da Saúde, MS Nº 2914 de 12/12/2011, injetando um composto de flúor com o propósito de diminuir a incidência de cárie. Após isso, a água é armazenada e distribuída.

### 3.1.2 Consumo e uso doméstico de água

A água potável é destinada a atender às necessidades humanas, realização de suas atividades, como preparar alimentos, higiene pessoal, lavanderia, jardinagem, lavagens de pisos, irrigação de jardins, descarga do vaso sanitário, entre outros.

Estudos relativos à distribuição do consumo de água no Brasil tiveram início em 1995, varia para cada localidade, influenciado por diversos fatores entre eles, clima, disponibilidade de água, tipologia da edificação, dados socioeconômicos da população, tipos de equipamentos hidráulicos, características de projeto dos sistemas prediais, entre outros. Conforme NBR 12.211/92 – Estudos de concepção de sistemas públicos de abastecimento de água, na determinação da demanda de água deve ser considerado o consumo das ligações medidas ou não medidas e o volume de perdas no sistema; valores típicos reportados na literatura da quota per capita de água consumida por populações com ligações domiciliares e exposta por Von Sperling (2005), estão na faixa de 90 L/hab.dia a 300 L/hab.dia, valores de água consumida, e não produzida nas ETAs; a esses valores deve-se incorporar as perdas no sistema de distribuição de água. Já os parâmetros recomendados pela Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN, 2006), para projetos de abastecimento de água, consideram o consumo per capita de 200 L/hab.dia com exceção feita para os loteamentos populares, quando propostos pela municipalidade, onde o consumo adotado é de 150L/hab.dia.

Para Gonçalves (2006), nas ações para a otimização do uso da água, minimizando a geração de efluentes, é necessária implantação de programas de conservação de água nas

unidades residenciais. O mesmo autor ressalta que as aplicações das ações possuem diferentes enfoques, seja de comportamento, tecnologia ou gestão da água.

O uso doméstico da água é apresentado na Tabela 1, em diferentes países. Entre 46 e 91% de água para uso doméstico é transformada em AC, com a contribuição da lavanderia entre 7 a 21%. Uma vez que a utilização para tarefas como descarga de banheiro, rega de jardim e limpeza não requerem padrões de qualidade potável, a quantidade de AC que potencialmente pode ser utilizada encontra-se entre 9% e 46%, ou seja, máximo de consumo encontrado na pesquisa em Omã (4% + 5%) e o máximo de produção citado na pesquisa da Austrália (15% + 26% + 5%), a demanda da descarga do sanitário, assim como a maior parte das necessidades de irrigação, pode ser suprida pelo reaproveitamento.

Tabela 1 – Composição do uso doméstico de água para diferentes países.

Uso da água (%)	Lavanderia	Banheiro	Cozinha	Vaso Sanitário (descarga)	Outros (limpeza e jardim)
Países / Referência					
Austrália (Christova-Boal <i>et al.</i> , 1996)	15	26	5	34	20
Brasil (Bazzarella, 2005)	15	34	22	29	-
Dinamarca (Revitt <i>et al.</i> , 2011)	14	36	21	23	6
EUA (EPA, 1992)	21	33	5	41	-
Holanda (Krozer <i>et al.</i> , 2010)	20	38	6	29	7
Índia (Mandal <i>et al.</i> , 2011)	20	39	23	15	3
Irlanda (Li <i>et al.</i> , 2010)	10	38	13	27	12
Omã (Prathapar <i>et al.</i> , 2005)	7	47	37	4	5
Reino Unido (Pidou <i>et al.</i> , 2007)	12	28	19	35	6

### 3.2 Reúso de águas

O uso racional das águas é conceito básico para a os serviços de saneamento no país. Sua efetividade é imprescindível para a sustentabilidade das cidades e suas ações são

inadiáveis para que o estresse hídrico não se torne um fator limitante para o desenvolvimento das mesmas.

O reaproveitamento das águas servidas, utilizadas nos processos humanos, para abastecer outros usos ou o próprio gerador do resíduo, pode ser oriundo de ações planejadas ou não planejadas (MANCUSO e SANTOS, 2007).

Classificando tal conceito de acordo com seu lançamento e planejamento, Mancuso e Santos, (1987 apud LAVRADOR FILHO, 2007) sugeriram:

**Reúso indireto não planejado da água:** ocorre quando a água, já utilizada uma ou mais vezes em alguma atividade humana, é descarregada no meio ambiente e novamente utilizada a jusante em sua forma diluída, de maneira não intencional e não controlada. Nesse caso, o reúso da água é um subproduto não intencional da descarga de montante. Após sua descarga no meio ambiente, o efluente será diluído e sujeito a processos como autodepuração, sedimentação, entre outros, além de eventuais misturas com outros despejos advindos de diferentes atividades humanas;

**Reúso planejado de água:** ocorre quando o reúso é resultado de uma ação humana consciente, adiante do ponto de descarga do efluente a ser usada de forma direta ou indireta. O reúso planejado das águas pressupõe a existência de um sistema de tratamento de efluentes que atenda aos padrões de qualidade requeridos pelo novo uso que se deseja fazer da água. O reúso planejado também pode ser denominado “reúso intencional da água”;

**Reúso indireto planejado da água:** ocorre quando os efluentes, depois de convenientemente tratados, são descarregados de forma planejada nos corpos d’água superficiais ou subterrâneos, para serem utilizados a jusante em sua forma diluída e de maneira controlada, no intuito de algum uso benéfico.

**Reúso direto planejado da água:** ocorre quando os efluentes, após devidamente tratados, são encaminhados diretamente de seu ponto de descarga até o local do reúso; assim, sofrem em seu percurso os tratamentos adicionais e armazenamentos necessários, mas não são, em momento algum, descarregados no meio ambiente.

**Reciclagem de água:** é o reúso interno da água, antes de sua descarga em um sistema geral de tratamento ou outro local de disposição, para servir como fonte suplementar de abastecimento do uso original. É o caso particular do reúso direto.

O reúso de água é composto pelo uso do esgoto sanitário, com tratamento prévio de acordo com o fim que será destinado. Conhecendo as características físicas, químicas e biológicas das águas residuais, torna-se possível estabelecer parâmetros que satisfaçam os critérios recomendados ou os padrões que tenham sido fixados para determinado uso. As destinações da água de reúso não potável são bem abrangentes se devidamente tratadas. O manual de reúso da água da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2012) cita algumas das aplicações da água reciclada:

**Irrigação paisagística:** parques, cemitérios, campos de golfe, faixas de domínio de autoestrada, campus universitários, cinturões verdes, gramados residenciais;

**Irrigação de campos para cultivos:** plantio de forrageiras, plantas fibrosas e de grãos, plantas alimentícias, viveiros de plantas ornamentais, proteção contra geadas;

**Usos industriais:** refrigeração, alimentação de caldeiras, água de processamento;

**Recarga de aquíferos:** recarga de aquíferos potáveis, controle de intrusão marinha, controle de recalques de subsolo;

**Usos urbanos não-potáveis:** irrigação paisagística, combate ao fogo, descarga de vasos sanitários, sistemas de ar condicionado, lavagem de veículos, lavagem de ruas e pontos de ônibus, etc.

**Finalidades ambientais:** aumento de vazão em cursos de água, aplicação em pântanos, terras alagadas, indústrias de pesca.

**Usos diversos:** aquicultura, construções, controle de poeira, dessedentação de animais.

O reúso pode se tornar cada vez mais viável dependendo da qualidade necessária da água. O reúso de água como alternativa em habitações é variável de acordo com necessidades específicas, tal solução reduz a demanda de água potável, conseqüentemente a demanda dos mananciais e de tratamento de água, além de minimizar a emissão de efluente no meio ambiente.

### 3.3 Águas Cinzas (AC)

Águas cinzas para reúso é o efluente doméstico que não possui contribuição da bacia sanitária, ou seja, os efluentes gerados pelo uso de banheiras, chuveiros, lavatórios, máquinas de lavar roupas e pia de cozinha em residências, escritórios comerciais, escolas, entre outros.

Nolde (2000) conceitua AC como sendo esgoto doméstico sem o esgoto sanitário; classifica AC de baixa carga (excluindo águas da cozinha e lavanderia) ou de alta carga (incluindo lavanderia e/ou cozinha), consideradas mais poluídas.

Os componentes presentes na água variam de acordo com a fonte selecionada e, por isso, é possível segregar o efluente de um conjunto de aparelhos sanitários, definindo as características da água a ser reutilizada.

Os principais critérios que direcionam um programa de reúso de água cinza são:

- preservação da saúde dos usuários;
- preservação do meio ambiente;
- atendimento às exigências relacionadas às atividades a que se destina;
- quantidade suficiente ao uso a que será submetida.

Não se deve dispensar o fato de que as AC são passíveis de conter contaminações das mais diversas, pela grande flexibilidade de uso dos aparelhos sanitários. É comum ocorrer situações de usuários que fazem a higienização no banho após a utilização da bacia sanitária, ou a lavagem de ferimentos em qualquer torneira disponível, seja de um tanque ou lavatório, ou ainda a presença de urina na água de banho.

### 3.3.1 Aspectos quantitativos das águas cinzas (AC)

Estudos devem abordar alternativas de sistema de aproveitamento e reúso de água para determinar a quantidade de água gerada (oferta) pelas fontes escolhidas e a quantidade de água destinada às atividades fim (demanda). Tomando-se por base estes valores, devem ser dimensionados os equipamentos, os volumes de reservas necessários, os possíveis volumes complementares de água e escolhidas às tecnologias de tratamentos a serem empregadas. Com base nas alternativas de sistema geradas, determinam-se quais as de maior eficiência, tanto no aspecto técnico quanto econômico.

A oferta de AC é mais abundante em residências se comparada com estabelecimentos comerciais, considerando-se a maior parcela de consumo de água dedicada às atividades de higiene pessoal e preparo de alimentos. Sempre será necessária a realização de estudos econômicos adequados para verificar a viabilidade de se efetuarem os investimentos para a separação e tratamento de AC em edifícios (CETESB, 2012). Essa avaliação pode levar em conta a utilização de águas pluviais, proporcionando melhores condições para a viabilidade econômica. Os principais elementos associados ao projeto de sistemas de reúso direto de AC são: pontos de coleta de AC e pontos de uso; determinação de vazões disponíveis; dimensionamento do sistema de coleta e transporte das AC brutas; determinação do volume de água a ser armazenado; estabelecimento dos usos das AC tratadas; definição dos parâmetros de qualidade da água em função dos usos estabelecidos; tratamento da água; e dimensionamento do sistema de distribuição de água tratada aos pontos de consumo.

O sistema predial de reúso, bem como o sistema de coleta de AC, devem ser concebidos e executados de forma independente dos demais sistemas hidráulicos da edificação. Na Figura 3-2 é apresentado um esquema do sistema de reúso de AC, proposto no manual de conservação e reúso de água em edificações (ANA-FIESP, 2005).



Figura 3-2 – Sistema de reúso de águas cinzas.

Fonte: ANA-FIESP - Manual de conservação e reúso de águas cinzas.

### 3.3.2 Aspectos qualitativos das águas cinzas (AC)

Embora exista um consenso internacional no reúso de AC, pode-se descrever como águas residuais que possuem baixo índice de matéria orgânica e bactérias patogênicas – indicadas, por medidas de DBO e coliformes fecais, pois são derivadas de chuveiros, lavatórios de banheiros, tanques, e até alguns processos comerciais e industriais. Ao ser acrescentado o resíduo da máquina de lavar roupa, aumenta a concentração de substâncias, e assim, aumentam os custos com tratamento. Quando se avalia a água de pias de cozinha/máquinas de lavar louça, esses índices aumentam ainda mais devido à grande quantidade de matéria orgânica, óleos e graxas e podem proliferar bactérias. Essa água é denominada “AC escura” (ALLEN *et al.*, 2010).

As AC, para serem reutilizadas, devem ser separadas das águas negras, as quais possuem maiores índices de coliformes termotolerantes e das amarelas, ou seja, urina. Para isso é necessário uma remodelagem das instalações de esgoto sanitário dos estabelecimentos.

A Figura 3-3 mostra a divisão em parcelas da contribuição de águas cinzas e de águas negras, considerando a bacia sanitária (águas negras), cozinha, banho e lavanderia (águas cinzas).

Água cinza é qualquer água residual residencial a partir de processos domésticos como lavar louça, roupa e tomar banho (JEFFERSOSON *et al*, 2000). A água cinza corresponde a 41 a 91% de esgoto residencial (BOYJOO *et al*, 2013). Composto de água residual gerados a partir de todas as casas saneadas, exceto dos vasos sanitários (que são águas negras). Água cinza se distingue da água negra pela quantidade e composição dos seus produtos químicos e contaminantes biológicos (de fezes ou substâncias químicas tóxicas). A água negra recebe esse nome pela sua aparência turva e por não ser reutilizada.

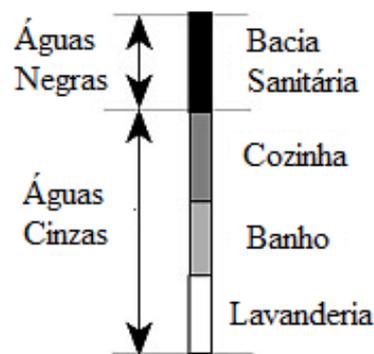


Figura 3-3 – Parcelas de contribuição de águas cinzas e de águas negras.  
 Fonte: <http://www.greywater.com/pollution.htm>, acessado em 14/04/2013.

A fim de melhor identificar e gerir esse sistema de separação de águas deve-se compreender a origem e a composição dessas águas residuais. Os parâmetros físicos, químicos e biológicos das AC variam por diversos fatores, entre eles estão a qualidade da água de abastecimento, o uso de produtos de limpeza, a localidade, a faixa etária dos usuários, a classe social, a fonte de AC utilizada, entre outros.

Dentre os parâmetros físicos, de maneira geral, os índices de turbidez e concentração de sólidos são altos, dando um aspecto desagradável, principalmente, à visão e ao olfato, causando rejeição por parte dos usuários, além de impedir a ação de alguns agentes desinfetantes, como o ultra violeta e o cloro, por proteger os patogênicos (RAPOPORT, 2004).

Quanto aos parâmetros químicos, as AC possuem o pH próximo à neutralidade, assim como os esgotos sanitários domésticos tradicionais. O que pode provocar um aumento desse

valor, nas AC, é a presença de sabões nas máquinas de lavar e tanques. Níveis de pH fora da neutralidade podem provocar corrosões e também prejudicar o tratamento de água, diminuindo a velocidade do mesmo.

Os compostos nitrogenados têm pouca presença nas AC, pois provêm das águas amarelas, principalmente. Os compostos fosforados, por sua vez, têm concentrações semelhantes ou maiores que a do esgoto sanitário, pois sua fonte são os detergentes superfosfatados e sabões, que se encontram nas águas residuais de máquinas de lavar, tanques e cozinhas. Faz parte do processo biológico das algas, causando a eutrofização das águas.

Mesmo sendo separada das águas negras, a presença de matéria orgânica nas AC é expressiva; emana de restos de alimentos, óleos e graxas, sabões e resíduos corporais. A matéria orgânica tem importância devido à toxicidade, às condições sépticas, ao consumo de oxigênio e sua decomposição pode apresentar maus odores.

Há também sulfetos, os quais são oriundos de sabões e detergentes e da decomposição de matéria orgânica. O principal problema destes compostos de enxofre é o surgimento de odores desagradáveis, os quais são gerados no decorrer do tempo devido à formação do gás sulfúrico ( $H_2S$ ), que ocorre naturalmente em ambientes redutores.

Nas AC que provêm da cozinha, a concentração de óleos e graxas é semelhante ao do esgoto sanitário. São oriundos principalmente da preparação dos alimentos, mas também, de resíduos presentes no corpo e nas roupas, ou seja, chuveiro, tanque e máquina de lavar também contribuem na concentração desse parâmetro. Se não retirados previamente, a presença desses compostos pode prejudicar o tratamento posterior (GONÇALVES, 2006).

Os parâmetros biológicos são de extrema importância na questão de saúde do usuário. Posto que a água cinza não receba contribuição das bacias sanitárias, ainda há presença significativa de coliformes termotolerantes, representado essencialmente pelo *Escherichia coli* (origem exclusivamente fecal), os quais não são patogênicos, mas sua presença em grande número é um bom indicador da existência de micro-organismos responsáveis pela transmissão de doenças de veiculação hídrica (ANA, 2009). Esse indicador é oriundo da higienização das mãos, banhos, lavagem de roupas e mais, da higienização de alimentos contaminados.

A composição das AC podem variar de acordo com a fonte que as fornece, na Tabela 2, são explicitados os possíveis conteúdos presentes nos seus respectivos efluentes.

Tabela 2 – Composição das águas cinzas de acordo com a fonte.

<b>Fonte das águas cinzas</b>	<b>Possíveis conteúdos</b>
Máquinas de lavar roupa	Sólidos Suspensos (sujeira e fibras de algodão), matéria orgânica, óleos e graxas, sódio, nitratos e fosfatos (detergentes), sais dissolvidos e pH alterado, alvejantes;
Máquinas de lavar louça	Matéria orgânica e sólidos suspensos (partículas de comida), bactérias, sais dissolvidos e pH alterado, óleos e graxas, detergentes, água quente;
Lavatórios e chuveiros	Bactérias, cabelos, matéria orgânica e sólidos suspensos (pele, células), óleos e graxas, resíduos de sabão e detergente, água quente;
Pias, inclusive de cozinhas	Bactérias, matéria orgânica e sólidos suspensos (partículas de comida), óleos e graxas, resíduos de sabão e detergente.

Fonte: Adaptado de Allen *et al.*, 2010, apud WHO-ROEM, 2006

Numericamente, os teores dos parâmetros nas AC podem oscilar bastante. Pesquisas feitas por todo o mundo apresentam valores distintos como é visto na Tabela 3 e Tabela 4, onde estão caracterizadas as AC bruta de baixa e alta carga, segundo pesquisas em diferentes países.

As AC provenientes da lavanderia, segundo Boyjoo *et al.*(2013), apresentam parâmetros físicos mais elevados, condutividade elétrica, turbidez e sólidos suspensos, cujos valores estão no intervalo de 190-3000  $\mu\text{Scm}^{-1}$ , 19- 444 NTU e 35-315mg/L, respectivamente.

Para Eriksson *et al.* (2002), é necessária a caracterização dos parâmetros físicos da AC, assim como os compostos químicos e micro-organismos antes da reutilização. Os parâmetros físicos analisados foram a condutividade elétrica (CE), cor aparente e verdadeira, sólidos dissolvidos, suspensos, sedimentáveis e totais, temperatura e turbidez. Os parâmetros químicos compreendem a DQO, DBO, pH e tensoativos; e os parâmetros microbiológicos analisados foram os coliformes totais e termo tolerantes.

O Quadro 1 estabelece uma relação com as diretrizes de reutilização de água e normas de diferentes países e suas diversas aplicações.

Tabela 3 – Caracterização de águas cinzas de baixa carga.

Parâmetros das AC de baixa carga	U N	<b>Austrália</b> (Christova - Boal <i>et al.</i> , 1996) <b>B</b>	<b>França</b> (Chaillou <i>et al.</i> , 2011) <b>B, S</b>	<b>Alemanha</b> (Nolde, 2000) <b>B, S</b>	<b>Reino Unido</b> (Pidou <i>et al.</i> , 2008) <b>S</b>	<b>Brasil</b> (Gonçalves <i>et al.</i> , 2006) <b>S, W</b>	<b>Omã</b> (Prathapar <i>et al.</i> , 2005) <b>S, W</b>
Condutividade elétrica (CE)	$\mu\text{Scm}^{-1}$	82-250	468	-	-	-	14-15
Sólidos suspensos	$\text{mg L}^{-1}$	48-120	125	-	-	103-149	353-505
Sólidos sedimentáveis	$\text{mg L}^{-1}$	-	-	-	-	-	-
Turbidez	NTU	60-240	150	-	42	-	133-375
DQO	$\text{mg L}^{-1}$	-	136	-	575	582-653	58-294
DBO	$\text{mg L}^{-1}$	76-200	240	50-300*	166	165-265	42,1-130
Potencial de Hidrogênio (pH)	-	6,4-8,1	7,58	-	7,3 - 7,8	7,3 - 8,0	7,1-7,4
Surfactantes	$\text{mg L}^{-1}$	-	6,8	-	-	-	14,9-41,9
Amônia ( $\text{NH}_3 / \text{NH}_4^+$ )	$\text{mg L}^{-1}$	< 0,1-15	-	-	-	-	-
Fósforo ( $\text{PO}_4^{3-}$ )	$\text{mg L}^{-1}$	-	-	-	1,3	0,2-0,6	-
COT	$\text{mg L}^{-1}$	-	50,6	26-95	-	-	70-83
Coliformes totais	Contagem / 100MI	500 a $2,4 \times 10^7$	-	10 a $1,0 \times 10^3$	-	-	>200,5
Coliformes termo tolerantes	Contagem / 100mL	-	$4,76 \times 10^5$	-	-	$1,01 \times 10^1$ $2,63 \times 10^4$	>200,5

Fonte: Pesquisas em diferentes países. B-Banheira; S-Chuveiro; W – Lavatório, \* DBO<sub>7</sub>.

Tabela 4 – Caracterização de águas cinzas de alta carga.

Parâmetros das AC de alta carga	U N	<b>Austrália</b> (Christova - Boal <i>et al.</i> , 1996) <b>L</b>	<b>Itália</b> (Ciabatti <i>et al.</i> , 2009) <b>L</b>	<b>Brasil</b> (Paulo <i>et al.</i> , 2009) <b>S, L, K</b>	<b>Eslovênia</b> (Sostar-Turk <i>et al.</i> , 2005) <b>L</b>	<b>Brasil</b> (Gonçalves <i>et al.</i> , 2006) <b>L</b>	<b>Omã</b> (Prathapar <i>et al.</i> , 2005) <b>L</b>
Condutividade elétrica (CE)	$\mu\text{Scm}^{-1}$	190-1400	1300-3000	-	-	-	-
Sólidos suspensos	$\text{mg L}^{-1}$	88-250	90-200	220	35	53	315
Turbidez	NTU	50-210	40-150	254	-	-	444
DQO	$\text{mg L}^{-1}$		400-1000	646	280	521	231,3
DBO	$\text{mg L}^{-1}$	48-290		435	195	184	179,7
Potencial de Hidrogênio (pH)	-	9,3-10	7-9	-	9,6	9,1	8,3
Surfactantes	$\text{mg L}^{-1}$	-	0,01-25	-	10,1	-	118,3
Nitrato ( $\text{NH}_3$ )	$\text{mg L}^{-1}$	-	-	-	2,75	-	-
Amônia ( $\text{NH}_3 / \text{NH}_4^+$ )	$\text{mg L}^{-1}$	<0,1-1,9	-	13,3	2,45	-	-
Fósforo ( $\text{PO}_4^{3-}$ )	$\text{mg L}^{-1}$	-	-	5,6	9,9	-	-
COT	$\text{mg L}^{-1}$	-	-	-	-	14,4	174,6
Coliformes totais	Contagem/ 100mL	2,3x10 <sup>3</sup> a 3,3x10 <sup>5</sup>	-	5,4x10 <sup>8</sup>	-	-	>200,5
Coliformes termo tolerantes	Contagem/ 100mL	-	-	5,4x10 <sup>6</sup>	-	-	>200,5

Fonte: Pesquisas em diferentes países. L-Lavanderia; K-Cozinha, S-Chuveiro.

Normas	Aplicação	Turbidez (NTU)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	SS (mg/L)	pH
Austrália - Victoria (EPA – Victoria, 2003)	Urbana, agrícola e ambiente com a exposição humana.	< 2	< 10	-	< 5	6 - 9
	Urbana, agrícola e ambiente com a exposição humana controlada.	-	< 20	-	< 30	6 - 9
Austrália – ACT (ACT – 2004)	Irrigação subsuperficial.	-	≤ 20	-	≤ 30	-
	Irrigação superfície, lavabo e descarga.	-	≤ 20	-	≤ 30	-
Canadá (Chaillou et al., 2011)	Água para uso doméstico (por exemplo, lavabo, descarga)	< 2	< 10	-	< 10	-
China (Lin et al, 2005)	Uso não potável (ex. vaso sanitário)	≤ 10	≤ 10	≤ 50	≤ 10	6,5 - 9
União Europeia (Nolde, 2005)	Águas balneárias	-	< 5	-	-	-
Alemanha (Nolde, 2000)	Água para reúso	-	< 5	-	-	-
Grécia (Andreadakis et al.,2001)	Restrita para irrigação	-	< 25	-	< 35	-
	Irrestrito para irrigação / reutilização não potável urbana.	< 2	< 10	-	< 10	-
Itália (Ciabatti et al.,2009)	Descargas para águas superficiais	-	-	< 160	< 80	5,5 – 9,5
	Descargas de vaso sanitário	-	-	-	-	5,8 – 8,6
Japão (Asano et al.,1996)	Irrigação / paisagismo	-	-	-	-	5,8 – 8,6
	Água para meio ambiente	≤ 10	≤ 10	-	-	5,8 – 8,6
	Categoria a irrigação (legumes cozidos)	-	< 30	< 100	< 50	6 - 9
Jordania (Halalsheh et al., 2008)	Irrigação categoria b (plantações de árvores)	-	< 200	< 500	< 150	6 - 9
	Irrigação categoria c ( forrageiras)	-	< 300	< 500	< 150	6 - 9
Coreia (Kim et al., 2009)	Reutilização não potável irrestrita	< 2	-	< 20	< 5	-
Eslovênia (Sostar-Turk et al.,2005)	Descarga p/ águas superficiais	-	< 30	< 200	< 80	6,5 - 9
Espanha (Chaillou et al.,2011)	Reúso urbano e residencial	< 2	-	-	< 10	-
Taiwan (Lin et al., 2005)	Uso não potável (ex. vaso sanitário)	-	≤ 10	-	-	6,8 – 8,5
Turquia (Atasoy et al., 2007)	Irrigação	-	≤ 100	-	≤ 45	6,5 – 8,5
EUA (USEPA, 1992)	Reutilização urbana (paisagismo, irrigação, descarga)	≤ 2	≤ 10	-	-	6 – 9
OMS, orientações da para reutilizar AC (OMS, 2006).	Restrita irrigação	-	-	-	-	-
	Irrestrita irrigação	-	-	-	-	-

Quadro 1 – Diretrizes de reutilização de água e normas de diferentes países.

Fonte : adaptado de Boyjoo, et al, 2013.

### 3.4 Tratamento das águas cinzas (AC)

Segundo Jefferson *et al.* (1999), é comum o reúso da AC sem tratamento; a água do banho vem sendo usada à séculos, principalmente para regar jardins e gramados; no entanto, o tratamento das AC antes da reutilização é seguramente recomendado.

Irrigação a longo prazo com AC não tratada pode levar à acumulação de sais, surfactantes, alcalinidade, óleo e graxa, afetando as propriedades dos solos e plantas (como a capacidade de retenção de água) e, eventualmente, contaminar as águas subterrâneas (CHRISTOVA-BOAL *et al.*, 1996; MISRA *et al.*, 2010; PINTO e MAHESHWARI, 2010).

Águas cinzas não tratadas com a finalidade para descargas de vasos sanitários podem deixar manchas no vaso sanitário, incentivando o uso de banheiros mais limpos, reduzindo, portanto, a viabilidade de reutilização da água cinza (CHRISTOVA-BOAL *et al.*, 1996).

O tratamento das águas cinzas é similar ao preconizado nas estações de tratamento de esgoto, ressaltando que deve ser construída no local, em instalações de escalas reduzidas. O tratamento das águas servidas tem por objetivos a remoção de sólidos presentes (grosseiros, areia, óleos e graxas e sólidos sedimentáveis), remover a matéria orgânica contida nos sólidos finamente particulados e nos dissolvidos, remover patogênicos, nutrientes e fósforo (TELLES e COSTA, 2010).

As etapas de tratamento vão depender da água efluente que se deseja obter; segundo Telles e Costa (2010), o tratamento pode abranger diferentes etapas:

- Tratamento prévio ou preliminar: têm por objetivo a separação do afluente líquido dos materiais sólidos mais grosseiros, detritos minerais, materiais carreados e óleos e graxas. Alcançam este objetivo as grades, caixas de areia, caixas de gordura ou tanque de equalização de vazões, entre outros;
- Tratamento primário: usualmente caracterizado por uma unidade de sedimentação, logo após o tratamento prévio, a fim de remover os sólidos sedimentáveis, que chegam ao fundo da unidade por gravidade ou por adição de produtos químicos gerando lodo. Usualmente, a soma dessas duas etapas remove cerca de 60 a 70% dos sólidos suspensos, de 20 a 45% da DBO e de 30 a 40% dos coliformes. Os processos que cumprem com esta etapa são os tanques de sedimentação ou clarificadores;

- Tratamento secundário ou biológico: tem por função promover a degradação biológica da matéria orgânica presente nos sólidos dissolvidos ou finamente particulados. Auxilia também na remoção de coliformes e nutrientes (nitrogênio e fósforo). Pode ser realizado de forma biológica aeróbia, anaeróbia ou a combinação em série das duas:
  - a) No processo aeróbio, onde as bactérias e archaeas aeróbias são o principal agente, o oxigênio é inserido no sistema artificialmente, como é o caso dos lodos ativados e das lagoas aeradas, ou naturalmente, como nos filtros biológicos. Nas lagoas de estabilização, o oxigênio é introduzido através da fotossíntese, devido à presença de algas e à incidência de luz; e, no lodo de fundo, ocorre a decomposição anaeróbia. De toda matéria orgânica que entra no processo, cerca de 50 a 60% é formadora de biomassa microbiana.
  - b) O processo anaeróbio é baseado na ação de bactérias anaeróbias, ou seja, o processo não usufrui do oxigênio. É o caso dos reatores anaeróbios de fluxo ascendente, filtros anaeróbios de fluxo ascendente, digestores de lodo e tanques sépticos. A grande parte da matéria orgânica que entra no sistema é transformada em biogás, cerca de 70 a 90%, e o volume de lodo gerado é de 5 a 15%;
- Tratamento terciário: é responsável pela finalização do tratamento, removendo a matéria orgânica complementar, os compostos não-biodegradáveis, os sólidos inorgânicos dissolvidos, os poluentes, os nutrientes e as patogenicias, sendo estes dois últimos as principais características da etapa terciária no tratamento de AC:
  - a) Remoção de nitrogênio: processo que exige grande quantidade de bactérias em condições de baixa presença de oxigênio (anóxicas);
  - b) Remoção de fósforo: feita quimicamente, através da introdução de sais de ferro (cloreto férrico) ou alumínio (sulfato de alumínio). Requer equipamentos menores que da etapa biológica, mas gera lodo de difícil tratamento;
  - c) Desinfecção: conceituada como a inativação seletiva de espécies de organismos presente no esgoto, em especial aquelas que ameaçam a saúde humana (GONÇALVES, 2006). A desinfecção é concebida através de processos físicos, como uma lagoa que as vezes age como estágio de desinfecção (DALLAS *et al.*, 2004; MASI *et al.*, 2010), ou químicos sendo que o processo mais comum utilizado para a desinfecção é a cloração

usando hipoclorito de sódio (CHAILLOU *et al.*, 2011) . Dos processos artificiais, a cloração é econômica e a mais comumente utilizada (mesmo processo utilizado no tratamento de água potável); entretanto, há considerável formação de subprodutos tóxicos.

USOS POTENCIAIS	FONTES ALTERNATIVAS DE ÁGUA			
	Pluvial	Drenagem	Máquina de lavar roupas	Lavatório+ Chuveiro
Lavagem de roupas	A+B+F+G	C ou D + F	(D ou E)+B+F+G	A+B+F+G
Descargas em bacias sanitárias				
Limpeza de pisos		C+ F + G		
Irrigação, rega de jardins		C ou D + F + G		
Lavagem de veículos				
Uso ornamental				

Quadro 2 – Sistema de tratamento em função dos usos potenciais e fontes alternativas de água

Os sistemas de tratamento sugeridos devem ser verificados para cada caso específico.

OBS.: Para fins relacionados à construção civil e refrigeração de máquinas os tratamentos devem ser avaliados a cada caso particular.

Tratamentos Convencionais:

A = sistema físico: gradeamento;

B = sistema físico: sedimentação e filtração simples através de decantador e filtro de areia;

C = sistema físico: filtração através de um filtro de camada dupla (areia + antracito);

D = sistema físico-químico: coagulação, floculação, decantação ou flotação;

E = sistema aeróbio de tratamento biológico de lodos ativados;

F = desinfecção; e

G = correção de pH.

Fonte: ANA-FIESP, 2005.

No tratamento de AC, é possível escolher o processo para que o reaproveitamento seja feito de forma segura e econômica; são preferíveis tratamentos com mínima adição química e baixo consumo energético.

Processos biológicos são os mais eficientes para a remoção da matéria orgânica. Os sistemas anaeróbios não geram tanto lodo, porém, associa-los a um sistema aeróbio logo após é interessante, já que é mais eficiente na remoção de turbidez, além de dar polimento ao efluente do processo anaeróbio (GONÇALVES e SILVA, 2005).

O principal processo químico é a coagulação, referenciado por Sostar-Turk *et al.*, 2005; Friedler *et al.*, 2008; Pidou *et al.*, 2008; Ciabatti *et al.*, 2009, utilizando adsorção por carvão ativado granulado (CAG) usado para tratar efluentes de lavanderia, que vem recebendo maior aplicação. A AC foi floculada com sulfato de alumínio e filtrada através de um leito de areia. Uma vez que o filtrado resultante foi ainda elevado conteúdo orgânico, foi submetido a adsorção por CAG (SOSTAR-TURK *et al.*, 2005).

Realiza-se o processo de coagulação e floculação para separar sólidos em suspensão e promover a clarificação da água. Segundo Hespanhol e Mierzwa (2005), na prática do processo de coagulação e floculação, o que interessa é a dosagem de coagulante e a condição ótima para sua aplicação, etapa de relevância no tratamento, uma vez que as etapas subsequentes dependem desta. As reações químicas são rápidas e dependem da energia de agitação, da dose de coagulante do pH e da alcalinidade da água. Para Azevedo Netto *et al.* (1998), estando essas condições adequadas, as reações ocorrem em um tempo reduzido, exigindo assim o desenvolvimento de ensaios específicos com teste de jarros, com os dados obtidos nos ensaios de coagulação aplicados para condições reais.

Após a coagulação, a água com partículas desestabilizadas é submetida ao processo de floculação. Nessa etapa, as partículas sólidas colidem entre si e formam agregados maiores, havendo a decantação ou flotação para após ser encaminhada aos filtros de areia.

As configurações básicas para o tratamento de águas de abastecimento através de filtração direta são apresentadas no Quadro 3, através dos fluxogramas esquemáticos dos sistemas de filtração.

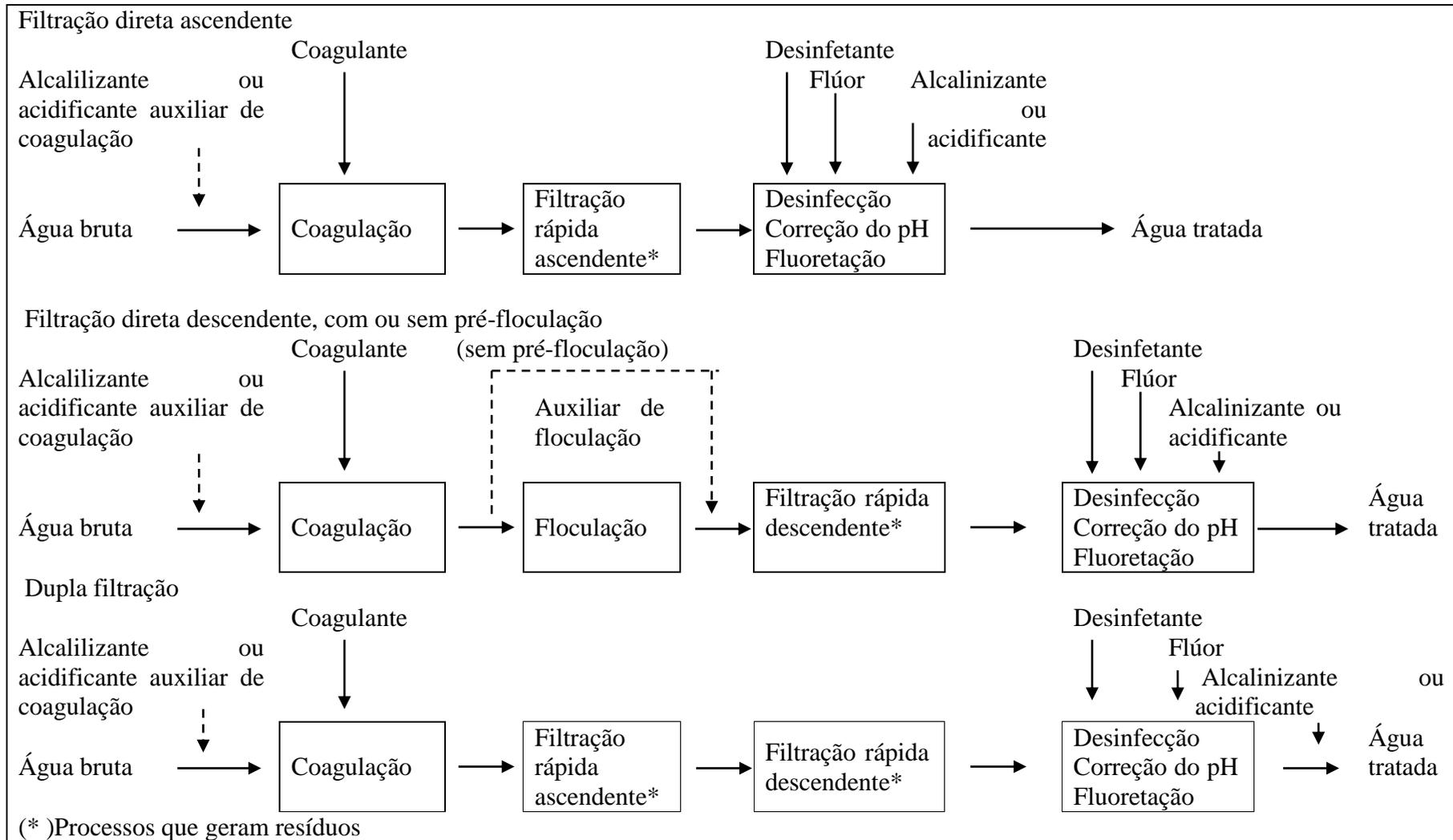
Destacada a configuração de filtração direta descendente (FDD), que foi a utilizada nos ensaios de laboratório no presente estudo, para Di Bernardo (2003) as variações básicas possíveis de serem implementadas são:

- com camada filtrante única, constituída de areia praticamente uniforme:
  - operação com taxa constante e lavagens com água + auxiliar;<sup>1</sup>
  - operação com taxa declinante e lavagens com água + auxiliar;<sup>1</sup>
- com camada filtrante única, constituída exclusivamente de antracito:
  - operação com taxa constante e lavagens com água + auxiliar;<sup>1</sup>
  - operação com taxa declinante e lavagens com água + auxiliar;<sup>1</sup>
- com camada filtrante dupla, constituída de areia e antracito:
  - operação com taxa constante e lavagens com água + auxiliar;<sup>1</sup>
  - operação com taxa declinante e lavagens com água + auxiliar;<sup>1</sup>

<sup>1</sup> As lavagens auxiliares podem ser feitas com a introdução de ar em alternância com a água, ou com uso de sistema injetor de água para lavagem das camadas superficiais do material filtrante.

O processo de filtração direta consiste na passagem da água efluente do sistema de floculação ou flotação, ainda com partículas em suspensão, através do meio filtrante. Segundo Azevedo Netto *et al.* (1998), as partículas ficam retidas no meio filtrante e na saída do filtro o índice de turbidez deve ser inferior a duas unidades de turbidez; os filtros mais comuns utilizam areia ou carvão.

Característica importante no sistema de filtração é a operação cíclica, retendo os particulados presentes na água e, conseqüentemente, obstruindo o leito de filtração, aumentando a perda de carga e diminuindo a vazão. Neste estágio, deve-se interromper a filtração e iniciar o processo de lavagem do meio filtrante, que consiste na passagem de água limpa no sentido inverso da operação de filtração, podendo ser utilizado no processo de lavagem também o ar; na seqüência desta etapa, o meio filtrante está apto para ser utilizado.



Quadro 3 – Fluxogramas esquemáticos dos sistemas de filtração direta para águas de abastecimento.

Fonte: Di Bernardo (2003).

Di Bernardo (2003) destaca como vantagens da FDD a utilização total da camada de areia para filtração, emprego de dupla camada de antracito, areia e menor quantidade de coagulante por unidade de volume de água tratada, conseqüentemente menor produção de lodo. Geralmente a filtração é o último processo na clarificação da água antes do processo de desinfecção.

Conhecer as características da água a ser tratada é fundamental para definir a tecnologia a ser aplicada no tratamento. A caracterização ao longo de um período de tempo é prevista pela NBR 12.216 NB 592 (ABNT, 1992); para a elaboração do projeto da estação de tratamento de água (ETA), conhecer as características da água, que, segundo Di Bernardo (2003), devem ser monitoradas pelo período mínimo de um ano, sendo ideal por mais de cinco anos.

### **3.6 Ensaios de tratabilidade de água**

Os estudos de tratabilidade podem ser realizados em escala de bancada e em escala piloto, permitindo assim definir a opção tecnológica de tratamento adequado. Informações sobre os produtos químicos apropriados, dosagens e aplicação bem como tempo de mistura dos mesmos, servem de parâmetro para implantação das unidades de tratamento, minimizando os custos na implantação e operação dos empreendimentos.

A NBR 12.216 NB 592 (ABNT, 1992), no item 5.12.5, prevê proceder a experiências em filtro-piloto. Na ausência desses estudos, as taxas máximas adotadas devem ser 180 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia, para filtro de camada simples; e, 360 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia, para filtro de camada dupla; e em casos de filtros de fluxo ascendente, a taxa de filtração deve ser de 120 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia. Se os estudos em escala piloto indicarem que é possível produzir água dentro dos parâmetros pretendidos, poderá ter significativa redução de meio filtrante, redução da área e conseqüentemente redução nos custos.

Para Di Bernardo (2003), a seleção adequada do tratamento e estudos de tratabilidade levarão a produzir, água tratada de forma segura, atendendo às finalidades de água com qualidade, prevenindo assim agravos à saúde.

## **4 MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1 Contextualização da pesquisa**

A metodologia empregada na pesquisa foi a técnica do método misto. Segundo Creswell (2007), trata-se de uma pesquisa experimental, ou seja, quantitativa e qualitativa, empregando estratégia de investigação que envolve coleta de dados simultânea ou sequencial.

A pesquisa consiste em três etapas:

- Caracterização quantitativa do consumo de água potável e a produção de água cinza proveniente da máquina de lavar roupas em residência unifamiliar;
- Caracterização dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos das AC segregadas da máquina de lavar roupa;
- Avaliação do desempenho de um processo de tratamento por FDD das AC provenientes da máquina de lavar roupas e seu possível reúso para fins não potáveis.

### **4.2 Caracterização quantitativa da água potável e da água cinza**

#### **4.2.1 Estimativa do consumo de água potável residencial**

Os dados da estimativa de consumo de água potável residencial foram obtidos monitorando o consumo em um prédio multifamiliar. Esse consumo de água foi estimado através da leitura mensal do hidrômetro e dividido pelo número de ocupantes fixos da habitação. As leituras do consumo foram feitas pelo órgão fornecedor, CORSAN, apresentada mensalmente através da fatura de água. Com os dados mensais monitorados, procedeu-se ao cálculo do consumo per capita.

#### 4.2.2 Estimativa da produção de águas cinzas (AC)

A quantificação de AC da residência foi produzida por uma máquina de lavar roupas de funcionamento automático, conforme Figura 4-1. Após o ciclo de lavagem as AC provenientes da lavadora foram acondicionadas em um reservatório, feita a medição diária, anotado em planilha, gerando assim uma tabela de valores de produção de AC.

Foi utilizado um reservatório de policloreto de vinil (PVC) para medição do volume de AC provenientes da lavagem de roupas e determinação do volume em litros.



Figura 4-1 – Máquina de lavar roupas.

A observação da rotina da produção da AC foi efetuada no período de novembro/2012 a fevereiro/2014, totalizando 307 amostras, compreendendo a observação dos itens:

- Quantidade de pessoas residentes na habitação;
- Frequência de funcionamento da máquina de lavar roupas;
- Quantificação do volume de AC gerado pela máquina de lavar roupas diariamente.

Com o levantamento quantitativo individual do balanço entre o suprimento e a demanda de AC, fez-se a estimativa de reúso desta água.

As características de programação da máquina de lavar roupas são apresentadas no Quadro 4, conforme manual do fabricante; esse ressalta que os dados devem ser considerados meramente indicativos, já que podem variar segundo a quantidade e o tipo de roupa, a temperatura da água de entrada e a temperatura ambiente.

Tipo de tecido	Programa	Tempo (min.)	Funções	Grau de sujidade	Consumo medido (litros)
Pesados	1	130	Pré-lavagem/lavagem longa/ 5 enxágues com centrifugação e anti rugas.	muito sujo	110
	2	117	Lavagem longa/5 enxágues com centrifugação e anti rugas.	muito sujo	90
	3	107	Lavagem média/5 enxágues com centrifugação e anti rugas.	sujo	90
	4	97	Lavagem curta / 5 enxágues com centrifugação e anti rugas.	pouco sujo	90
Normais	5	87	Lavagem longa/ 5 enxágues com centrifugação e anti rugas.	muito sujo	90
	6	77	Lavagem média/ 5 enxágues com centrifugação e anti rugas.	sujo	90
	7	57	Lavagem curta/ 5 enxágues com centrifugação e anti rugas	pouco suja	90
	8	10	Drenagem / centrifugação com anti rugas.	qualquer	-
Delicados	9	62	Lavagem longa/ enxágues com centrifugação e anti rugas	muito suja	45
	10	52	Lavagem média / enxágues com centrifugação e anti rugas	sujo	45
	11	42	Lavagem curta/enxágues com centrifugação e anti rugas	pouco suja	45
	12	7,5	Centrifugação e anti rugas.	-	-
Novos atalhados	13	35	Lavagem / enxágues com centrifugação e anti rugas.	-	40
	14	5	Centrifugação e anti rugas	-	-

Quadro 4 – Características da programação da máquina de lavar roupas  
 Fonte: Continental (1991) - Manual de instruções lavadora de roupas continental.

### 4.3 Caracterizações qualitativas das águas cinzas

Para realização da pesquisa, foram consideradas amostras de AC coletadas de todos os ciclos da máquina de lavar roupas (pré-lavagem, lavagem, primeiro enxague e segundo enxague), ou seja, a mistura desses efluentes.

Da coleta até o início das análises laboratoriais, foi respeitado o tempo máximo de quatro horas, postas amostras para análise em garrafas de poli tereftalato de etila (PET), acondicionadas em caixa térmicas de polietileno expandido e transportadas para o Laboratório de Engenharia e Meio Ambiente – LEMA; e, LabCAmb – Laboratório de Controle Ambiental, para efetuar as análises, ambos da UFSM.

Os parâmetros físicos analisados foram condutividade elétrica, cor aparente e verdadeira, sólidos dissolvidos, suspensos, sedimentáveis e totais, temperatura, turbidez; os parâmetros químicos foram demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), pH, surfactantes; e as análises microbiológicas efetuadas foram coliformes totais e coliformes termo tolerantes, totalizando 43 amostras, conforme APÊNDICE A – Resultados das análises físico-químicas e biológicas, no período de 11/11/13 a 03/04/2014, procedente da máquina de lavar roupas da residência pesquisada. provenientes da máquina de lavar roupas, conforme detalhado na Tabela 5. As análises seguiram o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA *et al.*, 2005).

Tabela 5 – Resumo da metodologia das análises dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos.

Parâmetro	Limite de Detecção	Métodos	Métodos referência (APHA <i>et al.</i> , 2005)
Condutividade elétrica (µS/cm)	0,5	Potenciométrico	2510 B
Cor aparente (u C)	1	Espectrofotométrico	2120 C
Cor verdadeira (u C)	1	Espectrofotométrico com prévia filtração em membrana de 0,45µ m	2120 C
Sólidos dissolvidos Totais (mg/L)	1	Gravimétrico	2540 B
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	1	Gravimétrico	2540 B
Sólidos Sedimentáveis Totais (mg/L)	1	Gravimétrico	2540 B
Sólidos Totais (mg/L)	1	Gravimétrico	2540 B
Temperatura (°C)	0,1	Thermometric	2550B
Turbidez (uT)	0,1	Neftelométrico	2130 B
DBO (mg/L)	0,1	Winckler adaptado para azida	-
DQO		Oxidação por dicromato de potássio em meio ácido reciclo fechado	5220 D
pH	0 a 14	Método eletrométrico	4500-H <sup>+</sup> B
Surfactantes (mg/L)	0,1	Surfactante aniônico como MBAS	5540 C
Coliformes totais (UFC/100ml)	1 NMP /100 mL	Idexx – Colilert	9223B

Fonte: APHA *et al.*, 2005. *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 21. ed. Washington: USA: American Public Health Association, 2005.

#### 4.4 Processo de tratamento das águas cinzas por filtração

O procedimento para avaliação do processo de tratamento das AC oriundas da máquina de lavar roupas foi a realização de ensaios de tratabilidade da água, chamados ensaios de bancada, processo químico e físico, através coagulação, floculação, flotação e filtração através de meio granular. Foram testados diferentes materiais, areia com granulometrias variadas, resíduo de material de construção civil e basalto britado, selecionado o material filtrante com melhor desempenho para os parâmetros pré-definidos e posterior passagem por filtros de laboratório de carvão ativado granular (FLCAG). Os parâmetros principais de controle para avaliação do melhor material filtrante foram, turbidez, cor aparente e DQO.

##### 4.4.1 Equipamentos

Para a realização dos ensaios foram utilizado diversos equipamentos:

Reatores estáticos, teste de jarros, marca PoliControl, modelo FlocControl III – 10 a 600 rpm;

Flotador de bancada, marca JBF Aquafloc, modelo SAT-30BP;

Turbidímetro, marca PoliControl, modelo AP 2000P;

Colorímetro, marca QUIMIS modelo Q406;

Compressor de ar, marca PEAH, 2.0 Hp;

Peagâmetro digital marca inoLab, modelo Multi Level 3;

Condutivímetro, marca Ávila Científica;

Seladora marca Quanti Tray Sealer, modelo Model 2X;

Encubadora marca EletroLab, modelo EL 101/3E, estufa DeLeo; e,

materiais auxiliares como vidrarias, balança eletrônica, fogão, cronômetro digital, termômetro de bulbo, reservatório, provetas, béckers e materiais auxiliares.

#### 4.4.1.1 Teste de jarros

A Figura 4-2, mostra o equipamento teste de jarros utilizado no experimento; os jarros têm capacidade para dois litros, são de acrílico transparente, base quadrada, dimensões internas de 155mm x 155mm e com graduação em centímetros. A saída para coleta das amostras está localizada sete centímetros abaixo do nível d'água do jarro cheio e interligado por meio de mangueiras de silicone.

Os agitadores, fabricados em aço inox com paleta de eixo vertical com dimensões de 25 mm x 75 mm, ficaram no experimento a 64 mm do fundo da base; e a coleta da água decantada feita a 70 mm abaixo do nível de água do jarro com dois litros de água. É acionado por sistema mecânico de polias, tracionado por correia dentada interligada a motor elétrico dotado de caixa redutora, que permite obter rotação estáveis entre 15 e 490 rpm, que corresponde ao gradiente de velocidade de 15 e  $1200s^{-1}$ . A rotação foi ajustada por programação automática na elaboração dos ensaios.



Figura 4-2 – Equipamento de Teste de Jarros Marca PoliControl.

O sistema de dosagem dos produtos químicos é composto de suportes com cubetas de vidro, 12 cubetas, permitindo assim a dosagem simultânea; a coleta de água foi efetuada através de 12 béckers de acrílico ou vidro, dois para cada jarro, através de uma forma deslizante. No equipamento é possível realizar ensaios simulando várias etapas do tratamento em ciclo completo como: pré-oxidação, adsorção em carvão ativado pulverizado, coagulação, floculação e sedimentação. E com o acoplamento da bancada dos filtros de laboratório,

filtração em areia e adsorção com carvão ativado. No teste de jarros, foram feitas a dosagem de produtos químicos, mistura, coagulação, floculação, decantação ou flotação, com posterior filtração em areia e adsorção em carvão ativado granular.

O ajuste na rotação das paletas do equipamento tem correspondência de um gradiente de velocidade, esse é o parâmetro usado entre o agitador de bancada e um agitador em escala real. A relação entre a rotação das paletas e o gradiente de velocidade médio no interior do jarro também depende da temperatura da água, conforme Figura 4-3.

Durante a realização dos ensaios, a rotação das paletas varia para simular cada etapa do tratamento. A rotação alta no início representa a agitação provocada pela unidade de mistura rápida e na sequência a rotação baixa reproduz a mistura lenta ou floculação.

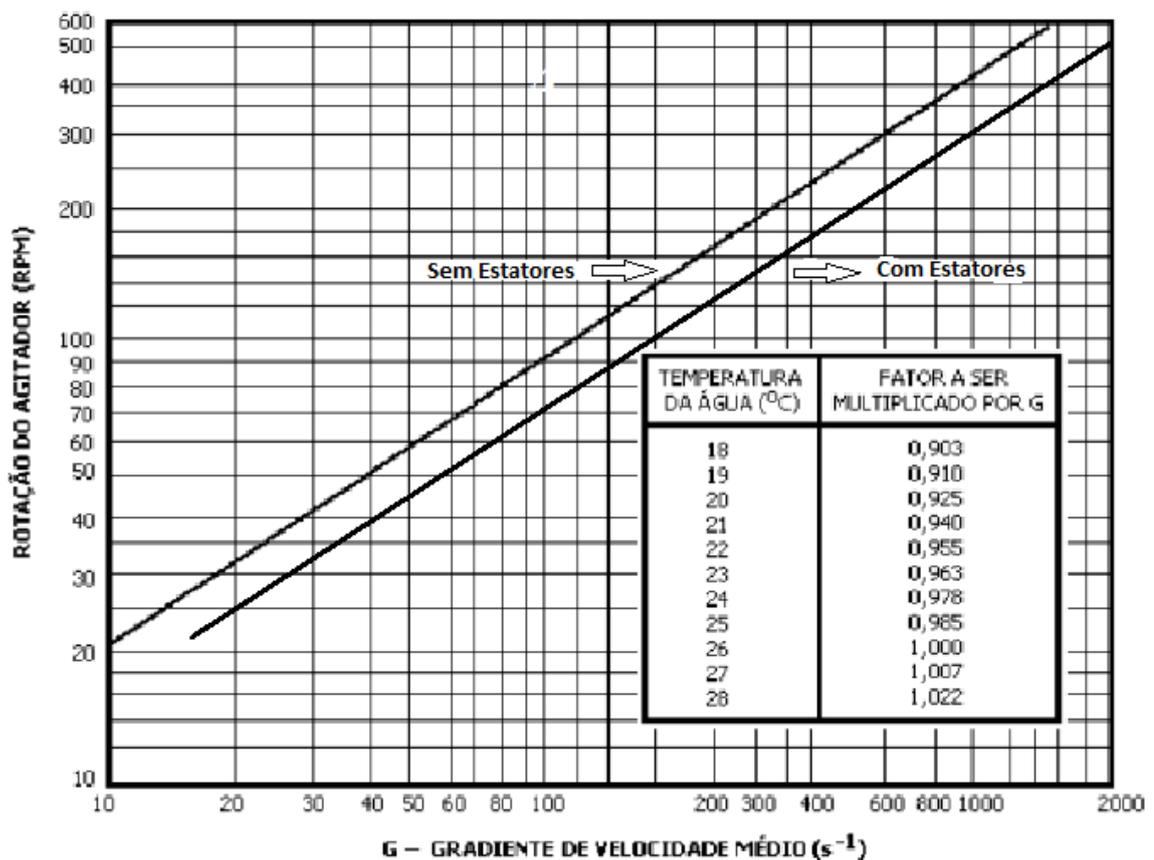


Figura 4-3 – Figura da relação entre a rotação da paleta do equipamento, teste de jarros em função do gradiente de velocidade média e a relação entre a temperatura da água e o fator de correção do gradiente de velocidade.

Fonte: PoliControl, manual técnico, 2013.

Para a leitura dos parâmetros cor aparente, turbidez, pH e DQO, o volume de 50 mL é suficiente, para obter essa quantidade, o tempo de coleta é da ordem de 10s; antes de cada coleta é preciso efetuar o descarte da água que pode permanecer no interior do sistema de coleta, de modo a evitar interferências na amostragem.

O descarte era realizado com tempo de 3 a 5s, com a velocidade de sedimentação desejada; O tempo médio da coleta pode ser calculado através da equação (1).

$$T_s = \frac{h_s}{V_s} \quad \text{equação (1)}$$

onde,

$T_s$ : tempo médio da coleta (min), contando a partir do final da floculação até a metade do intervalo de tempo de coleta;

$V_s$ : velocidade de sedimentação (cm/min); e

$h_s$ : altura de sedimentação (cm), igual a 7 cm na primeira coleta.

Para obter o tempo médio da coleta, divide-se a altura de sedimentação da borda do jarro pela velocidade pretendida.

Para exemplificação de uma velocidade de sedimentação de 3,0 cm/min, descarte 3s, o tempo médio de coleta resulta em 2' 20"; a coleta de 50 mL foi feita da seguinte forma:

0'00" – início da sedimentação;

2'12" – fim da sedimentação e início do descarte;

2'15" – fim do descarte e início da coleta de água decantada com velocidade de sedimentação de 3,0 cm/min; e

2'25" – fim da coleta de água.

Para os ensaios de flotação, o parâmetro a ser relacionado com as coletas é a velocidade ascensional; após a recirculação de água saturada com ar, aciona-se o cronômetro e inicia-se a contagem do tempo para a coleta do subnadante. De forma análoga ao exposto acima efetua-se o cálculo, atentando para que no flotor a saída da célula de acrílico está a 2,5cm do fundo do vaso e na altura de 16,5 cm.

#### 4.4.1.2 Flotador

Segundo Maia e Bezerra (1981), Aisse *et al.* (2001), Carissimi(2007), os processos convencionais de separação sólido-líquido por flotação se classificam de acordo com o método de geração de bolhas e têm como base os processos de Eletro-Flotação, Flotação por Ar dissolvido/microflotação (FAD) e Flotação por Ar Induzido (FAI). O saturador de bancada utilizado foi o equipamento de FAD, composto por vaso saturador, volume útil de três litros, duas células de flotação, de acrílico, com volume de dois litros e sistema de despressurização da água saturada. A Figura 4-4 mostra o equipamento utilizado para flotação da água cinza.

A entrada de ar sob pressão de saturação, respeitando o limite de  $6 \text{ kgf/cm}^2$ , ( $\cong 0,6 \text{ MPa}$ ), conforme recomendado pelo fabricante, e a saída do efluente no fundo da célula de flotação interligado por meio de mangueiras.



Figura 4-4 – Saturador de bancada

A água cinza que passou pelo processo de flotação foi proveniente do teste de jarros, ou seja, a mistura e floculação nos jarros e após transferida para célula do flotador; a taxa de recirculação; foi calculada em função do volume de água introduzida no jarro ( $V_r$ ), dividindo pelo volume do mesmo ( $V_j$ ), como mostra a equação (2).

$$T_r = V_r / V_j \quad \text{ou,} \quad V_r = T_r \cdot V_j \quad \text{equação (2)}$$

$$h_r = V_r / A_i \quad \text{equação (3)}$$

em que:

Para a flotação da água de estudo, foram utilizadas as melhores condições referentes aos parâmetros de controle obtidos no teste de jarros. A água coagulada e floculada foi transferida para o jarro de acrílico do flotador.

Para calcular o acréscimo na altura de água no jarro ( $h_r$ ), considerada a área interna do jarro ( $A_i$  em  $\text{cm}^2$ ) e o volume de água a ser introduzido ( $V_r$ ), conforme equação (3).

$T_r$ : taxa de recirculação (%)

$V_r$ : volume de água de recirculação (mL);

$V_j$ : volume do jarro (L); e

$h_r$ : altura adicional devido a água de recirculação (cm)

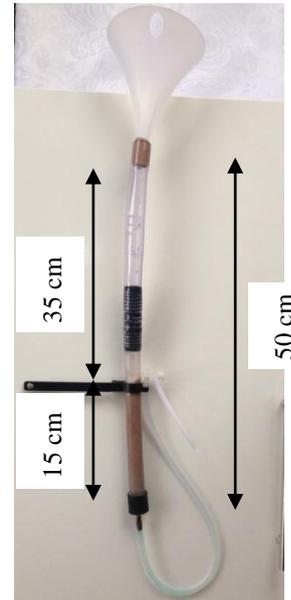
O volume de água saturada com ar foi de 100 mL, correspondente a uma taxa de recirculação de 5%, mínima recomendada por Di Bernardo *et al.* (2011), o controle da entrada de água foi feito na face frontal do jarro, acima do nível de água inicial

#### 4.4.1.3 Filtros de laboratório

Com a conexão da bancada que traz os filtros de laboratório interligados ao efluente da saída do teste de jarros, a água coagulada, floculada (por flutuação ou flotação), foi então filtrada. O conjunto de filtros é composto de dois suportes, seis de material filtrante diversos, 4 de areia de diferentes granulometrias, um com resíduo de material de construção civil e um com basalto britado e os outros seis filtros com carvão ativado granular (CAG), todos os filtros acoplados na bancada e com auxílio de funis na entrada para facilitar o acesso da água. A Figura 4-5 (a) mostra a bancada, teste de jarros e filtros de laboratório acoplados.



Bancada, filtros de areia e carvão (a)



Filtro de laboratório modelo (b)

Figura 4-5 – Bancada e detalhe do filtro

Os filtros foram construídos em PVC transparente, diâmetro nominal (DN) de 25 mm e diâmetro interno (DI) de 19 mm; possui uma tela na parte inferior de manta geotêxtil (fundo falso), para evitar a saída do material granular; a altura total do filtro é de 50 cm e a espessura do meio filtrante é de 15 centímetros. Com o objetivo de facilitar a inserção e remoção do material filtrante, foi colocado uma conexão sobre o meio do filtro, visto que a cada ensaio o material foi substituído.

O sistema de coleta foi executado com mangueira de silicone de seis milímetros de diâmetro, interligada na parte inferior do filtro, conectada por um suporte de cobre que une o PVC a essa mangueira; na outra extremidade da mangueira foi colocada uma válvula em forma de tê, com função de controlar a vazão pretendida; essa válvula foi acoplada junto ao filtro no topo acima do meio filtrante, evitando a formação da sub-pressão no mesmo, conforme a Figura 4-5 (b).

#### 4.4.2 Procedimento experimental

Para Di Bernardo *et al.* (2011), os ensaios devem ser realizados de modo a garantir que sejam reproduzidos através de procedimentos padronizados. Os equipamentos, preferencialmente devem ser os mesmos no período de realização dos ensaios, equipe executora realizando os mesmos processos, visando assim minimizar os erros experimentais.

##### 4.4.2.1 Águas cinzas do estudo

Foram utilizadas AC de laboratório (sintética) para definir o meio filtrante que satisfizesse as melhores condições dos parâmetros turbidez, cor aparente e DQO; obtido esse resultado, foram executados, ensaios com amostra de água real.

Para a concepção da água de laboratório (água sintética), elaborada com sabão líquido e amaciante, baseado nas análises obtidas na caracterização feita durante o período de monitoramento, o parâmetro utilizado foi a DQO, obtendo uma água sintética similar da AC caracterizada da máquina de lavar roupa. Foram efetuados 10 ensaios iniciais, variando as quantidades de sabão líquido e amaciante, em um balão de laboratório contendo um litro de água; foram feitas as análises até chegar a valores próximos ao da caracterização da água cinza real, conforme mostrado nos resultados.

Nos ensaios de tratabilidade, eram preparados 150 litros de água sintética, nas proporções indicadas nos ensaios iniciais, o monitoramento e leitura dos parâmetros feitos todos os dias, totalizando até o final do experimento 2250 litros de água sintética. O ajuste da temperatura da água usada para o enchimento dos jarros foi de 26°C, com variação máxima de  $\pm 1^\circ\text{C}$ . Como a temperatura influi significativamente na viscosidade da água e na constante de reação do sulfato de alumínio, ensaios com uma mesma água e temperatura diferente pode conduzir a resultados distintos. A caracterização das AC foram efetuadas no período de verão, e os ensaios de bancada no período de inverno, logo foi necessário fazer o aumento da temperatura dessas águas. Di Bernardo *et al.*, 2011 não recomenda que seja feito o aumento da temperatura da água por aquecimento direto, devem ser introduzidos recipientes fechados

com temperatura superior (garrafas plásticas) até que atinja a temperatura desejada, evitando-se assim a mudança nas características da água de estudo.

O armazenamento da água de estudo foi em um reservatório com capacidade de 150 litros, mistura feita através de um misturador pneumático. O equipamento constitui-se de um compressor de ar interligado por mangueira e um tubo de aço em forma de elipse no fundo do reservatório.

#### 4.4.2.2 Meio filtrante

A espessura do meio filtrante recomendado por Di Bernardo *et al.* (2011) é de 15 cm, os filtros do experimento foram construídos com essa espessura, composto por areia de diferentes granulometrias, resíduo de alvenarias de blocos cerâmicos da construção civil, basalto britado e carvão ativado granular, designados de filtro de laboratório de areia (FLA), filtro de laboratório de resíduos (FLR), filtro de basalto britado (FLB), FLCAG.

A Figura 4-6 apresenta imagens das amostras dos diferentes tipos de material (FLA1, FLA2, FLA3, FLA4, FLR 5, FLB 6), conforme a qualidade da água cinza e sua finalidade, Di Bernardo *et al.* (2011) recomendam o uso dos filtros: FLA1 para água decantada ou flotada, turbidez menor ou igual a 10 uT e cor verdadeira menor igual a 20 uH ou turbidez menor ou igual a 5 uT e cor verdadeira menor igual a 100 uH; FLA2, para turbidez menor ou igual a 50 uT e cor verdadeira menor igual a 20 uH ou turbidez menor ou igual a 5 uT e cor verdadeira menor igual a 200 uH; e FLA3 para água com turbidez maior que 50 uT, para ensaios de filtração direta.

A cada bateria de ensaios, o material filtrante foi substituído. Quando retirado, foi lavado com água potável e enxaguado três vezes com água destilada; na sequência levado para secagem pelo em estufa a 100 °C, período de 24 horas para reutilização se necessário.



Figura 4-6 – Material filtrante conforme descrição a seguir.

As características do material filtrante conforme descrito:

FLA 1: areia, grãos entre 0,30 mm e 0,59 mm tamanho efetivo 0,42 mm;

FLA 2: areia, grãos entre 0,42 mm e 0,84 mm e tamanho efetivo 0,59 mm;

FLA 3: areia, grãos entre 0,59 mm e 1,00 mm e tamanho efetivo 0,71 mm;

FLA 4: areia, grãos entre 1,00 mm e 1,68 mm e tamanho efetivo 1,41 mm;

FLR 5: resíduo de alvenarias de blocos cerâmicos da construção civil, grãos entre 0,59 mm e 1,00 mm, tamanho efetivo 0,71 mm;

FLB 6: basalto, grãos entre 0,59mm e 1,0mm e tamanho efetivo 0,71 mm;

FLCAGB7: carvão, grãos entre 0,42mm e 0,84 mm e tamanho efetivo 0,59 mm;

Foi avaliada a característica do material filtrante que obteve melhor desempenho formado por quartzo; dureza 7; forma do grão, agudo; coeficiente de esfericidade (Ce) entre 0,81 a 0,83; fator forma 7,4; porosidade 0,40; e massa específica aparente  $1560 \text{ kg/m}^3$ .

As vazões de filtração, recomendada por Di Bernardo *et al.* (2011), variam entre 12 a 20 mL/min ( $\text{cm}^3/\text{min}$ ), correspondente à taxa de filtração de  $61 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$  a  $102 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ .

Tabela 6 – Vazões e taxas de filtração

Vazão(mL/min ou cm <sup>3</sup> /min)	Taxa de filtração (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d)
6	30
8	41
9	46
10	51

O controle da vazão na entrada e saída dos filtros foi feito de forma manual, monitoramento visual para carga hidráulica (entrada) variando de 10 a 35 centímetros de coluna de água; e na saída, ajustando a vazão através da válvula na extremidade da mangueira. O tempo para início de coleta de água filtrada foi de 20 minutos após o início da filtração, garantindo assim a substituição completa do volume de água existente nos filtros no início do ensaio.

O material filtrante com melhor desempenho para os parâmetros selecionados teve sua caracterização detalhada nos resultados.

#### 4.4.3 Ensaio de tratabilidade

São descritos os ensaios de tratabilidade que visam à otimização das operações e processos de tratamento de águas cinzas, ensaios, ciclo completo, definição das condições de coagulação, floculação, flutuação e flotação, determinação da demanda de oxidante na pré-oxidação, otimização da mistura rápida e floculação e filtração direta.

##### 4.4.3.1 Condições de coagulação, floculação, flutuação

São descritos os passos para realização dos ensaios de coagulação, floculação e flutuação para a construção dos diagramas de coagulação e definição das condições de dosagem de coagulante x pH de coagulação, conforme Quadro 5.

Procedimentos:

- a) Colocar os volumes das soluções de produtos químicos nos frascos dos suportes de dosagem simultânea 1 e 2; nos primeiros frascos foi colocado alcalinizante (NaOH) para ajuste do pH de coagulação; no segundo colocado auxiliar de coagulação, sulfato de alumínio ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ), e tampado;
- b) Encher os jarros com água cinza sintética na temperatura  $25^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ ; (temperatura da caracterização da água cinza);
- c) Ligar o equipamento já ajustado à rotação com controle automático, gradiente de velocidade médio para mistura do alcalinizante (Gaj), ajuste do pH de coagulação;
- d) Adicionados nos seis jarros os volumes da solução, alcalinizante, usando o suporte de dosagem simultânea;
- e) Contagem automática no cronometro do teste de jarros;
- f) Após o tempo de mistura do alcalinizante ( $T_{aj}$ ), a rotação do equipamento é ajustada para o gradiente de velocidade médio de mistura rápida do coagulante (Gmr); momento em que removem-se as tampas dos suporte de dosagem simultânea 2;
- g) Adicionam-se nos seis jarros os volumes da solução do coagulante, utilizando os frascos de dosagem simultânea 2.
- h) Após o tempo de mistura rápida do coagulante ( $T_{mr}$ ), é ajustado o gradiente de velocidade médio de floculação (Gf);
- i) Após o encerramento da floculação com o tempo ( $T_f$ ), o cronômetro estará marcando  $T_{aj} + T_{mr} + T_f$ ;
- j) Após o tempo de floculação ( $T_f$ ) e flutuação, foi feito o descarte de 3s a 5s, e inicia-se a coleta da amostra.

Programação no teste de jarros	Tempos e ações
R0 = 93 rpm ( $100\text{ s}^{-1}$ )	0'00'' – ativar o cronômetro e adicionar o alcalinizante (Hidróxido de sódio- NaOH) nos seis jarros.
T0 = 20s	
R1 = 436 rpm ( $1000\text{ s}^{-1}$ ) T1=20s R2= 436 rpm( $1000\text{ s}^{-1}$ )	0'30'' – início da mistura rápida; adicionar coagulante (sulfato de alumínio – $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ) nos seis jarros. 0'40'' – fim da mistura rápida.
T2=1s R2 = 51 rpm ( $40\text{ s}^{-1}$ ) T2 = 899 s ( $899\text{ s}/14'59''$ )	0'40'' – início da floculação. 15' 40'' – fim da floculação e início da flutuação, desligado o aparelho.
R = 0; equipamento desligado; flutuação Coleta da água	17'52'' – descarte ( 3 a 5 s) 17'55'' a 18'05'' – coleta de amostras da água com $V_{a1} = 3,0\text{ cm/mim.}$  20'12'' – descarte (3 a 5 s) 20'15'' – 20' 25'' – coleta de amostras de água decantada com $V_{a2} = 1,5\text{ cm/mim.}$

Quadro 5 – Programação no teste de jarros com controle automático e tempos no cronômetro e respectivas ações

#### 4.4.3.2 Otimização da mistura rápida

Conforme Quadro 6, foram realizados os ensaios para otimização da mistura rápida, ensaios de coagulação, floculação e flutuação, para ajuste do tempo de mistura rápida do coagulante ( $T_{mr}$ ) e do gradiente de velocidade médio de mistura rápida do coagulante ( $G_{mr}$ ) na mistura, os parâmetros de controle utilizados foram turbidez e cor aparente remanescente.

Procedimentos:

- a) Colocar os volumes das soluções de produtos químicos nos frascos dos suportes de dosagem simultânea; foram colocados alcalinizante (NaOH), para ajuste do pH de coagulação; e usados 6 béqueres para dosagem de coagulante, permitindo assim a aplicação em tempos diferentes de sulfato de alumínio ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ );
- b) Repetir o procedimento (b) a (d) do item 0;

- c) Após o tempo de mistura do alcalinizante ( $T_{aj}$ ), a rotação do equipamento é ajustada para o gradiente de velocidade de mistura rápida do coagulante ( $G_{mr}$ );
- d) Adicionam-se nos seis jarros os volumes da solução do coagulante, utilizando os béqueres em tempos predeterminados, conforme Quadro 6.
- e) Após o tempo de mistura rápida do coagulante ( $T_{mr}$ ) é ajustado variando em cada ensaio, o gradiente de velocidade médio de floculação ( $G_{mr}$ );
- f) Após o encerramento da floculação com o tempo ( $T_f$ ), o cronometro estará marcando  $T_{aj} + T_{mr} + T_f$ ;
- g) Após o tempo de sedimentação ou floculação, foi feito o descarte de 3 a 5 s e inicia-se a coleta da amostra.

Programação no teste de jarros	Tempos e ações
R0 = 93 rpm ( $100 \text{ s}^{-1}$ )	0'00'' – ativa o cronômetro e adicionar o alcalinizante (hidróxido de sódio- NaOH) nos seis jarros.
T0 = 20s	
R1 = 310 rpm ( $600 \text{ s}^{-1}$ ), ou R1= 376 rpm( $800 \text{ s}^{-1}$ ), ou R1 = 493 rpm ( $1200 \text{ s}^{-1}$ ) T1 = 40s	0'30'' – início da mistura rápida; adicionar coagulante (sulfato de alumínio – $(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3)$ ) no jarro 1; ( 0'10''); 0'40'' – adicionar coagulante no jarro 2; ( 0'20''); 0'50'' - adicionar coagulante no jarro 3; ( 0'30'') 0'52'' - adicionar coagulante no jarro 4; ( 0'32'') 0'55'' - adicionar coagulante no jarro 5; ( 0'35'') 0'58'' - adicionar coagulante no jarro 6; ( 0'38'') 1'00'' – fim da mistura rápida
T2=1s R3 = 51 rpm ( $40 \text{ s}^{-1}$ ) T2 = 899 s (899s / 14'59'')	1'00'' – início da floculação. 16'00'' – fim da floculação e início da flutuação (desligado o aparelho).
R = 0; equipamento desligado; Flutuação / flotação Coleta da água .	18'12'' – descarte (3 a 5 s) 18'15'' a 18'25'' – coleta de amostras da água, $V_{a1} = 3,0 \text{ cm/mim.}$  20'32'' – descarte (3 a 5 s) 20'35'' – 20'45'' – coleta de amostras de água decantada com $V_{a2} = 1,5 \text{ cm/mim.}$

Quadro 6 – Programação no teste de jarros, tempos no cronômetro e respectivas ações.

#### 4.4.3.3 Otimização da floculação

Os ensaios visando a combinação de floculação com gradiente de velocidade médio e tempo de mistura para cada gradiente de velocidade existe um tempo de floculação em que resulta uma menor turbidez ou cor aparente na água decantada ou flotada.

##### Procedimentos:

Repetem-se os procedimentos conforme passos de (a) até (g) do item 0, na sequência, suspendem-se as hastes das paletas de cada jarro separadamente, conforme tempos pré-determinados, ver Quadro 7; quando levantada a paleta do jarro 1, as demais continuam rodando; levantada a haste do jarro 6, os jarros de 1 a 5 estão na fase de flutuação. Após o tempo pré-determinado, desligar o equipamento e proceder de forma análoga ao item 0.

Foi executado um ensaio suspendendo a haste da paleta Jarro 1 com 2'40'' para melhor condição apresentada inicialmente; na sequência, se mantiveram as mesmas condições anteriores, conseqüentemente o equipamento foi desligado aos 22' 40''. Esse procedimento foi efetuado em decorrência dos resultados, oportunizando verificar o ponto de inflexão em função do tempo de floculação.

Programação no teste de jarros	Tempos e ações
R0 = 93 rpm ( $100 \text{ s}^{-1}$ )	0'00'' – ativar o cronômetro e adicionar o alcalinizante (Hidróxido de sódio- NaOH) nos seis jarros.
T0 = 20s	
R1 = 493 rpm ( $1200 \text{ s}^{-1}$ ), ou T1 = 20 s R2 = 493 rpm ( $1200 \text{ s}^{-1}$ )	0'30'' – início da mistura rápida; adicionar coagulante nos seis jarros; 0'40' – fim da mistura rápida
T2 = 1s	0'40' – início da floculação
R3 = 42 rpm ( $30 \text{ s}^{-1}$ ), ou R3 = 51 rpm ( $40 \text{ s}^{-1}$ ), ou R3 = 59 rpm ( $50 \text{ s}^{-1}$ ) T3 = 1559 s (25'59'')	06'40'' – suspender a haste da paleta Jarro 1; 10'40'' – suspender a haste da paleta Jarro 2; 14'40'' – suspender a haste da paleta Jarro 3; 18'40'' – suspender a haste da paleta Jarro 4; 22'40'' – suspender a haste da paleta Jarro 5; 26'40'' – suspender a haste da paleta Jarro 6 e desligar.
Flutuação	<p>Jarro 1</p> 11'12'' – descarte da água; 11'15''–11'25'(11'20'') coleta da água, $V_{a1}=1,5 \text{ cm/min.}$ ; 13'32'' – descarte da água; 13'35''–13'45'(13'40'') coleta da água, $V_{a2}=1,0 \text{ cm/min.}$ ; <p>Jarro 2</p> 15'12'' – descarte da água; 15'15''–15'25'(15'20'') coleta da água, $V_{a1}=1,5 \text{ cm/min.}$ ; 17'32'' – descarte da água; 13'35''–13'45'(17'40'') coleta da água, $V_{a2}=1,0 \text{ cm/min.}$ ; <p>Jarro 3</p> 19'12'' – descarte da água; 19'15''–19'25'(19'20'') coleta da água, $V_{a2}=1,5 \text{ cm/min.}$ ; 21'32'' – descarte da água; 21'35''–21'45'(21'40'') coleta da água, $V_{a2}=1,0 \text{ cm/min.}$ ; <p>Jarro 4</p> 23'12'' – descarte da água; 23'15''–23'25'(23'20'') coleta da água, $V_{a2}=1,5 \text{ cm/min.}$ ; 25'32'' – descarte da água; 25'35''–25'45'(25'40'') coleta da água, $V_{a2}=1,0 \text{ cm/min.}$ ; <p>Jarro 5</p> 27'12'' – descarte da água; 27'15''–27'25'(27'20'') coleta da água, $V_{a2}=1,5 \text{ cm/min.}$ ; 29'32'' – descarte da água; 29'35''–29'45'(29'40'') coleta da água, $V_{a2}=1,0 \text{ cm/min.}$ ; <p>Jarro 6</p> 31'12'' – descarte da água; 31'15''–31'25'(31'20'') coleta da água, $V_{a1}=1,5 \text{ cm/min.}$ ; 33'32'' – descarte da água; 33'35''–33'45'(33'40'') coleta da água, $V_{a2}=1,0 \text{ cm/min.}$ ;

Quadro 7 – Programação do teste de jarros e tempos no cronômetro e respectivas ações.

#### **4.5 Análises estatísticas**

A análise estatística dos resultados quantitativos foi realizada utilizando planilha eletrônica, para obtenção da estatística descritiva dos parâmetros analisados, como: média, mediana desvio padrão amostral, máximo, mínimo e coeficiente de variação.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesse item são expostos e discutidos os principais resultados obtidos nesta pesquisa, o consumo e caracterização da água residencial, os parâmetros determinados, bem como a discussão dos resultados encontrados.

### 5.1 Consumo de água potável

Na Figura 5-1 apresenta-se o consumo de água potável na residência unifamiliar estudada entre os meses de dezembro/12 a abril/14, 17 meses. Na Figura 5-2, o consumo per capita nesse período, que foi de 198 L/hab.dia, faixa preconizada nos estudos de Von Sperling (2005), intervalo de 90 L/hab.dia a 300 L/hab.dia, de água potável.

O menor consumo mensal foi de 40 m<sup>3</sup>, referente ao mês de março/2013, influenciado pelo período de férias nesse ano, com menor número de habitantes nas residências; e o maior consumo mensal de 74 m<sup>3</sup> no mês de dezembro/2013, devido ao uso da água na irrigação de jardins e gramados.

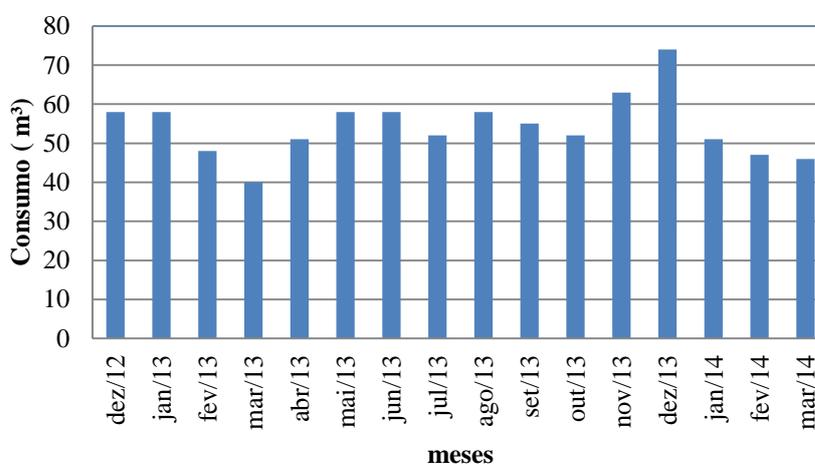


Figura 5-1 – Consumo mensal de água potável entre os meses de dezembro/12 a março/14, no prédio .

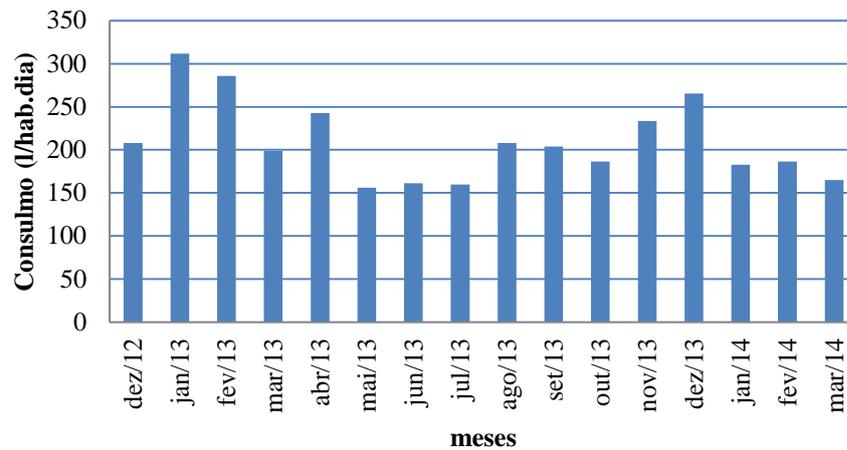


Figura 5-2 – Consumo per capita de água potável entre os meses de dezembro/12 a março/14, no prédio.

## 5.2 Efluente máquina de lavar roupas

A Figura 5-3 mostra a produção de AC no período de dezembro/12 a abril/14, provenientes da máquina de lavar roupas; essa foi de 27,30 L/hab.dia, ou seja, 13,75% do consumo de água potável.

Levando-se em consideração os dados mostrados na Tabela 1, os resultados obtidos nesta pesquisa encontram-se dentro dos padrões esperados para “AC oriundas da máquina de lavar roupas”, cujo percentual do consumo varia de 7% a 21%, sendo que o trabalho de Bazzarela (2005) apresentou um percentual de uso na lavanderia de 15%.

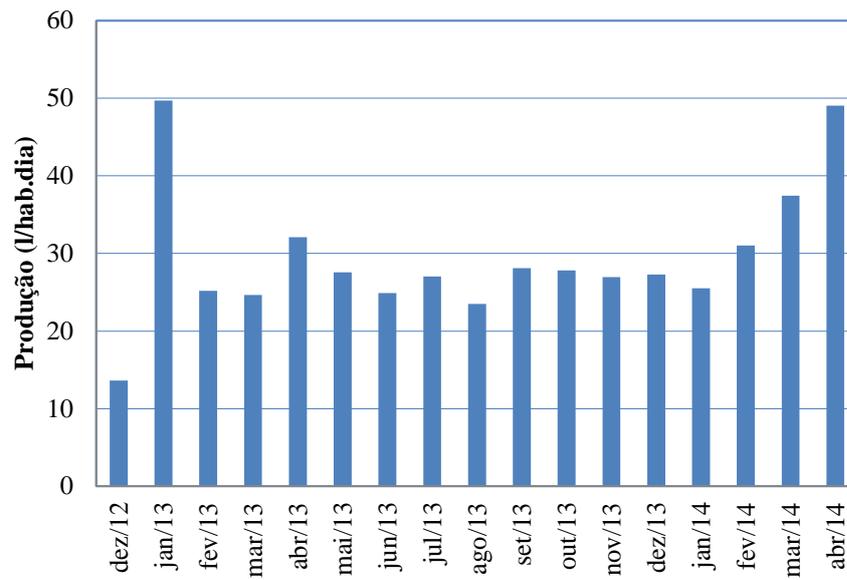


Figura 5-3 – Produção de AC, entre os meses de dezembro/2012 a março/14.

### 5.3 Caracterização físico-química e microbiológica

A Tabela 7 mostra a comparação entre diversas pesquisas da caracterização das AC, com os dados obtidos nesta pesquisa.

Tabela 7 – Resultados da caracterização das AC da máquina de lavar roupa, período de novembro/13 a março/14, comparado com pesquisas desenvolvidas no mundo.

Parâmetros de AC de alta carga	U N	Austrália (Christova - Boal <i>et al.</i> 1996) L	Itália (Ciabatti <i>et al.</i> 2009) L	Eslovênia (Sostar-Turk <i>et al.</i> 2005) L	Omã (Prathapar <i>et al.</i> 2005) L	Brasil (Gonçalves <i>et al.</i> 2006) L	Resultado da pesquisa, 2014.
Condutividade elétrica (CE)	$\mu\text{Scm}^{-1}$	190 - 1400	1300 - 3000	-	-	-	364,5±196
Cor aparente	uC	-	-	-	-	-	362±201
Cor verdadeira (real)	uC	-	-	-	-	-	157±102
Sólidos totais	$\text{mg L}^{-1}$	-	-	-	-	-	391±215
Sólidos suspensos	$\text{mg L}^{-1}$	88-250	90-200	35	315	53	40±29
Sólidos dissolvidos	$\text{mg L}^{-1}$	-	-	-	-	-	347±201
Sólidos sedimentáveis	$\text{mg L}^{-1}$	-	-	-	-	-	1±0,8
Temperatura	°C	-	-	-	-	-	25±3,5
Turbidez	NTU	50-210	40-150	-	444	-	49±36
DQO	$\text{mg L}^{-1}$	-	400-1.000	280	231,3	521	300±142
DBO	$\text{mg L}^{-1}$	48-290	-	195	179,7	184	101±63
Potencial de Hidrogênio (pH)		9,3-10	7-9	9,6	8,3	9,1	7,4±1,2
Surfactantes	$\text{mg L}^{-1}$	-	0,01-25	10,1	118,3	-	0,6±0,5
Coliformes totais	Contagem/ 100mL	2,3x10 <sup>3</sup> a 3,3x10 <sup>5</sup>	-	-	>200,5	-	ND a 9,6E+5
Coliformes termo tolerantes	Contagem/ 100mL	-	-	-	>200,5	-	ND a 1,8E+5

Fonte: Pesquisas em diferentes países, comparados com resultados obtidos. L - Lavanderia

### 5.3.1 Parâmetros físicos

Os intervalos indicam condutividade elétrica (CE),  $364 \pm 196 \mu\text{Scm}^{-1}$ ; cor aparente,  $362 \pm 201 \text{uC}$ ; cor verdadeira,  $157 \pm 102 \text{uC}$ ; sólidos totais,  $391 \pm 215 \text{mgL}^{-1}$ ; sólidos suspensos,  $40 \pm 29 \text{mgL}^{-1}$ ; sólidos dissolvidos  $347 \pm 201 \text{mgL}^{-1}$ ; sólidos sedimentáveis,  $1,0 \pm 0,8$ ; temperatura,  $25 \pm 3,5 \text{ }^\circ\text{C}$ ; e turbidez,  $49 \pm 36 \text{ NTU}$ ; os resultados encontrados na caracterização da AC, se comparados com os valores obtidos em pesquisas por autores citados na Tabela 7 (resultados da caracterização das AC), mostram-se coerentes.

Para Gulyas *et al.* (2007), Fatta-Kassinos *et al.* (2010),  $\text{CE} < 500 \mu\text{Scm}^{-1}$ , não tem efeito prejudicial para plantas; CE entre 500 -  $1.000 \mu\text{Scm}^{-1}$ , pode afetar plantas sensíveis; CE entre 1000-2000  $\mu\text{Scm}^{-1}$ , pode afetar muitas culturas e práticas de gestão devem ser tomadas; e  $\text{CE} > 2000 \mu\text{Scm}^{-1}$  poderá ser usado apenas em plantas específicas tolerantes. Para Boyjoo *et al.* (2013), o alto teor de metal das AC de lavanderia sugere, conseqüentemente, um aumento na CE; os autores salientam que sistemas de abastecimento e tubulações velhas dependendo do material podem sofrer corrosão e lixiviação de elementos na AC, aumentando assim a concentração de CE.

O resultado de condutividade elétrica da água de estudo está abaixo de  $500 \mu\text{Scm}^{-1}$ , que não tem efeito prejudicial, motivo pelo qual não foi aprofundada a discussão nesse parâmetro. Entretanto, segundo Rapoport (2004), os altos índices de turbidez e cor influenciam diretamente na coagulação e impedem a ação de agentes desinfetantes, como também a aceitação do usuário dessa água.

A temperatura oscilou entre  $21^\circ\text{C}$  a  $31,5^\circ\text{C}$ , conforme pode ser verificado no APÊNDICE A, pela coleta das amostras feitas no período de verão; segundo Di Bernardo *et al.* (2011), a temperatura influencia na viscosidade da água, conseqüentemente na velocidade de reação do coagulante (sulfato de alumínio) e efluente da filtração.

### 5.3.2 Parâmetros químicos

Os resultados indicam  $\text{pH } 7,4 \pm 1,2$ ; a DQO  $300 \pm 142 \text{ mg/L}$ , DBO  $101 \pm 142 \text{ mg/L}$ , e surfactantes  $0,6 \pm 0,5 \text{ mg/L}$ ; segundo Boyjoo *et al.* (2013), o pH é geralmente mais alto,

variando de 6,35 a 10; já os parâmetros da DQO, DBO e surfactantes corroboram com as pesquisas, que varia de 280 mg/L a 1.000 mg/L; e 0,01mg/L a 118,3 mg/L, respectivamente, embora tais valores apresentados tenham uma grande variação, assim como nos resultados dos ensaios, devido a concentração dos produtos da lavanderia, indicando que a caracterização da água deve ter atenção especial para propor um sistema de tratamento adequado.

### 5.3.3 Parâmetros microbiológicos

A Tabela 7 mostra que os valores dos indicadores microbiológicos podem não ser encontrados e/ou detectados, ou possuir cargas de até  $10^5$ ; os resultados de coliformes totais foram de ND a  $9,6 \times 10^5$ , e coliformes termo tolerantes de ND a  $1,8 \times 10^5$ . Esses valores, embora menores que os valores encontrados para esgoto sanitário, não excluem a necessidade de um tratamento para segurança sanitária, um sistema de pós-tratamento através de processo o de desinfecção da água cinza, já que há possibilidade de contato via aerossóis e consequentemente a possível contaminação.

## 5.4 Água cinza sintética

As amostras de ACS foram preparadas com sabão líquido e amaciante, conforme quantidades indicadas no APÊNDICE B. Foi adotado a DQO como parâmetro de trabalho, fundamentado nos valores obtidos na caracterização da água cinza real, que teve como média e mediana, respectivamente, 347mg/L, 300 mg/L, ( $\pm 142$  mg/L).

A Figura 5- 4 mostra os resultados obtidos, variando somente a quantidade de amaciante líquido, mantendo fixa a quantidade de sabão, para um litro de água.

Para obter o valor da DQO próximo dos 330 mL/L, foram fixados 0,93 mL/L de sabão líquido e variando de 0,85 mL/L a 1,05 mL/L de amaciante líquido.

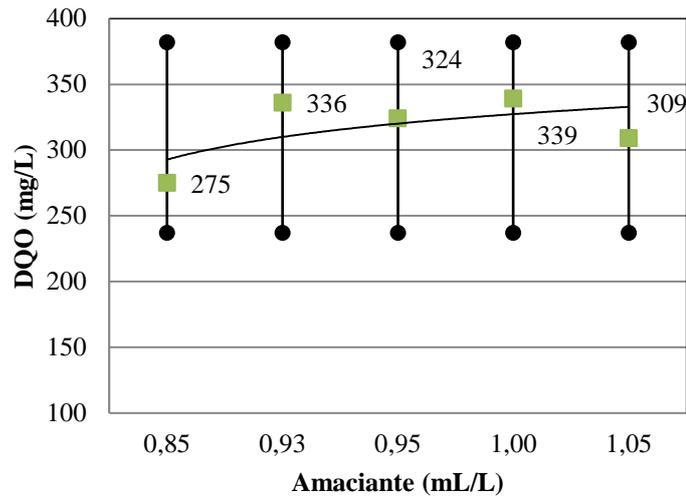


Figura 5- 4 – Resultados de DQO da água cinza sintética, fixado 0,93 mL/L de sabão líquido e variando de 0,85 mL/L a 1,05 mL/L de amaciante líquido.

Para o volume de 150L, a proporção utilizada foi de 0,93 mL/L de sabão líquido e 1,0 mL/L de amaciante líquido, ou seja, 140 mL de sabão líquido e 150 mL de amaciante, os resultados apresentados na Figura 5-5.

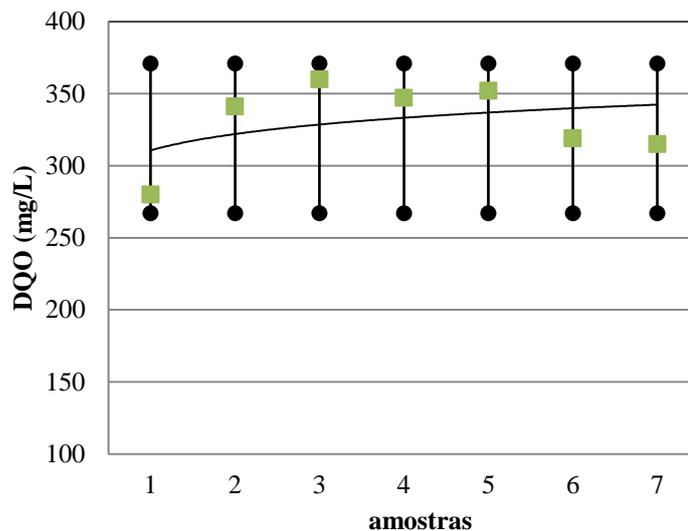


Figura 5-5 – Resultados da DQO da água cinza sintética do experimento, diluindo em 150 litros de água, na proporção de 140 mL de sabão líquido e 150 mL de amaciante.

Nos resultados encontrados, conforme Figura 5-5, durante todas as medições da pesquisa, a DBO da água sintética permaneceu entre 267mg/L a 371 mg/L, mediana de 317 mg/L.

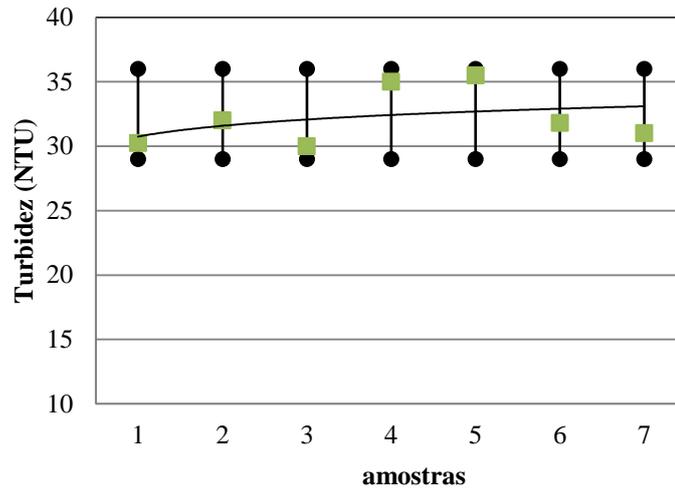


Figura 5-6 – Resultados de Turbidez, água cinza sintética do experimento

O intervalo de Turbidez (NTU) da água sintética do experimento foi de 29 NTU a 36 NTU, mediana de 32 NTU.

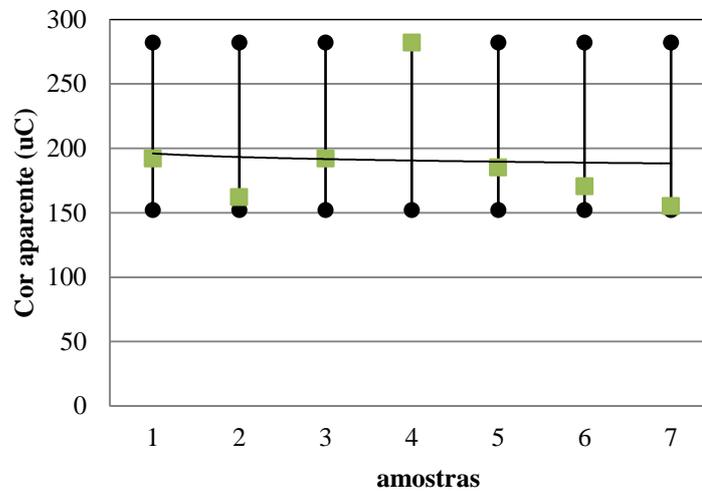


Figura 5-7 – Resultados da cor aparente, água cinza sintética do experimento.

O intervalo de cor aparente (uC) da água sintética do experimento foi de 152uC a 282 uC, mediana de 182 uC.

## 5.5 Ensaio com teste de jarros e flutuador

### 5.5.1 Escolha da dosagem de coagulante e pH de coagulação

Os ensaios desta série foram realizados segundo a metodologia proposta por Di Bernardo *et al.* (2011), descrita no item 0, com os tempos e gradientes de velocidades respectivos,  $R_0$ , 93 rpm ( $100 \text{ s}^{-1}$ ), 20s;  $R_1$ , 436rpm ( $1000 \text{ s}^{-1}$ ), 20s;  $R_2$ , 436 rpm ( $1000 \text{ s}^{-1}$ ), 1s; e  $R_3 = 51 \text{ rpm}$  ( $40 \text{ s}^{-1}$ ), 899s; Gaj, gradiente de velocidade médio para mistura do alcalinizante; Gmr, gradiente de velocidade para mistura do coagulante; Gf, gradiente de velocidade médio durante a floculação.

Os ensaios foram realizados para duas velocidades de flutuação,  $V_{f1}=3,0 \text{ cm/min}$ , e  $V_{f2}=1,5 \text{ cm/min}$ , tempos respectivos de coleta de 2'20" e 4'40"; a faixa de pH resultante foi de 4,0 a 7,7, determinado após o processo de floculação. A dosagem de alcalinizante (hidróxido de sódio 0,02 N), foi de 4,5 mL/L a 9 mL/L, e a dosagem de coagulante (sulfato de alumínio) foi de 12 mL/L a 200 mL/L.

Foram realizados 12 ensaios, produzindo 72 valores de turbidez remanescente, conforme APÊNDICE C, nesse encontram-se as dosagens de sulfato de alumínio adicionado aos jarros, pH medido no final da floculação; e a turbidez remanescente para os diferentes tempos.

De posse desses resultados, foi calculado a média dos pontos com igual dosagem de coagulante e confeccionado diagrama de coagulação; o parâmetro monitorado foi a turbidez remanescente, conforme Figura 5-8, as bolhas (pontos) representam a média dos vários ensaios para uma mesma dosagem de sulfato de alumínio com velocidade ascensional de 1,5 cm/min.

Verificou-se que, ao se adicionar o coagulante sem utilização de alcalinizante, o pH de coagulação tornava-se muito baixo para a ocorrência da coagulação da água de estudo (abaixo de 4). Assim, em nenhum ensaio foi utilizado acidificante para a variação do pH.

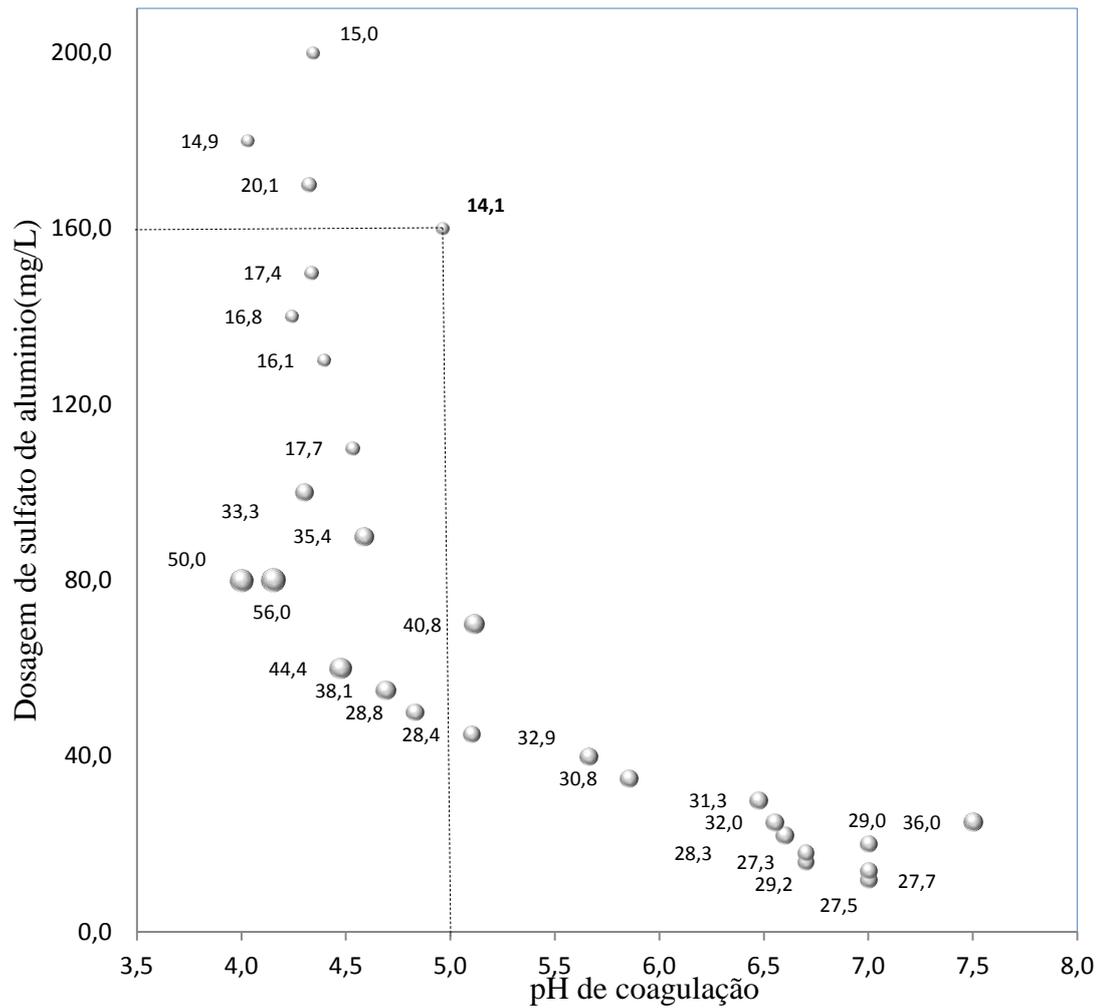


Figura 5-8 – Turbidez remanescente da água flutuada com  $V_a = 1,5$  cm/min em função da dosagem de sulfato de alumínio e do pH de coagulação .

Observou-se que na ACS, no decorrer do tempo, após quatro dias, a floculação apresentava-se diferenciada, com formação de flocos menores e dispersos no jarro, não havendo no tempo relacionado (4'40''), correspondente à velocidade de 1,5 cm/min, ascensão ou sedimentação.

O ponto A, relacionado ao pH de coagulação e dosagem de sulfato de alumínio, com base na média de maior remoção da turbidez remanescente, corresponde às condições de coagulação de 9,0 mL/L de hidróxido de cálcio (NaOH a 0,02N) e dosagem de 160 mg/L de sulfato de alumínio ( $Al_2(SO_4)_3$ ), resultando o pH coagulação de 5,0, para a velocidade de flutuação de 1,5 cm/min, gerando uma turbidez média remanescente de 14,1 NTU, com turbidez inicial média de 30,3 NTU.

### 5.5.2 Escolha dos parâmetros da mistura rápida

Seguindo a metodologia proposta no item 0, foram realizados ensaios de coagulação, floculação e flutuação, combinando tempo e gradiente de velocidade na mistura rápida utilizando como parâmetros a turbidez e cor aparente, velocidade de flutuação de 3,0 cm/min e 1,5 cm/min.

A cada ensaio, o equipamento teste de jarros foi ajustado na rotação referente ao gradiente de velocidade médio de mistura rápida do coagulante (Gmr); e foi adicionado o volume da solução de coagulante indicada no ensaio inicial, buscando obter, em cada jarro, um tempo diferente para o mesmo gradiente de velocidade.

Os resultados dos ensaios para as duas velocidades de flutuação são explicitados no APÊNDICE D e APÊNDICE E. Foram realizados três ensaios, um para cada gradiente de velocidade, relacionando turbidez remanescente e cor aparente, conforme indicado na, Figura 5-9, Figura 5-10, Figura 5-11 e Figura 5-12.

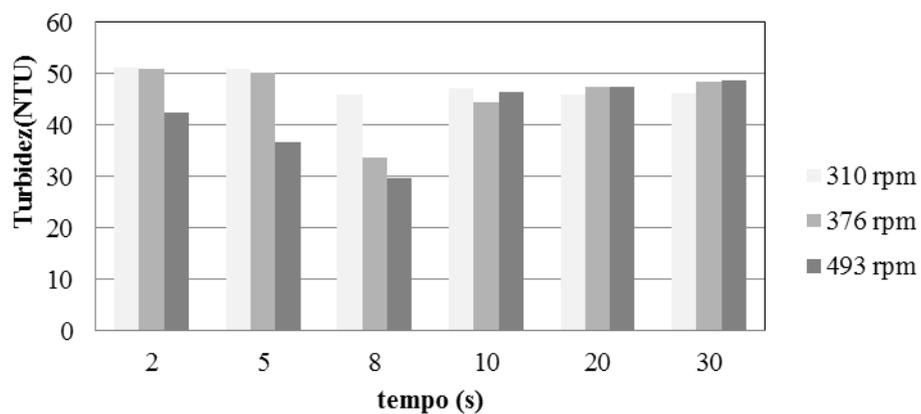


Figura 5-9 – Valores de turbidez remanescente em função do tempo e do gradiente de velocidade ascensional de 3 cm/min da mistura rápida.

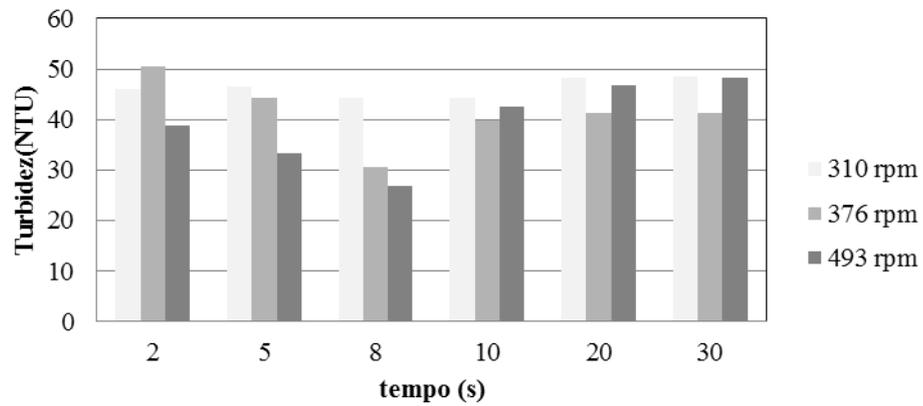


Figura 5-10 – Valores de turbidez remanescente em função do tempo e do gradiente de velocidade ascensional de 1,5 cm/min da mistura rápida.

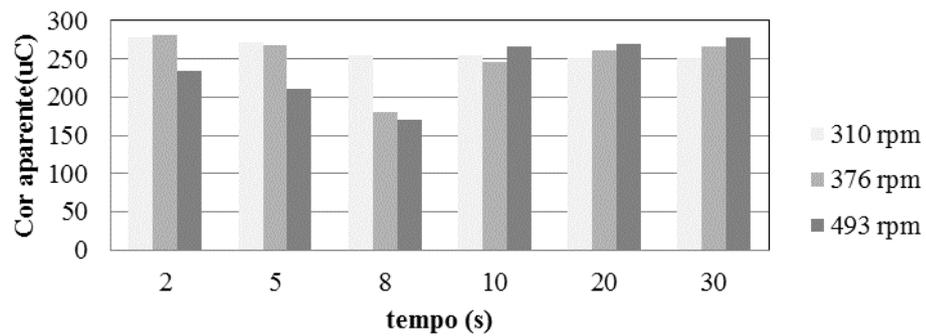


Figura 5-11 – Valores de cor aparente remanescente em função do tempo e do gradiente de velocidade ascensional de 3,0 cm/min da mistura rápida.

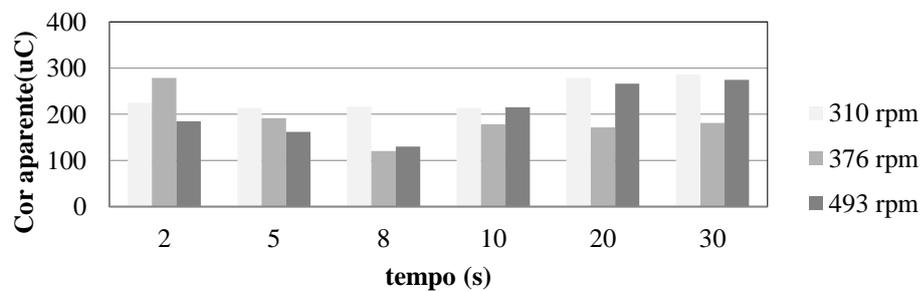


Figura 5-12 – Valores de cor aparente remanescente em função do tempo e do gradiente de velocidade ascensional de 1,5 cm/min da mistura rápida.

Os resultados mostram que para ambas as velocidades do ensaio, os valores que minimizam o parâmetro foi o gradiente de velocidade de  $1200\text{s}^{-1}$ , (493 rpm) e o tempo de 8s de mistura rápida, com melhor desempenho. Em um dos ensaios (amostra A, APÊNDICE D e APÊNDICE E), os flocos originados apresentaram partículas muito pequenas em suspensão, possivelmente pela ACS ter sofrido alteração no decorrer do tempo que estava armazenada, obtendo resultados com turbidez e cor com índices maior que o da amostra.

### 5.5.3 Escolha dos parâmetros de otimização da floculação

Utilizando-se dos resultados encontrados nas etapas anteriores, os ensaios seguiram os procedimentos descritos na etapa 0; após a mistura rápida, a rotação das paletas diminui para a rotação correspondente ao gradiente de velocidade de floculação ( $G_f$ ), de acordo com o programado. Cada jarro do equipamento foi submetido a um tempo diferente de floculação, erguendo-se a paleta do jarro correspondente no tempo de floculação desejado; dessa forma, iniciava-se a flutuação neste jarro, enquanto nos outros prosseguia a floculação.

Nesta série de ensaios, os gradientes de velocidades médio para otimização de floculação ( $G_f$ ) adotados foram de  $30\text{ s}^{-1}$ , (42 rpm),  $40\text{ s}^{-1}$  (51 rpm) e  $50\text{s}^{-1}$  (59 rpm), e os tempos de agitação de ( $T_f$ ) de 2, 6, 10, 14, 18, 22 e 26 min.

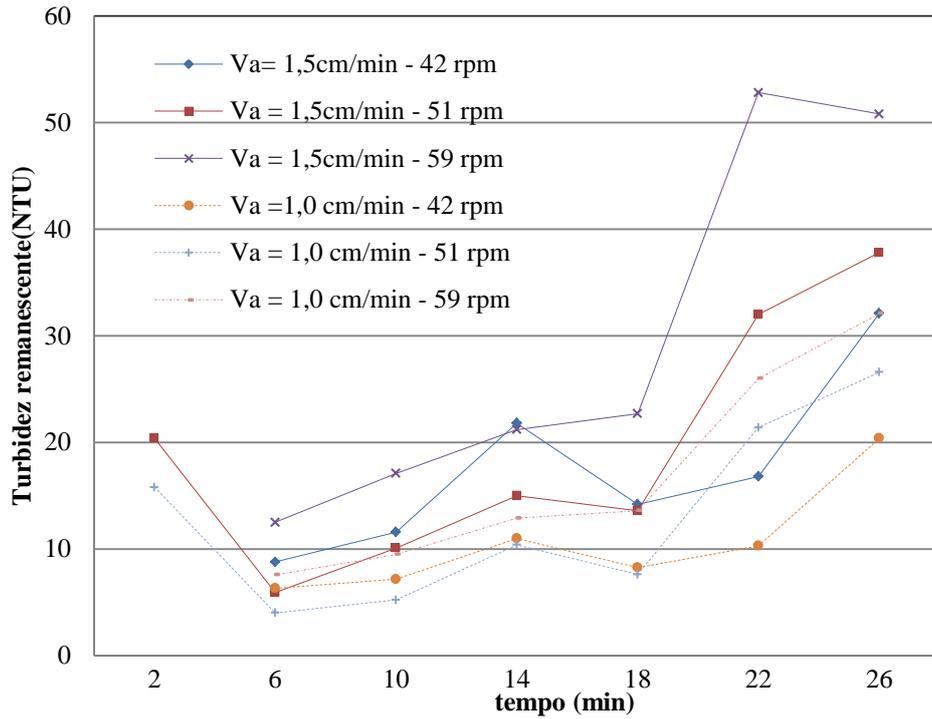


Figura 5-13 – Turbidez remanescente em função do tempo e do gradiente de velocidade médio da floculação

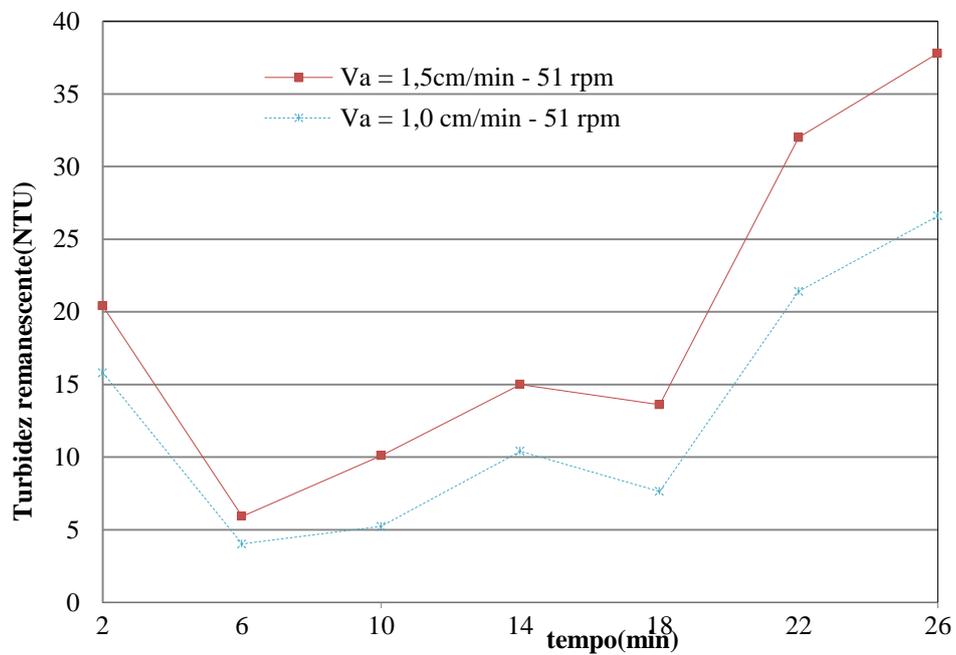


Figura 5-14 – Turbidez mínima remanescente ( $G_f$  ótimo) em função do tempo de floculação ( $V_a = 1,0 \text{ cm/min}$  e  $V_a = 1,5 \text{ cm/min}$ ).

Foram feitos ensaios para cada gradiente de velocidade e coletadas amostras de velocidade ascensional de 1,0 cm/min e 1,5 cm/min. Nos resultados de turbidez e cor remanescente, mostrado no APÊNDICE F, a melhor condição dos gradientes de velocidades onde houve maior remoção da turbidez foi originada por,  $V_a = 1,0$  cm/min, conforme Figura 5-14. A rotação que resultou melhor em desempenho foi 51rpm; ( $Gf 40s^{-1}$ ) e o tempo de floculação no intervalo de 6 a 10 min, que otimizou a remoção dos parâmetros em estudo.

#### 5.5.4 Verificação da influência da velocidade ascensional

Para verificação da influência da velocidade ascensional, foram feitos ensaios nas condições otimizadas dos parâmetros anteriores; e conforme mostra a Figura 5-15, o resultado para turbidez remanescente está relacionado diretamente com a velocidade; essa influência é esperada, visto que a velocidade ascensional depende do tempo da coleta.

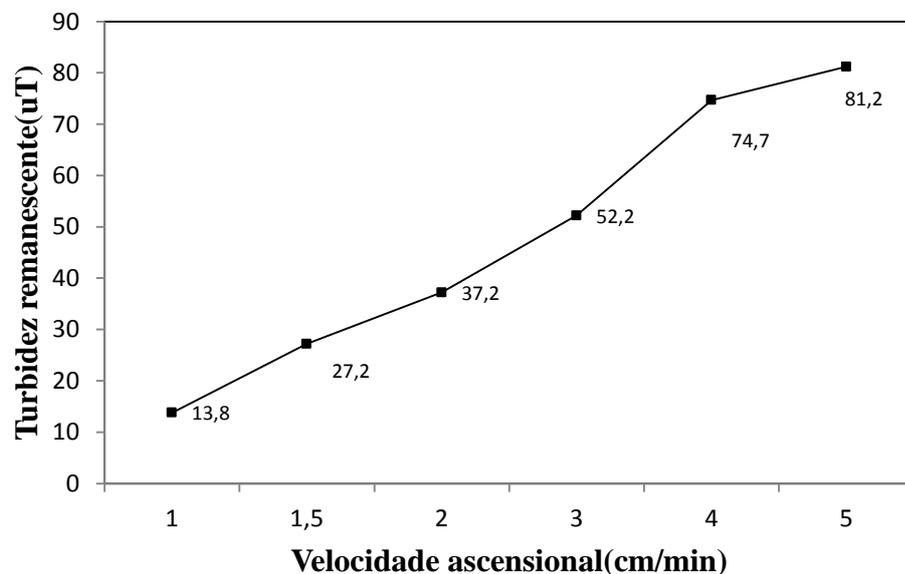


Figura 5-15 – Turbidez remanescente em função da velocidade ascensional

Ensaio realizado para verificação da influencia da velocidade ascensional, para  $V_a=1,0$  cm/min o valor da turbidez de 13,8 NTU, tempo de coleta 7 minutos.

#### 5.5.5 Ensaio de flotação

Foram realizados estudos de separação sólido-líquido via flotação em bancada, após a coagulação, com taxa mínima 5% de recirculação de água saturada, recomendada por Di Bernardo *et al.* (2011), onde obteve-se turbidez residual de 1,99 NTU e com velocidade ascensional de 3,5 cm/min., conforme Figura 5-16 – Remoção da turbidez de ensaios utilizando teste de jarros para coagulação e floculação e posterior flotação..

Com os índices apresentados nesse ensaio, fez-se opção agregar ao estudo o floculador de bancada em conjunto com teste de jarros, ou seja, coagulação e floculação no teste de jarros e posterior flotação.

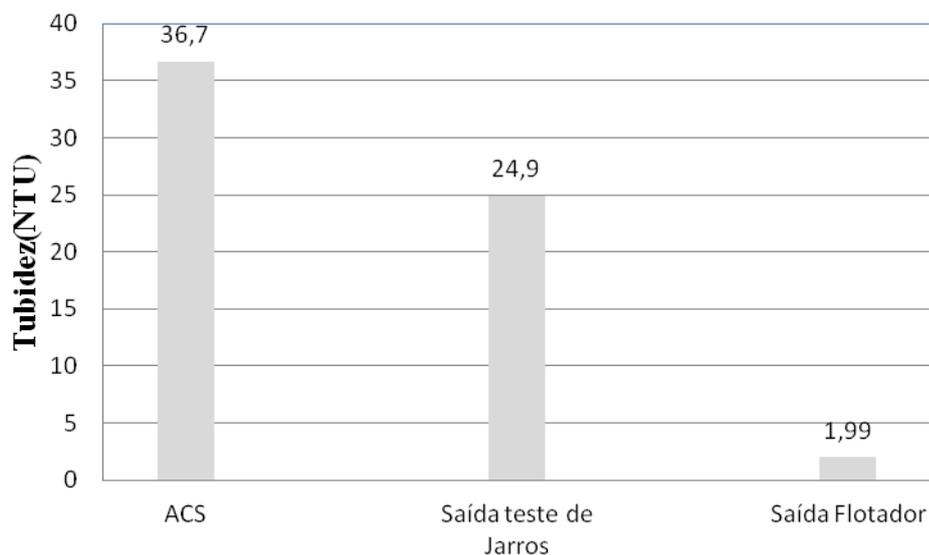


Figura 5-16 – Remoção da turbidez de ensaios utilizando teste de jarros para coagulação e floculação e posterior flotação.

## 5.6 Ensaios de filtração de meios granulares

### 5.6.1 Escolha do meio filtrante

Para escolha do meio filtrante, descrito no item 0, os parâmetros de controle analisados foram a máxima remoção da turbidez, cor aparente e DQO. Os experimentos tiveram três etapas distintas, de modo que houvesse uma oscilação nos valores dos parâmetros de controle. Foram executados seis simulações com ACS, determinando dois resultados para cada etapa, adotando a média desses valores para análise de melhor desempenho do meio filtrante.

Os ensaios foram preparados utilizando as condições de otimização definidas previamente, conforme resultados obtidos anteriormente.

A primeira etapa com ensaio completo no teste de jarros foi adotando uma velocidade de ascensional de 0,7 cm/mim, com o objetivo de redução nos parâmetros de controle na entrada do filtro; os resultados obtidos são mostrados nas Figura 5-17, Figura 5-18 e Figura 5-19, e estão disponíveis no APÊNDICE G.

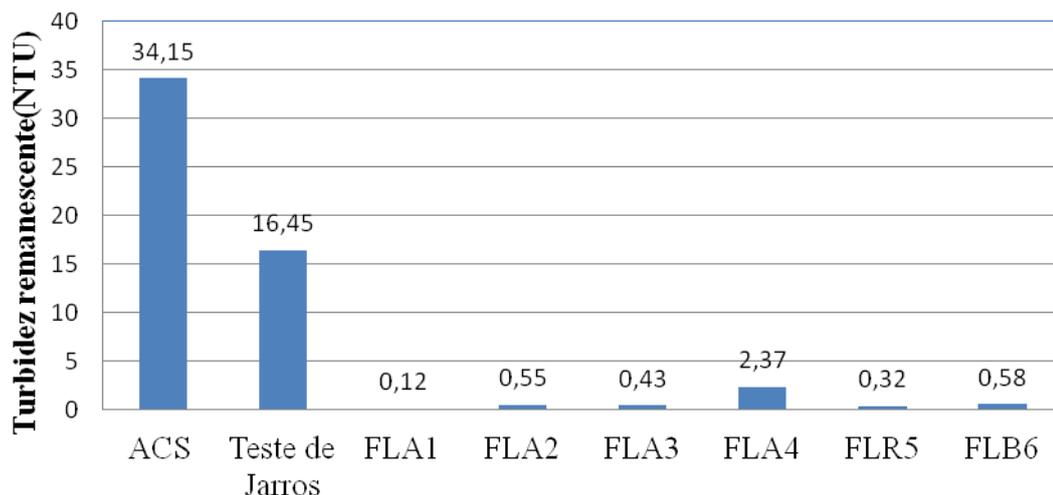


Figura 5-17 – Turbidez da ACS, filtração nos meios granulares diversos, efluente do teste de jarros, velocidade ascensional de 0,7cm/min.

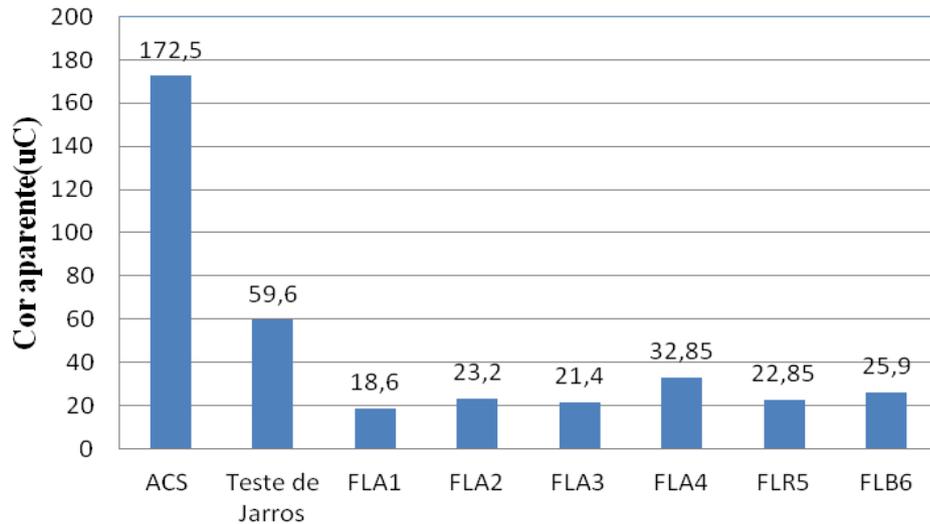


Figura 5-18 – Cor aparente da ACS, filtração nos meios granulares diversos, efluente do teste de jarros velocidade ascensional de 0,7cm/min.

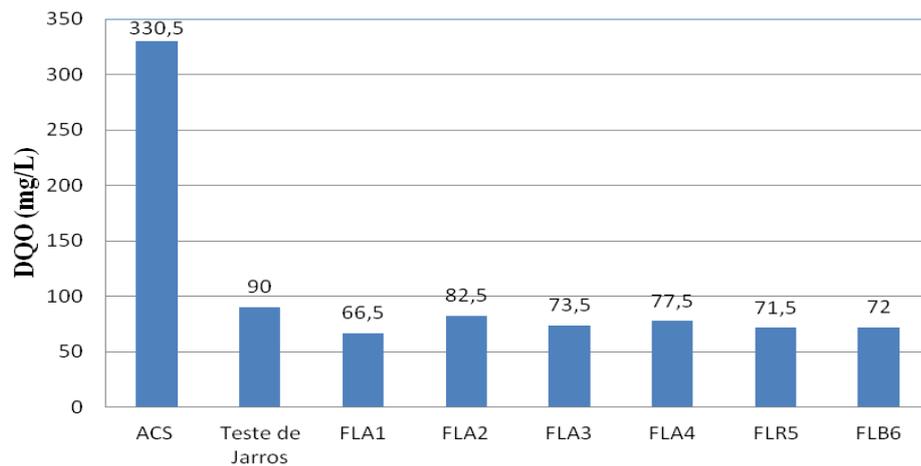


Figura 5-19 – DQO da ACS, filtração nos meios granulares diversos, efluente do teste de jarros velocidade ascensional de 0,7cm/min.

Nas análises dos resultados, para os parâmetros de controle estabelecidos, turbidez, cor aparente e DQO remanescentes, o filtro com maior eficiência foi o FLA1, com 0,12 NTU, 18,6 uC e 66,5 mg/L, dos respectivos parâmetros.

A segunda etapa de ensaios consistiu na retirada da ACS, após o processo químico, ou seja, coagulação e floculação e levada diretamente aos filtros, os resultados obtidos estão apresentados na Figura 5-20 e Figura 5-22 e disponíveis no APÊNDICE H.

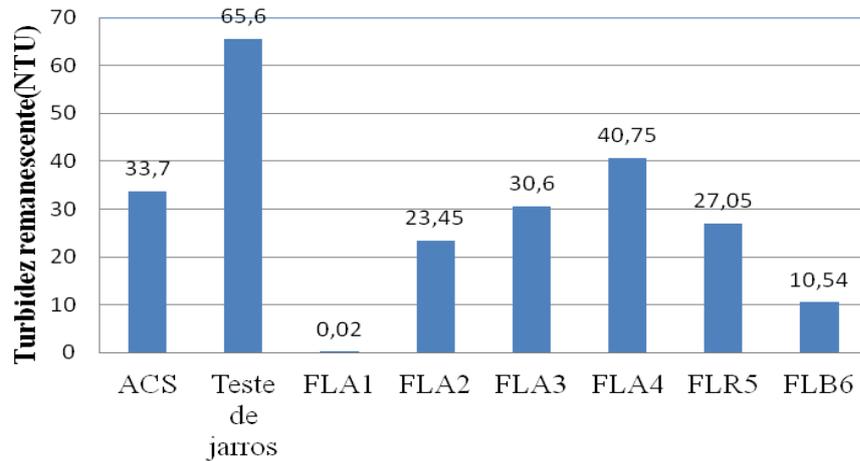


Figura 5-20 – Turbidez da ACS, filtração nos meios granulares diversos, efluente do teste de jarros, água coagulada e floculada.

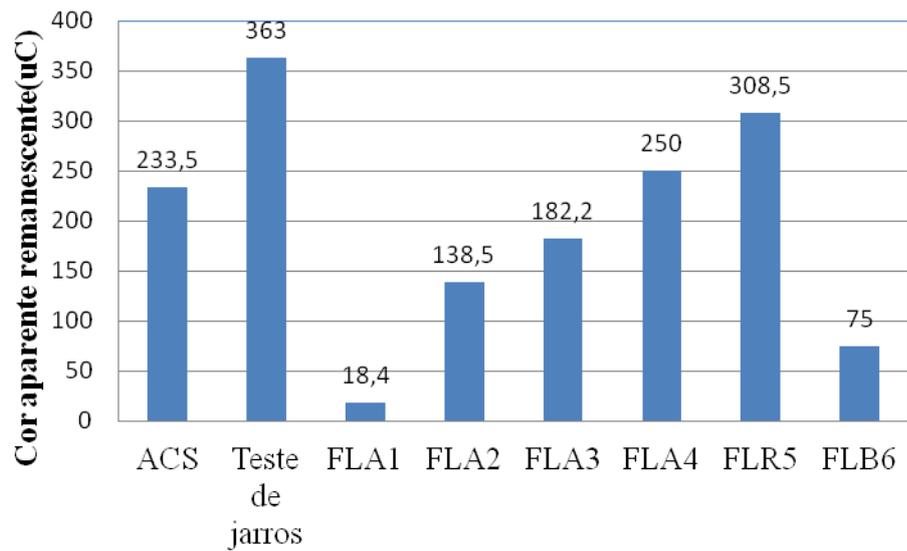


Figura 5-21 – Cor aparente da ACS, filtração nos meios granulares diversos, efluente do teste de jarros, água coagulada e floculada.

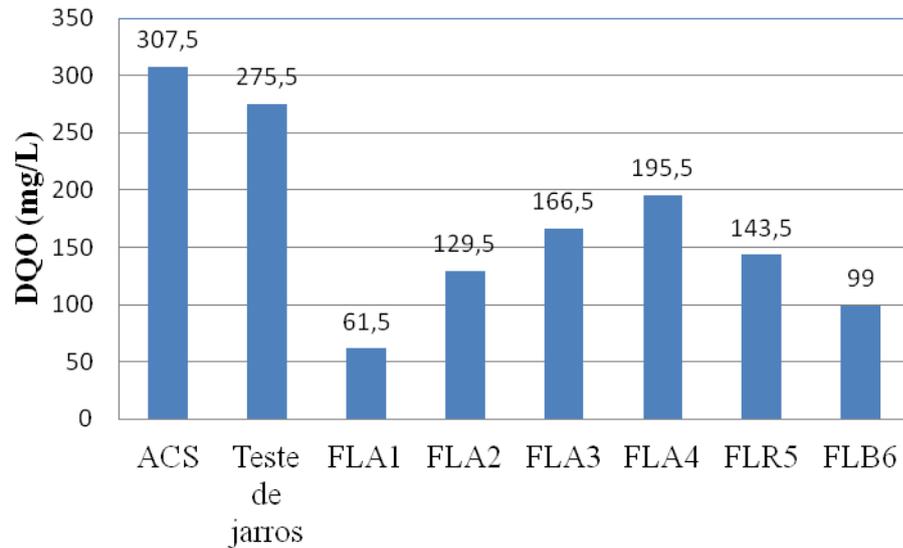


Figura 5-22 – DQO inicial da ACS, filtração nos meios granulares diversos, efluente do teste de jarros, água coagulada e floculada.

Nas análises dos resultados, para os parâmetros de controle estabelecidos, turbidez, cor aparente e DQO remanescentes, o filtro com maior eficiência foi o FLA1, com 0,02 NTU, 18,4 uC e 61,5 mg/L, dos respectivos parâmetros.

Os resultados mostram que a água retirada do teste de jarros e flotador apresenta os parâmetros com taxas elevadas, decorrentes da retirada das amostras para análises quando ainda os flocos estavam em suspensão.

A terceira série de ensaio consiste na retirada da ACS, após o processo químico, ou seja, coagulação e floculação e levada ao flotador, submetida a uma taxa de recirculação de água saturada com ar de 5% e velocidade ascensional de 3,5 cm/min (4'40'') e levada aos filtros granulares; os resultados obtidos estão disponíveis na Figura 5-23, Figura 5-24, Figura 5-25; no APÊNDICE I, estão os dados completos.

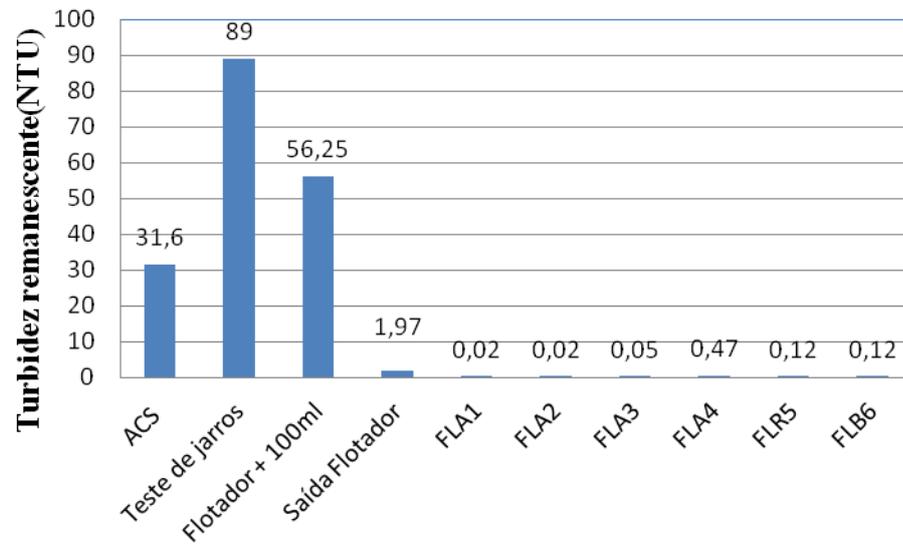


Figura 5-23 – Turbidez da ACS, filtração nos meios granulares diversos, efluente do flotador.

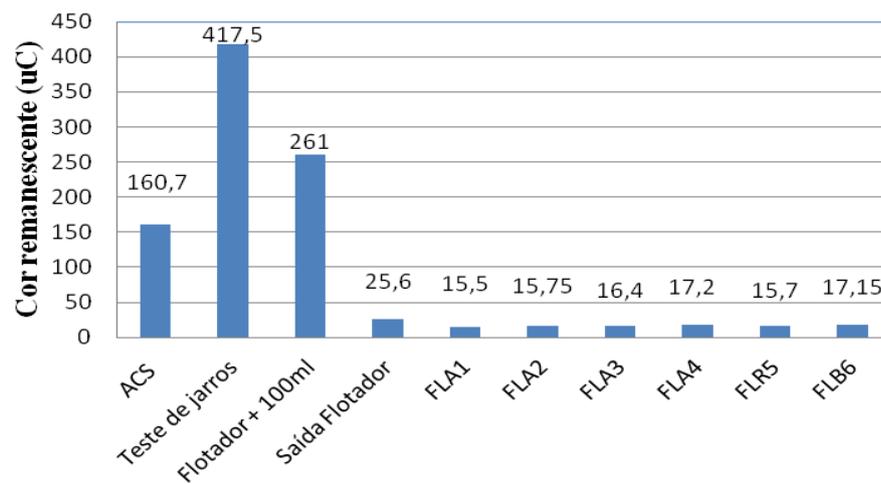


Figura 5-24 – Cor aparente da ACS, filtração nos meios granulares diversos, efluente do flotador.

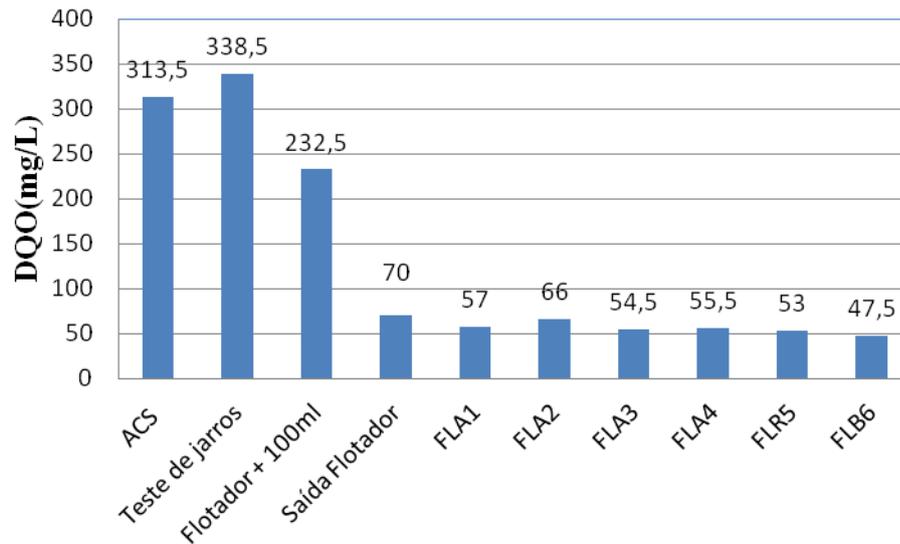


Figura 5-25 – DQO inicial da ACS, filtração nos meios granulares diversos, efluente do flotador.

A filtração nos diversos meios granulares, para os parâmetros de controle estabelecidos, a turbidez nos filtros FLA1 e FLA2, apresentam 0,02 NTU; e para cor aparente o melhor desempenho é o filtro FLA1; exceção ocorre na DQO, na terceira série de filtração; essa apresenta índices menores nos filtros FLB6, FLAR5, FLA4 e FLA3; contudo esse intervalo entre a menor e maior DQO foi de 10 mg/L, não expressiva, visto que na primeira e segunda série de resultados, o filtro FLA1 obteve melhor desempenho. Com base nos resultados e análises desses ensaios, optamos em utilizar o FLA1 para filtração no restante dos ensaios. O FLA1 é composto de areia, grão entre 0,30mm e 0,59 mm, tamanho efetivo de 0,42mm, conforme caracterizado no item 0

### 5.6.2 Ensaios em ciclo completo da ACS

Determinados os parâmetros de coagulação, mistura rápida, floculação e meio filtrante, foram executados os ensaios em ciclo completo, uso dos filtros modelo FLA1 e posterior passagem por filtro de laboratório de carvão ativado granular (FLCAG). Nessa etapa, foram feitos os ensaios considerando os resultados de melhor desempenho obtidos anteriormente. Foi dividida a produção de água gerada no teste de jarros; os três primeiros

jarros (1 a 3), após o processo de coagulação e floculação, foram transferidos para o flotador de bancada e submetidos a uma taxa de recirculação de água com ar de 5%, velocidade ascensional de 3,5 cm/min; e nos três últimos jarros (4 a 6), a coleta feita após o tempo médio de 10 min, contado a partir do final da floculação. Nestes jarros, como após a floculação havia o deslocamento ascensional das partículas, a coleta da água foi feita do fundo dos jarros.

Os parâmetros de controle dos ensaios analisados nos resultados foram a turbidez, cor aparente, DQO, e surfactantes, remanescentes, do efluente do teste de jarros e flotador, produzindo doze resultados sequenciais, saída do efluente do teste de jarros, passando pelo filtro de areia FLA1 e FLCAG, conforme caracterizado no item 0.

Resultados das análises ACS originária do teste de jarros, submetida ao tratamento, velocidade ascensional de 1,0 cm/mim., conforme Figura 5-26, Figura 5-27, Figura 5-28 e os resultados completos no APÊNDICE J.

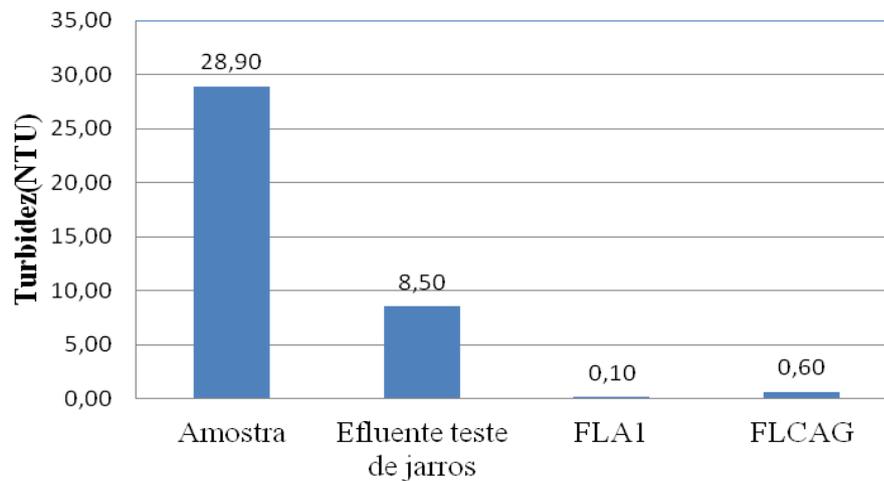


Figura 5-26 – Turbidez inicial da amostra e remanescente após as etapas do tratamento, efluente do teste de jarros.

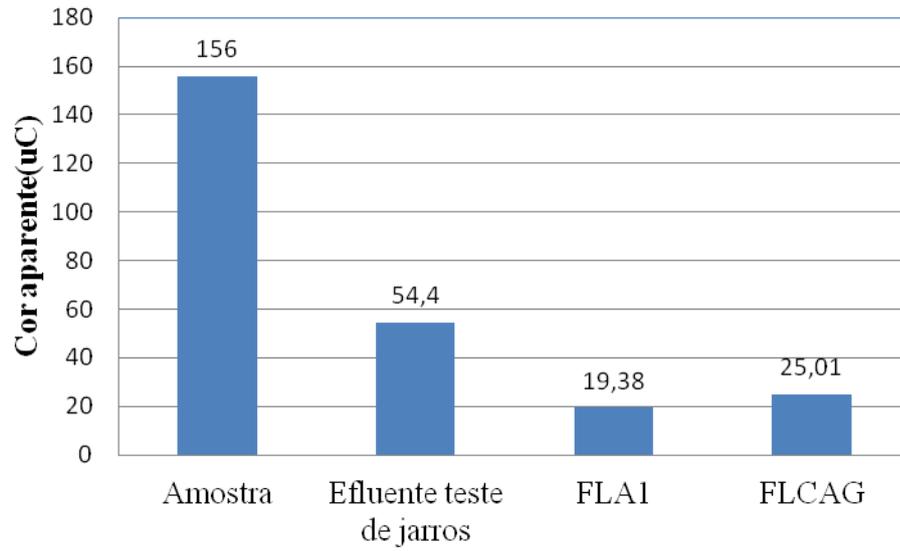


Figura 5-27 – Cor aparente inicial da amostra e remanescente após as etapas do tratamento, efluente do teste de jarros.

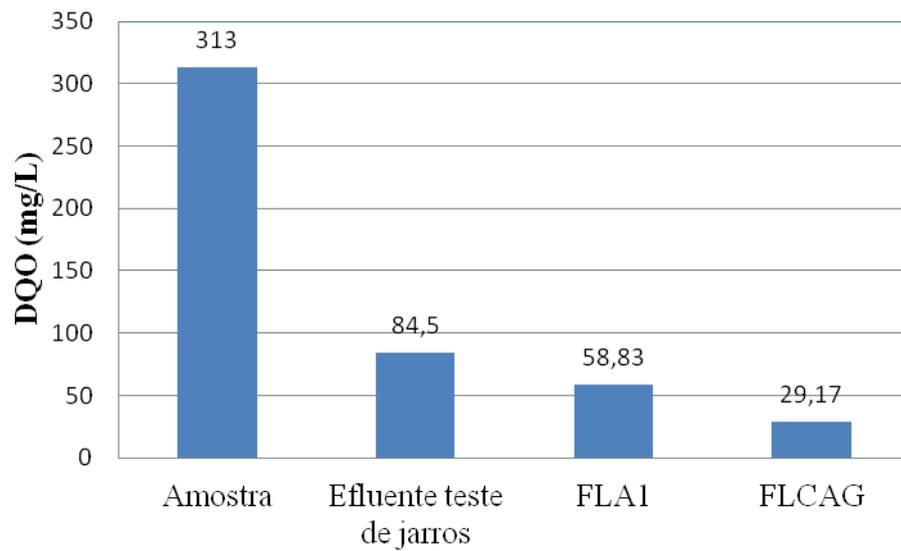


Figura 5-28 – Concentração da DQO na água e após as etapas do tratamento.

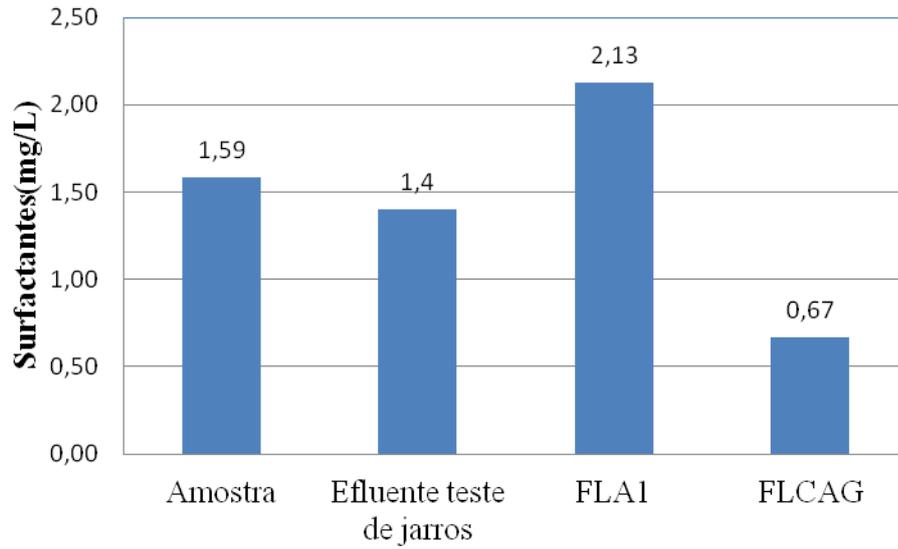


Figura 5-29 – Concentração de surfactantes na água e após as etapas do tratamento.

Resultados das análises ACS, efluente do flotor, submetida ao tratamento, velocidade ascensional de 3,5 cm/mim. Conforme Figura 5-30, Figura 5-31, Figura 5-32, e Figura 5-33, resultados completos no APÊNDICE K.

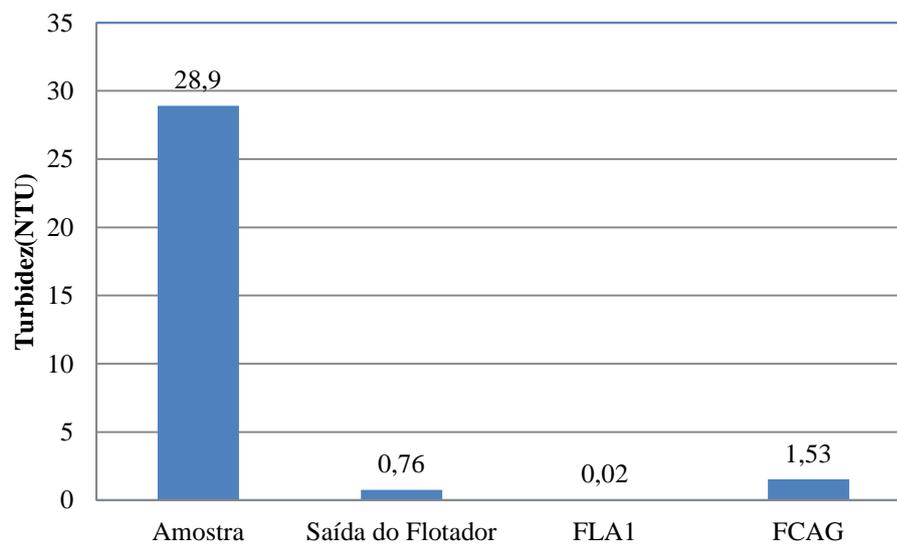


Figura 5-30 – Turbidez inicial da amostra e remanescente após as etapas do tratamento, efluente do flotor.

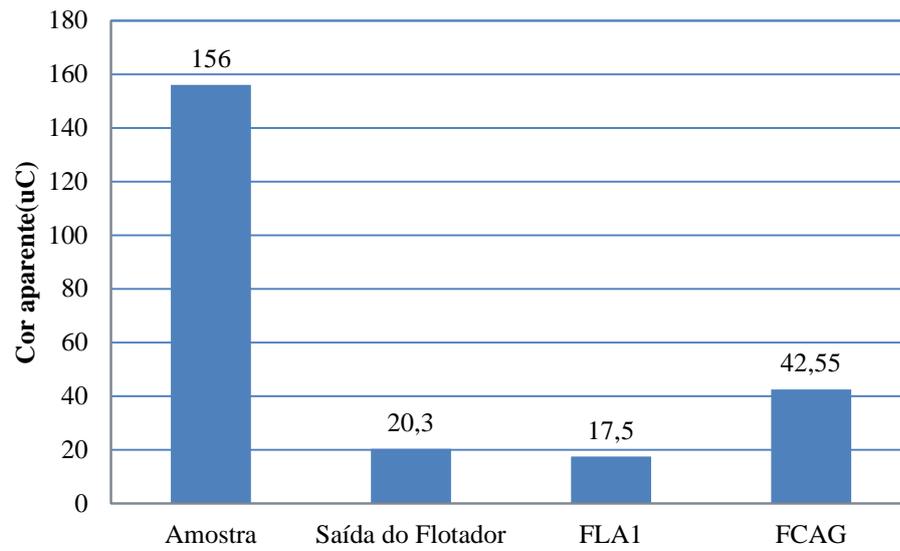


Figura 5-31 – Cor aparente inicial da amostra e remanescente após as etapas do tratamento, efluente do flotador

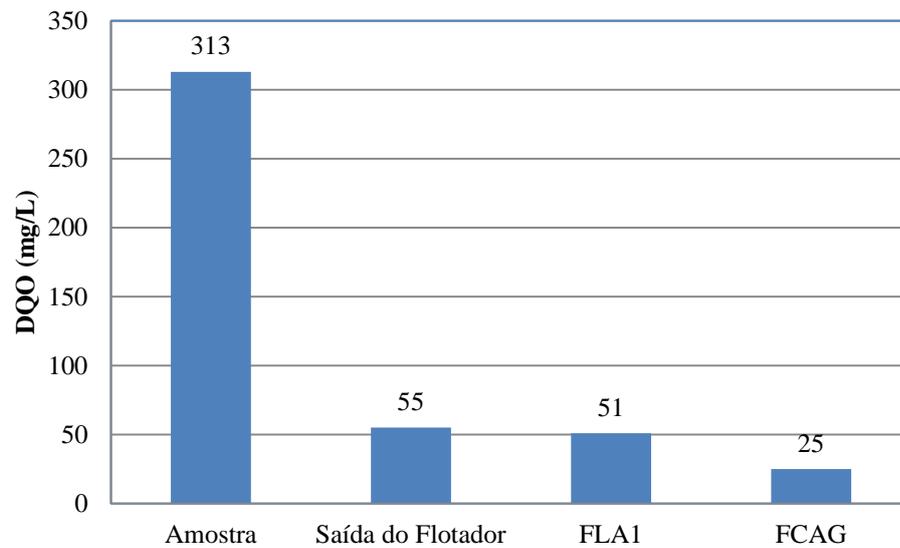


Figura 5-32 – Concentração da DQO na água e após as etapas do tratamento

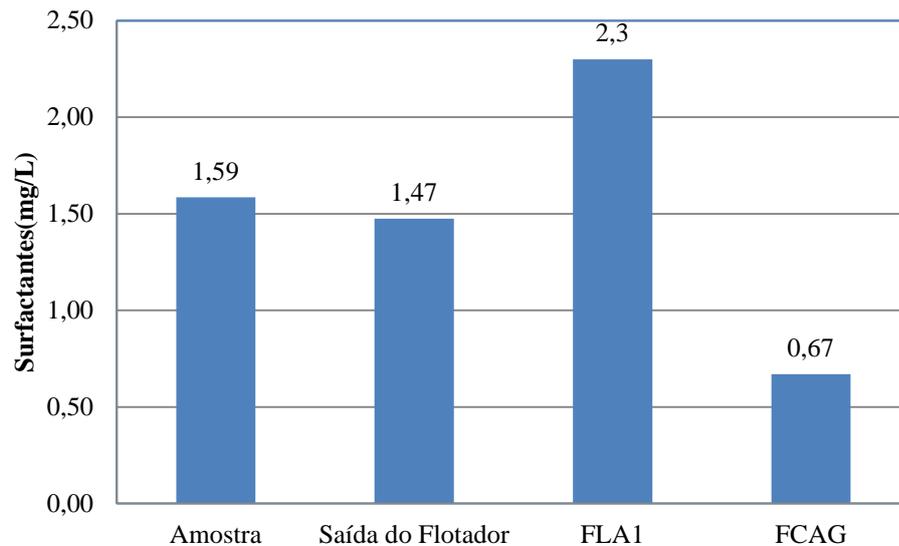


Figura 5-33 – Concentração de surfactantes na água e após as etapas do tratamento

A vazão de filtração, tanto no FLA quanto no FLCAG, variou de 6,0 cm<sup>3</sup>/min a 9,0 cm<sup>3</sup>/min, correspondente a uma taxa de filtração de 30 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia a 46 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia, um pouco abaixo da recomendada por Di Bernardo *et al.*(2011) para água de abastecimento, que é de 12 a 20 cm<sup>3</sup>/min, correspondendo a uma taxa de filtração de 60 a 100 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> dia.

Os resultados para turbidez e cor aparente nos seis ensaios apresentam uma remoção acima de 94% e 72%, índices menor que 1 NTU e 43 uC, respectivamente, em relação à amostra inicial, para o efluente do teste de jarros e flotador.

Houve um pequeno aumento na turbidez e cor aparente ao passar pelos FLCAG, ocorrido principalmente no ensaio 1, que possivelmente seja em função da instalação do carvão no interior do filtro, pois para minimizar o efeito parede foi usado material mais fino, evitando assim o caminho preferencial da água próximo da parede.

Os resultados da remoção de DQO obtidos nos ensaios foram acima de 90%, após o ciclo completo de tratamento com residual de 29 mg/L, para uma DQO inicial de 313 mg/L.

Os resultados dos surfactantes mostram-se diferenciados dos demais abordados anteriormente, com um acréscimo após o processo químico; isso ocorre em função do hidróxido de sódio e sulfato de alumínio que foi utilizado no pré-tratamento. Os resultados apontam para uma redução de 57% nos surfactantes, com média inicial 1,59 e, após o processo de tratamento, 0,67 mg/L.

### 5.6.3 Ensaio ciclo completo de amostra da água real

De forma análoga aos procedimentos efetuados para ACS, foram feitos os ensaios conforme item 0, ensaios com teste de jarros e flotador; os resultados para água cinza real foram: a dosagem de hidróxido de sódio de 3,5 ml/L (0,02N de NaOH) e sulfato de alumínio ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ) 200 mg/L; tempo de mistura rápida 10s, e otimização da floculação 10 min. A programação no teste de jarros foi ajustada para temperatura da amostra de 18 °C.

Foram usados filtros definidos pela melhor condição, ou seja, modelo FLA1 e posterior passagem por FLCAG. Da mesma forma, foi dividida a produção de água gerada no teste de jarros, os três primeiros jarros (1 a 3), após o processo de coagulação e floculação, foram transferidos para o flotador de bancada e submetidos a uma taxa de recirculação de água com ar de 5%, velocidade ascensional de 3,5 cm/min; e nos três últimos jarros (4 a 6), a coleta feita após o tempo médio de 10 min, contado a partir do final da floculação. Nestes jarros, como após a floculação havia o deslocamento ascensional das partículas, a coleta da água retirada do fundo dos jarros teve velocidade ascensional ( $V_a$ ) de 1,0 cm/min, visto que o jarro tem altura de 15cm.

Os parâmetros de controle dos ensaios analisados nos resultados foram a turbidez, cor aparente, DQO, e surfactantes, remanescentes, do efluente do teste de jarros e flotador, produzindo seis resultados sequenciais, saída do efluente do teste de jarros, passando pelo filtro de areia FLA1 e FLCAG, conforme caracterizado no item 0.

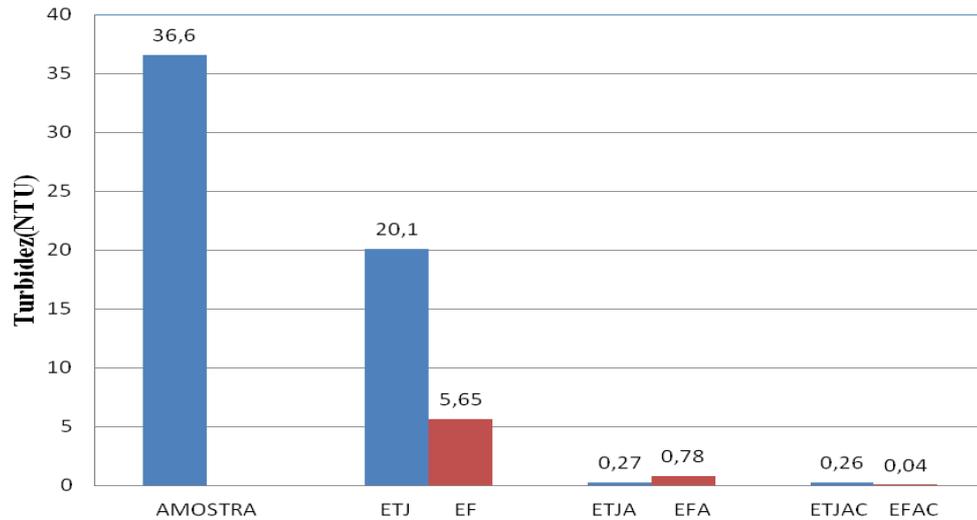
Os resultados das análises água cinza real originária do teste de jarros e flotador, conforme Tabela 8 e Tabela 9.

Tabela 8 – Efluente do teste de jarros da água cinza real de uma lavada, armazenada e submetido ao pré-tratamento com coagulação e floculação, velocidade ascensional 1,0 cm/min e filtração em areia e adsorção em carvão ativado granular.

Parâmetros	Ensaio	pH	Turbidez (NTU)	Cor aparente (uC)	CE ( $\mu\text{Scm}^{-1}$ )	DQO (mg/L)	Surfactantes (mg/L)
Amostra de AC	-	7,40	36,6	276	311	228	1,09
Efluente do teste de jarros	-	4,40	20,1	124,2	209	114	1,2
Variação (%)			45,08%	55,00%	32,80%	50,00%	-10,09%
FLAI	1	4,45	0,39	23	214	65	1,31
	2	4,50	0,19	23	216	62	1,2
	3	4,40	0,22	24	212	75	1,17
Média		4,45	0,27	23,33	214,00	67,33	1,23
Variação (%)			99,27%	91,55%	31,19%	70,47%	-12,54%
FCAG	1	4,77	0,02	20	207	43	0,65
	2	4,69	0,36	20	207	45	0,60
	3	4,90	0,4	23	208	36	0,21
Média		4,80	4,80	21,00	207,33	41,33	0,49
Variação (%)			99,29%	92,39%	33,33%	81,87%	55,35%

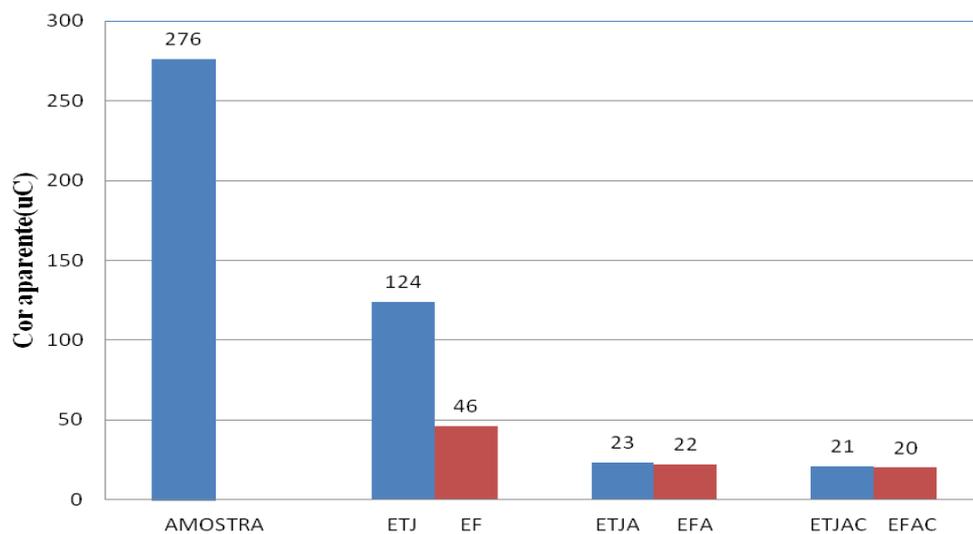
Tabela 9 – Efluente do flotador da água cinza real, submetido ao pré-tratamento com coagulação e floculação, velocidade ascensional 1,0 cm/min e filtração em areia e adsorção em carvão ativado granular.

Parâmetros	Ensaio	pH	Turbidez (NTU)	Cor aparente (uC)	CE ( $\mu\text{Scm}^{-1}$ )	DQO (mg/L)	Surfactantes (mg/L)
Amostra de AC	-	7,4	36,6	276	311	228	1,09
Efluente do flotador	-	4,40	5,65	46,3	195		1,23
Variação (%)			84,56%	83,22%	37,30%		-12,84%
FLAI	1	4,60	0,52	23	197	56	0,97
	2	4,40	0,6	22	198	58	1,06
	3	4,50	1,21	22	196	58	1,21
	Média	4,50	0,78	22,33	197,00	57,33	1,08
Variação (%)			97,88%	91,91%	36,66%	74,85%	0,92%
FCAG	1	4,78	0,02	21	195	34	0,19
	2	4,90	0,08	21	194	33	0,16
	3	4,75	0,02	20	191	35	0,24
	Média	4,80	0,04	20,67	193,33	34,00	0,20
Variação (%)			99,89%	92,51%	37,83%	85,09%	81,96%



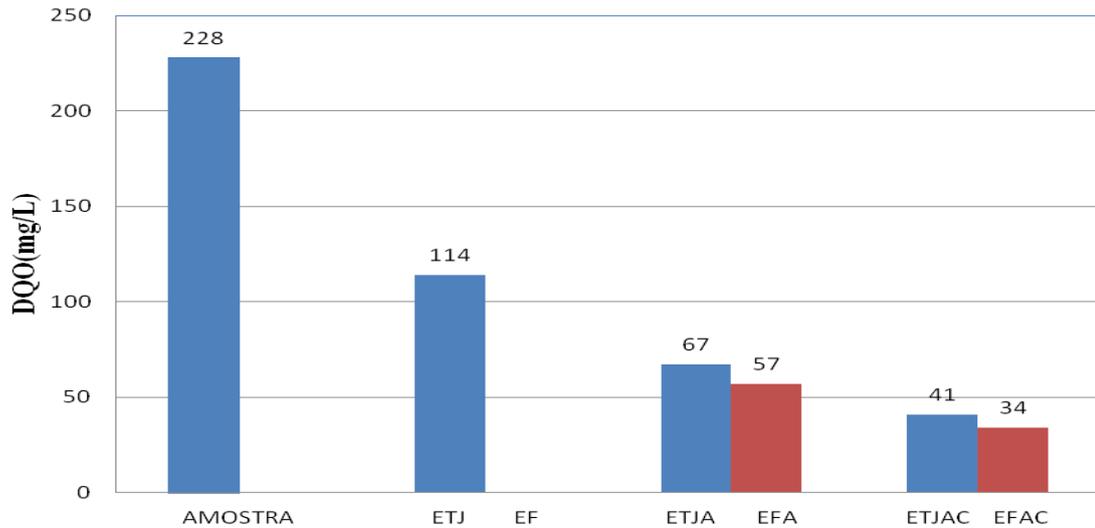
ETJ - efluente do teste de jarros; EF- efluente do flotador; ETJA-efluente teste de jarros, passa por FLA1; ETJAC-efluente teste de jarros, passa por FLA1 e FLCAG;EFAC-efluente do flotador, passa por FLA1 e FLCAG.

Figura 5-34 – Turbidez inicial da amostra e remanescente após as etapas do tratamento, efluente do teste de jarros e flotador



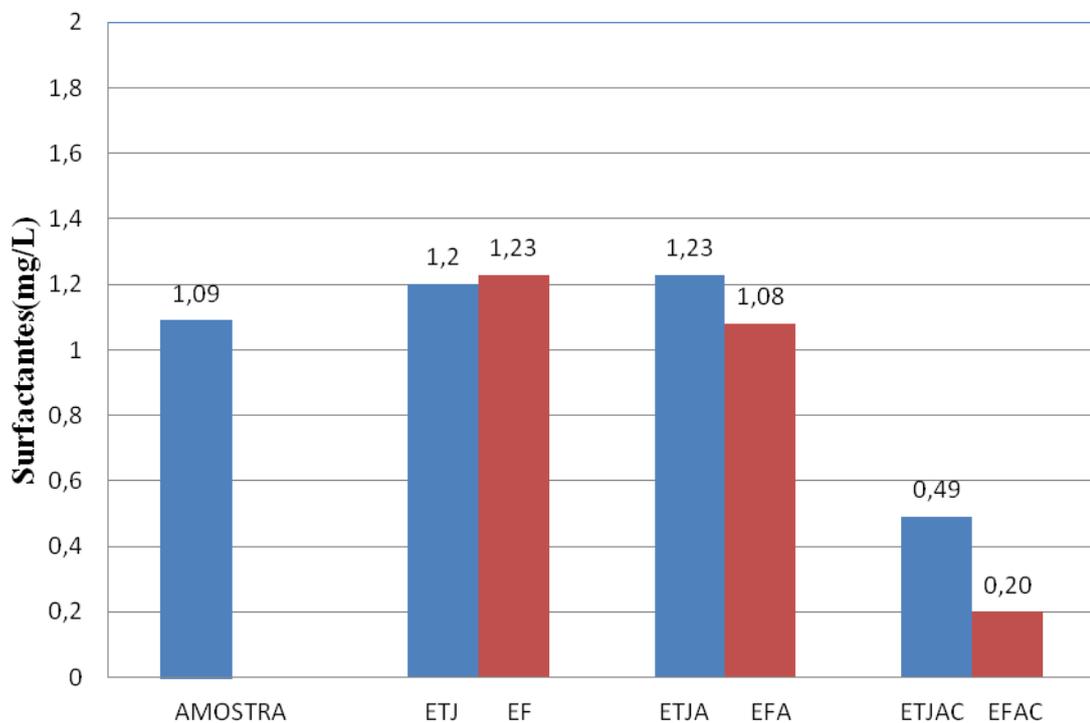
ETJ - efluente do teste de jarros; EF- efluente do flotador; ETJA-efluente teste de jarros, passa por FLA1; ETJAC-efluente teste de jarros, passa por FLA1 e FLCAG;EFAC-efluente do flotador, passa por FLA1 e FLCAG.

Figura 5-35 – Cor aparente inicial da amostra e remanescente após as etapas do tratamento, efluente do teste de jarros e flotador.



ETJ - efluente do teste de jarros; EF- efluente do flotador; ETJA-efluente teste de jarros, passa por FLA1; ETJAC-efluente teste de jarros, passa por FLA1 e FLCAG;EFAC-efluente do flotador, passa por FLA1 e FLCAG.

Figura 5-36 – Concentração da DQO na água cinza real e após as etapas do tratamento, efluentes do teste de jarros e flotador .



ETJ - efluente do teste de jarros; EF- efluente do flotador; ETJA-efluente teste de jarros, passa por FLA1; ETJAC-efluente teste de jarros, passa por FLA1 e FLCAG;EFAC-efluente do flotador, passa por FLA1 e FLCAG.

Figura 5-37 – Concentração de surfactantes na água cinza real e após as etapas do tratamento, efluentes do teste de jarros e flotador.

Os resultados para turbidez e cor aparente nos ensaios apresentam uma remoção acima de 99% e 92%, índices menores que 1 NTU e 21 uC, respectivamente, em relação à amostra inicial, para o efluente do teste de jarros e flotador.

Os resultados da remoção de DQO obtidos nos ensaios foram acima de 80%, após o ciclo completo de tratamento com residual de 41 mg/L, para uma DQO inicial de 228 mg/L.

Os resultados apontam para uma redução de 55% nos surfactantes, inicialmente com 1,09 mg/L e após o processo de tratamento 0,49 mg/L.

Para os parâmetros de turbidez e cor aparente, o efluente do teste de jarros comparado com o efluente do flotador apresentaram resultados em percentual de remoção próximos, acima de 90%. Já os resultados de DQO e surfactantes que obtiveram maior redução foi o efluente do flotador.

Estabelecendo uma relação com as diretrizes de reutilização de água e normas de diferentes países, conforme mostra

Quadro 1 e suas diversas aplicações, os resultados obtidos para o turbidez remanescente do tratamento proposto atende a todas as normas; já para DQO, deixaria de atender as normas estabelecidas na Coreia, onde é mais restrita, com parâmetro menor que 20 mg/L.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso das AC deve restringir-se somente ao consumo não potável devido aos seguintes fatores:

- Risco elevado para a saúde dos usuários;
- Falta de normas técnicas adequadas para o reúso de AC;
- Falta de apoio e de fiscalização pelas instituições governamentais;
- Falta de preparo, de controle e de manutenção do processo de tratamento de água para fins potáveis, pelo usuário não especializado;

Esta pesquisa poderá subsidiar parte do projeto: Reaproveitamento de Águas Cinzas de Edificações realizado pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), RS, inserido no Grupo de Pesquisa em Tecnologias Sustentáveis (GEPETECS), com vista ao desenvolvimento de edificações sustentáveis, com ênfase em técnicas de tratamento que possibilitem o reaproveitamento de AC em edificações.

## 7 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos no presente trabalho permitem estabelecer as seguintes conclusões:

1. A produção das águas provenientes da máquina de lavar roupas estimada foi de 27 L/hab.dia, 14% do consumo de água potável; essa única fonte de produção não é suficiente para suprir a demanda de água cinza, mesmo porque não há funcionamento diário da lavadora de roupa, havendo a necessidade de agregar os demais efluentes de AC para atender às necessidades diárias.
2. As águas cinzas geradas tem características distintas, do ponto de vista físico-químico e microbiológico, não são próprias para fins nobres.
3. O processo físico avaliado para tratar AC, nos estudos de filtração com areia e adsorção em carvão ativado granular, precedida de um pré-tratamento químico, coagulação, floculação ou flotação, mostrou elevada remoção dos parâmetros como turbidez, cor aparente e DQO, com eficiência, respectivamente de 94% a 99%, 72% a 92% e 81% a 99%; já para surfactantes, o índice de remoção foi menor, no intervalo de 55% a 80%, quando comparados com a amostra inicial.
4. O pH final após a filtração e adsorção por carvão ativado granular das ACS e real foi de no intervalo de 5,3 a 6,4; deve ser feita a correção do pH antes de sua aplicação.
5. Dentre os seis materiais estudados, o material do filtro de laboratório que apresentou maior remoção dos parâmetros em estudo foi o composto por areia, grãos entre 0,30mm a 0,59 mm, tamanho efetivo 0,42mm, em concordância com o recomendado na literatura, caracterizando grãos mais finos, maior área de contato e menor espaços entre os grãos.
6. As AC se constituem em uma fonte alternativa para reúso para fins não potáveis, como descarga de vasos sanitários, rega de jardins, lavagem entre outros.

## **8 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Como sequência ao desenvolvimento dos estudos realizados nesta dissertação, são sugeridos os seguintes trabalhos:

1. Caracterizar e avaliar a mistura das AC, oriundas dos demais cômodos da residência, excetuando o vaso sanitário.
2. Avaliar a eficiência da filtração direta ascendente e dupla filtração e correlacionar com a filtração descendente.
3. Desenvolver estudos em escala piloto para aferir as alternativas de tratamento por filtração direta que constituem a ferramenta de aplicabilidade de diferentes arranjos das sequências e de otimização de parâmetros de projeto e operação.
4. Comparar os sistemas de tratamento físicos, biológicos e naturais, ou a utilização dos sistemas associados.
5. Avaliação econômica através de estudo de custo do tratamento de águas cizas.
6. Aplicação do sistema em escala real no reaproveitamento de AC de edificações da UFSM.

## REFERÊNCIAS

\_\_\_\_\_. **NBR 12.216/92**: Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público. Rio de Janeiro, 1992.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12.211/92**: Estudos de concepção de sistemas públicos de abastecimento de água. Rio de Janeiro, 1992.

AISSE, M.M. et al. **Avaliação do sistema reator RALF e flotação por ar dissolvido, no tratamento de esgoto sanitário**. In: Chemicharo, C.A.L. (Coord). Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios – Coletânea de artigos técnicos – v. 2, p. 49-58, Rio de Janeiro, 2001. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária (ABES), 2001.

ALLEN, L.; CHRISTIAN-SMITH, J.; PALANIAPPAN, M. Overview of greywater reuse: The potential of greywater systems to aid sustainable water management. **Pacific Institute**. 41 p., 2010.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **Conjuntura dos recursos hídricos do Brasil**. 2009. Disponível em: <[http://conjuntura.ana.gov.br/conjuntura/abr\\_nacional.html](http://conjuntura.ana.gov.br/conjuntura/abr_nacional.html)> Acessado em: 26/12/2012.

ANA; FIESP; SAS/ANA; SindusCon-SP; COMASP. **Manual Conservação e Reúso de Água em Edificações**. São Paulo. 153 p., 2005.

APHA; AWWA; WPCF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21 ed. Washington: American Public Health Association. 733 p., 2005.

AZEVEDO NETTO, J.M. *et al.* **Manual de hidráulica**. São Paulo, 8 ed.. 670p., 1998.

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

BOYJOO, Y.; PAREEK, V. K.; ANG, M. A review of greywater characteristics and treatment processes. **Water Science & Technology**. n. 7, v. 67, p. 1403-1424, 2013.

CARISSIMI, E. **Desenvolvimento do Reator gerador de flocos (RGF): Aspectos teóricos e aplicações no tratamento e reúso de águas e efluentes**. 2007. 180f. Tese (Doutorado em

Engenharia de Materiais e Metalúrgica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Reúso de Água**. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/%C3%81guas-Superficiais/39-Reúso-de-%C3%81gua>. Acessado em: 27/12/2012.

CHAILLOU, K. et al. Bathroom greywater characterization and potential treatments for reuse. **Water, Air, & Soil Pollution**. n. 1, v. 215, p. 31–42, 2011.

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

CIABATTI, I. et al. Demonstration of a treatment system for purification and reuse of laundry wastewater. **Desalination**. n. 1-3, v. 245, p. 451–459, 2009.

CONTINENTAL. **Manual de instruções lavadora de roupas continental**. São Paulo. 19 p., 1991.

CORSAN - COMPANHIA RIOGRANDENSE DE SANEAMENTO. **Diretrizes para Implantação de Loteamentos**. Diretrizes Complementares para Projetos de Esgoto, 18 p., 2006.

CRESWELL, J.W. **Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto**. Tradução Luciana de Oliveira da Rocha. 2 ed. Porto Alegre, Rio Grande do Sul. 248 p., 2007.

DALLAS, S., SCHEFFE, B. & HO, G. 2004 . **Reedbeds for greywater treatment – case study in Santa Elena**- Monteverde, Costa Rica, Central America. *Ecological Engineering* 23 (1), 55–61.

DI BERNARDO, L. (Coord.). **Tratamento de água para abastecimento por filtração direta**. Programa de Pesquisa e Saneamento Básico (PROSAB) – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária (ABES) – Rio de Janeiro. 498 p., 2003.

DI BERNARDO, L.; DI BERNARDO, D. A.; VOLTAN, N. E. P. **Tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água**. São Carlos, São Paulo: LDiBE. 454 p., 2011.

DI BERNARDO, L.; SABOGAL PAZ, L. P. **Seleção de Tecnologias de Tratamento de água**. São Carlos, São Paulo: LDiBE. 878 p., 2008.

EPA (US). ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Manual: Guidelines for water reuse**. EPA/625/R-92/004. Office of Water, Washington, DC, 1992.

ERIKSSON, E. et al. Characteristics of grey wastewater. **Urban Water**. n. 1, v. 4, p. 85–104, 2002.

FATTA-KASSINOS, D. et al. The risks associated with wastewater reuse and xenobiotics in the agroecological environment. **Science of the Total Environment**. n. 19, v. 409, p. 3555–3563, 2010.

FRIEDLER, E.; KATZ, I.; DOSORETZ, C. G. Chlorination and coagulation as pretreatments for greywater desalination. **Desalination**. n. 1-3, v. 222, p. 38–49, 2008.

GONÇALVES, O. M.; SILVA S. G. **Programa permanente de uso racional da água em campi universitários: o programa de uso racional da água da Universidade de São Paulo**. São Paulo, 40 p., 2005.

GONÇALVES, R. F. (Coord.). **Uso Racional da Água em Edificações**. Projeto Programa de Pesquisa e Saneamento Básico (PROSAB). 4 ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária (ABES). 352 p., 2006.

GONÇALVES, R. F. et al. **Caracterização e Tratamento de diferentes tipos de águas residuárias de origem residencial após segregação**. In: Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Sección Uruguay. Rescatando antiguos principios para los nuevos desafíos del milenio. AIDIS, 2006. 10 p., 2006. Punta del Este, Montevideo, Uruguay.

GONÇALVES, R. F.; SIMÕES, G. M. S.; WANKE, R. Reúso de águas cinzas em edificações urbanas. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica**. n. 1, v. 3, p. 120-131, 2010.

GREYWATER. **What is it...how to treat it...how to use it**. Disponível em: <<http://www.greywater.com/>> Acesso em: 19/09/2012.

GULYAS, H. et al. **Photocatalytic oxidation of biologically treated greywater in the presence of powdered activated carbon**. In: International Conference on Sustainable Sanitation: Food and Water Security for Latin America, 5 p., 2007, Fortaleza, Brazil.

HANJRA, M. A.; QURESHI, M. E. Global water crisis and future food security in an era of climate change. **Food Policy**. n. 5, v. 35, p. 365–377, 2010.

HESPANHOL, I; MIERZWA, J.C. **Água na indústria uso racional e reúso**. 1 ed. São Paulo. 144p., 2005.

JEFFERSON, B. et al. Technologies for domestic wastewater recycling. **Urban Water**. v. 1, n. 4, p. 285-292, 1999.

KROZER, Y. et al. Innovations in the water chain – experiences in The Netherlands. **Journal of Cleaner Production**. n. 5, v. 18, p. 439–446, 2010.

LI, Z.; BOYLE, F.; REYNOLDS, A. Rainwater harvesting and greywater treatment systems for domestic application in Ireland. **Desalination**. n. 1-3, v. 260, p. 1–8, 2010.

MAIA, J.L.C; BEZERRA, J. F. M. **Aplicação da flotação por ar dissolvido no tratamento dos despejos líquidos industriais**. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (CETESB), 1981. Fortaleza, Ceará.

MANCUSO, P. C.; SANTOS, H. F. **Reúso de Água**. 1 ed.– reimpressão 2007. São Paulo: Manole. 579 p., 2007.

MASI, F., et al. 2010. **Treatment of segregated black/grey domestic wastewater using constructed wetlands in the Mediterranean basin: the zero-m experience**. *Water Science and Technology* 61, 97–105.

MANDAL, D. et al. Water conservation due to greywater treatment and reuse in urban setting with specific context to developing countries. **Resources, Conservation and Recycling**. n. 3, v. 55, p. 356–361, 2011.

MAY, S. **Caracterização, Tratamento e reúso de águas cinzas e aproveitamento de águas pluviais em edificações**. 2008. 222 f. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Sanitária) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

MINISTÉRIO DA SAÚDE (MS). **Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade**. Portaria MS nº 2914 de 12 /12/2011, Brasil.

MISRA, R. K.; PATEL, J. H.; BAXI, V. R. Reuse potential of laundry greywater for irrigation based on growth, water and nutrient use of tomato. **Journal of Hydrology**. n. 1-4, v. 386, p. 95–102, 2010.

NOLDE, E. Greywater reuse systems for toilet flushing in multi-storey buildings-over ten years experience in Berlin. **Urban Water**. n. 4, v. 1, p. 275–284, 2000.

PAULO, P. L. et al. Design and configuration criteria for wetland systems treating greywater. **Water Science and Technology**. n. 8, v. 60, p. 2001–2007, 2009.

PIDOU, M. et al. Chemical solutions for greywater recycling. **Chemosphere**. n. 1, v. 71, p. 147–155, 2008.

PIDOU, M. et al. Greywater recycling: treatment options and applications. **Engineering Sustainability**. n. 3, v. 160, p. 119-131, 2007.

PINTO, U.; MAHESHWARI, B. L. Reuse of greywater for irrigation around homes in Australia: understanding community views, issues and practices. **Urban Water Journal**. n. 1, v. 7, p. 141–153, 2010.

POLICONTROL. **Manual de instruções FlocControl III – 10 a 600 rpm**. São Paulo. 33 p., 2013.

PRATHAPAR, S. A. et al. Overcoming constraints in treated greywater reuse in Oman. **Desalination**. n. 1-3, v. 186, p. 177–186, 2005.

RAPOPORT, B. **Águas cinzas: caracterização, avaliação financeira e tratamento para reúso domiciliar e condominial**. 2004. 72 f. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) – Fundação Osvaldo Cruz – Escola Nacional de Saúde Pública, Rio de Janeiro, 2004.

REVITT, D. M., ERIKSSON, E.; DONNER, E. The implications of household greywater treatment and reuse for municipal wastewater flows and micropollutant loads. **Water Research**. n. 4, v. 45, p. 1549–1560, 2011.

SANEBAVI. SANEAMENTO BÁSICO DE VINHEDO. **Estações de tratamento de água**. São Paulo. Disponível <http://www.sanebavi.com.br/?idt=43>. Acessado em 07/04/2013.

SOSTAR-TURK, S.; PETRINIC, I.; SIMONIC, M. Laundry wastewater treatment using coagulation and membrane filtration. **Resources, Conservation and Recycling**. n. 2, v. 44, p. 185–196, 2005.

STIKKER, A. Water today and tomorrow: prospects for overcoming scarcity. **Futures**. n. 1, v. 30, p. 43 – 62, 1998.

TELLES, D. D.; COSTA, P. R. (coord). **Reúso da Água – Conceitos, teorias e práticas**. 2 ed. São Paulo: Blucher. 408 p., 2010.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. v. 1, 3 ed. Belo Horizonte, Minas Gerais: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA) – Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). 452 p., 2005.

APÊNDICE A – Resultados das análises físico-químicas e biológicas, no período de 11/11/13 a 03/04/2014, procedente da máquina de lavar roupas da residência pesquisada.

Amostra	Data	pH	CE $\mu\text{Scm}^{-1}$	Turbidez NTU	Sólidos dissolvidos mg/L	Sólidos sedimentáveis mg/L	Sólidos Suspensos mg/L	Sólidos totais mg/L	BDO <sub>5</sub> mg/L	DQO mg/L	Surfactantes mg/L	Cor aparente uC	Cor Verdadeira (real) uC	Temperatura °C	Coliformes Totais NMP/100 ml	Coliformes Termotolerantes NMP/100 ml
A 01	11/11/13	6,3		58	442	0,1		448	80	216	0,137	411	271	22	-	-
A 02	18/11/13	6,2		144	418	1		442	95	189	0,059	674	550	23,5	-	-
A 03	20/11/13	5,5		171	262	0,1		284	110	233	0,135	1185	326	23	-	-
A 04	06/01/14	6,6	111,0	31	253		46	299				304	64	25	-	-
A 05	15/01/14	8,0	395,0	32	641		26	667	39	251	0,4	200	84	25	-	-
A 06	16/01/14	8,2	360,0	32	179		32	211	32	228	0,35	204	80	23,5	>2,4E+3	1,9E+3
A 07	22/01/14	9,3	552,0	74	993		61	1054	99	434	0,17	>500	253	30	>2,4E+3	N/D
A 08	22/01/14	8,8	260,0	28	314		12	326	135	273	0,23	186	84	30	3,5E+4	N/D
A 09	23/01/14	7,8	407,0	28	400		15	415	90	209	0,45	217	88	31	4,7E+4	N/D
A 10	23/01/14	7,3	570,0	87	597		104	701	242	469	0,2	>500	295	31	>2,4E+3	N/D
A 11	24/01/14	9,0	516,0	46	455		45	500	179	277	0,27	344	167	32		
A12	29/01/14	8,2	455,0	55	430		46	476	119	259	0,26	441	194	29	1,8E+4	8,0E+2
A13	29/01/14	9,6	830,0	81	714		61	775	254	495	0,49	500	274	29,5	1,5E+5	4,8E+3
A14	30/01/14	9,8	646,0	83	543		62	605	156	442	0,21	500	291	29	7,1E+4	N/D
A15	30/01/14	8,6	485,0	33	639		25	664	140	243	0,25	331	178	29,5	4,7E+4	N/D

**continua**

Resultados das análises físico-químicas e biológicas, no período de 11/11/13 a 03/04/2014, procedente da máquina de lavar roupas da residência pesquisada

**continuação**

N.	Data	pH	CE μScm <sup>-1</sup>	Turbidez NTU	Sólidos dissolvidos mg/L	Sólidos sedimentá veis mg/L	Sólidos Suspensos mg/L	Sólidos totais mg/L	BDO <sub>5</sub> mg/L	DQO mg/L	Surfactant es mg/L	Cor aparente uC	Cor Verdadeira (real) uC	Temperatu ra °C	Coliformes Totais NMP/100 ml	Coliformes Termotoler antes NMP/100 ml
A16	05/02/14	7,9	379,0	44	386		28	414	180	304	0,57	294	108	29,5	ND	N/D
A17	05/02/14	8,9	581,0	49	536		36	572	255	328	0,7	337	161	30	ND	N/D
A18	06/02/14	8,6	549,0	48	493		15	508	112	285	0,88	363	182	31	3,8E+4	N/D
A19	06/02/14	7,3	414,0	25	347		10	357	35	187	0,91	203	78	31,5	2,0E+2	N/D
A20	12/02/14	6,8	491,0	53	145		42	187	93	208	0,41	367	224	30	1,0E+4	ND
A21	12/02/14	7,5	654,0	70	181		62	243	152	392	0,66	480	185	30	3,9E+5	ND
A22	13/02/14	7,0	283,0	34	399	1,1	42	441	262	283	0,87	281	114	28	9,2E+4	ND
A23	13/02/14	6,1	162,0	20	585	1	15	600	236	338	0,79	131	64	28	4,0E+2	ND
A24	19/02/14	6,6	121,0	44	46	2	37	83	57	241	0,28	364	117	25	3,2E+4	8,0E+2
A25	19/02/14	5,5	140,0	32	143	2,3	26	169	44	199	0,52	281	81	25,5	6,9E+5	7,1E+4
A26	20/02/14	6,5	158,0	34	145	3	27	172	80	250	0,71	293	121	26	2,4E+4	ND
A27	20/02/14	9,1	760,0	198	750	2,5	170	920	140	823	0,58	500	449	26,5	3,8E+4	ND
A28	26/02/14	9,9	646,0	57	573	1,1	38	611	79	522	1,28	422	231	24	>9,6E+5	1,1E+5
A29	26/02/14	6,5	471,0	44	427	1,5	36	463	160	445	0,04	393	161	25	>9,6E+5	1,8E+5
A30	27/02/14	6,8	124,0	63	141	0,7	48	189	73	380	1,26	407	144	21	3,1E+4	4,0E+2
A31	27/02/14	6,5	92,0	42	104	0,8	26	130	49	296	1,88	289	88	22	8,0E+2	ND
A32	19/03/14	6,4	486,0	39	354	0,8	78	432	67	312	1,37	338	102	22	ND	ND
A33	19/03/14	7,4	329,0	58	313	1,1	49	362	66	440	1,21	385	99	22,5	1,1E+4	1,6E+3

**continua**

Resultados das análises físico-químicas e biológicas, no período de 11/11/13 a 03/04/2014, procedente da máquina de lavar roupas da residência pesquisada.

**conclusão**

N.	Data	pH	CE $\mu\text{Scm}^{-1}$	Turbidez NTU	Sólidos dissolvidos mg/L	Sólidos sedimentáveis mg/L	Sólidos Suspensos mg/L	Sólidos totais mg/L	BDO <sub>5</sub> mg/L	DQO mg/L	Surfactantes mg/L	Cor aparente uC	Cor Verdadeira (real) uC	Temperatura °C	Coliformes Totais NMP/100 ml	Coliformes Termotolerantes NMP/100 ml
A34	20/03/14	7,3	327,0	63	331	0,4	59	391	114	543	0,54	469	157	22	400	ND
A35	20/03/14	8,0	233,0	49	297	0,4	53	350	151	650	0,45	389	113	23	ND	ND
A36	26/03/14	6,7	115,0	42	154	2,5	28	182	78	192	1,59	362	157	22	4840	ND
A37	26/03/14	6,6	162,0	70	225	1,1	74	299	138	476	1,45	>500	209	22	400	ND
A38	27/03/14	8,8	369,0	84	376	0,9	51	427	130	513	1,35	>500	239	22	ND	ND
A39	27/03/14	6,4	347,0	66	344	1,1	40	384	103	517	1,55	411	163	22,5	ND	ND
A40	02/04/14	6,3	154,0	29	155	0,1	7	162	96	250	0,77	164	86	22	ND	ND
A41	02/04/14	7,7	174,0	35	168	1,4	16	184	51	222	0,96	308	139	24	ND	ND
A42	03/04/14	7,5	215,0	59	221	0,9	44	165	69	308	1,4	229	143	22	1,7E+4	4,0E+2
A43	03/04/14	9,3	336,0	76	309	0,7	40	349	85	477	1,22	580	272	23	ND	ND
<b>Média</b>		7,6	371,5	58,4	370,4	1,1	43,3	409,6	117,3	347,6	0,7	372,7	176,4	25,9		
<b>Mediana</b>		7,4	364,5	49,0	347,0	1,0	40,0	391,0	101,0	300,0	0,6	362,0	157,0	25,0		
<b>Desvio Padrão(S)</b>		1,2	196,1	36,4	201,5	0,8	28,9	215,2	62,7	142,3	0,5	201,1	102,1	3,5		

## APÊNDICE B – Resultados das análises da água cinza sintética (ACS).

N./ Data	Sabão (mL/L)	Amaciante (mL/L)	DQO (mg/L)	DBO (mg/L)
A01(09/04/14)	1,00	1,00	349	81
A02(09/04/14)	1,50	1,50	589	127
A03(10/04/14)	1,00	0,50	398	115
A04(10/04/14)	1,00	1,00	444	110
A05(22/04/14)	1,00	1,00	451	
A06(23/04/14)	0,93	0,85	312	
A07(24/04/14)	0,93	0,85	237	
A08(24/04/14)	0,93	1,00	382	
A09(25/04/14)	0,93	0,93	336	
A10(25/04/14)	0,93	0,95	335	
A11(28/04/14)	0,93	0,95	301	
A12(28/04/14)	0,93	1,00	308	
A13(29/04/14)	0,93	0,95	336	
A14(29/04/14)	0,93	1,00	328	
A15(29/04/14)	0,93	1,05	309	

APÊNDICE C – Resultados da turbidez remanescente da água flutuada com  $V_a = 1,5$  cm/min em função da dosagem de sulfato de alumínio e do pH de coagulação.

Ensaio	pH	Média pH	Sulfato de alumínio $Al_2(SO_4)_3$ (mg/L)	Turbidez $V_a = 1,5$ cm/min	Média Turbidez $V_a = 1,5$ cm/min
01	7,0		12,0	27,5	27,5
02	7,0		14,0	27,7	27,7
03	6,7		16,0	27,3	27,3
04	6,7		18,0	28,3	28,3
5	6,7		20,0	29,2	-
6	7,3	7,0	20,0	28,7	29,0
7	6,6	6,6	22,0	29,2	29,2
8	6,9		25,0	29,9	-
9	6,2	6,6	25,0	34,0	-
10	7,5	7,5	25,0	36,0	36,0
11	7,3		30,0	28,0	-
12	6,7		30,0	30,0	-
13	6,1		30,0	35,0	-
14	5,8	6,5	30,0	32,0	31,3
15	6,3		35,0	32,0	-
16	5,9		35,0	36,0	-
17	5,4		35,0	22,0	-
18	5,8	5,9	35,0	33,0	30,8
19	6,4		40,0	30,0	-
20	5,8		40,0	34,0	-
21	5,6		40,0	34,0	-
22	5,1		40,0	31,0	-
23	5,4	5,7	40,0	35,3	32,9
24	5,4		45,0	30,0	-
25	5,2		45,0	23,0	-
26	4,8		45,0	25,0	-
27	5,0	5,1	45,0	35,6	28,4
28	5,1		50,0	33,0	-
29	5,2		50,0	33,0	-
30	4,8		50,0	4,0	-
31	4,6		50,0	35,0	-
32	4,6	4,8	50,0	39,2	27,8
33	4,7	4,7	55,0	38,1	38,1
34	4,4		60,0	44,0	-
35	4,6		60,0	44,0	-
36	4,4	4,5	60,0	45,2	44,4

**continua**

Resultados da turbidez remanescente da água flutuada com  $V_a = 1,5$  cm/min em função da dosagem de sulfato de alumínio e do pH de coagulação

**conclusão**

Ensaio	pH	Média pH	Sulfato de alumínio $Al_2(SO_4)_3$ (mg/L)	Turbidez $V_a = 1,5$ cm/min	Média Turbidez $V_a = 1,5$ cm/min
37	4,4		70,0	45,0	-
38	4,4		70,0	53,0	-
39	6,0		70,0	31,7	-
40	5,6		70,0	32,8	-
41	5,2	5,1	70,0	41,7	40,8
42	4,0		80,0	50,0	-
43	4,3	4,2	80,0	62,0	56,0
44	4,2		90,0	62,0	-
45	4,8		90,0	41,9	-
46	4,8		90,0	16,5	-
47	4,6	4,6	90,0	21,3	35,4
48	4,3		100,0	54,0	-
49	4,3	4,3	100,0	12,5	33,3
50	4,3		110,0	15,1	-
51	4,8		110,0	13,8	-
52	4,5	4,5	110,0	24,3	17,7
53	4,3		120,0	15,4	-
54	4,3		130,0	12,1	-
55	4,5		130,0	12,3	-
56	4,4	4,4	130,0	23,8	16,1
57	4,2	4,2	140,0	16,8	16,8
58	4,3		150,0	15,6	-
59	4,4		150,0	14,3	-
60	4,3	4,3	150,0	22,3	17,4
61	4,1		160,0	15,2	-
62	5,1		160,0	8,8	-
63	5,3		160,0	11,6	-
64	5,0		160,0	21,0	-
65	5,0		160,0	14,2	-
66	4,9		160,0	16,0	-
67	5,3	5,0	160,0	12,0	14,1
68	4,3		170,0	16,8	-
69	4,4		170,0	19,2	-
70	4,3	4,3	170,0	24,3	20,1
71	4,0	4,0	180,0	14,9	14,9
72	4,3	4,3	200,0	15,0	15,0

APÊNDICE D – Resultados da turbidez remanescente em função do tempo e do gradiente de velocidade ascensional da mistura rápida, velocidade flutuação 3,0 cm/min e 1,5 cm/min.

Turbidez média da amostra: 32NTU			Turbidez (NTU)					
Gmr/rpm (s <sup>-1</sup> )/rpm	Va (cm/min.)	Tempo(s)	2	5	8	10	20	30
		Amostras						
600/310	3,0	A	35,5	34,6	35	34,1	34,3	35,5
		B	67,1	67,1	57,1	60,3	57,8	56,9
		Média	51,3	50,85	46,05	47,2	46,05	46,2
	1,5	A	35,3	35,2	35,6	34,7	34,8	35,8
		B	41,4	44,3	47,5	44,6	68,7	68,6
		Média	46,12	46,41	44,25	44,18	48,33	48,6
800/376	3,0	A	34	34	34	34	34	34
		B	67,8	66,4	33,5	54,7	60,9	62,9
		Média	50,9	50,2	33,75	44,35	47,45	48,45
	1,5	A	34	34	33	35	35	36
		B	66	36,4	18,1	30,6	29,5	25,5
		Média	50,54	44,2	30,47	39,73	41,37	41,37
1200/493	3,0	A	42,6	34,6	33,7	33	34,4	33,4
		B	42,3	38,6	25,7	59,9	60,3	64,1
		Média	42,45	36,6	29,7	46,45	47,35	48,75
	1,5	A	42,6	35,4	33,5	32,7	34	33,2
		B	23,9	22	11	40,6	57,3	62,4
		Média	38,77	33,44	26,72	42,53	46,67	48,37

APÊNDICE E – Resultados da cor aparente remanescente em função do tempo e do gradiente de velocidade ascensional da mistura rápida,  $V_a = 3,0$  cm/min e  $V_a = 1,5$  cm/min.

Cor aparente média das amostras: 237 uC			Cor remanescente (uC)					
Gmr/rpm (s <sup>-1</sup> )/rpm	V <sub>a</sub> (cm/min.)	Amostras	Tempo(s)					
			2	5	8	10	20	30
600 /310	3,0	A	185	180	186	177	179	184
		B	372	363	323	333	324	318
		Média	278,5	271,5	254,5	255	251,5	251
	1,5	A	220	178	167	178	173	198
		B	230	249	266	250	385	375
		Média	225	213,5	216,5	214	279	286,5
800/376	3,0	A	183	174	177	181	166	176
		B	381,1	361	184,6	311,5	356,9	357
		Média	282,05	267,5	180,8	246,25	261,45	266,5
	1,5	A	180	172	141	163	161	177
		B	377,3	211,5	100,1	194,8	181,6	186,1
		Média	278,65	191,75	120,55	178,9	171,3	181,55
1200/493	3,0	A	237,3	207,3	199,8	193	199,7	196,5
		B	230,8	213,4	140,5	338,1	341,1	360,2
		Média	234,05	210,35	170,15	265,55	270,4	278,35
	1,5	A	241	210	201,3	197	202,7	200,5
		B	128	114	59,5	233,4	329,9	348,6
		Média	184,5	162	130,4	215,2	266,3	274,55

APÊNDICE F – Turbidez mínima remanescente em função do tempo de floculação (Gf), para velocidades ascensionais  $V_a = 1,5$  cm/min e  $V_a = 1,0$  cm/min.

Tempo(s)	$V_a = 1,5$ cm/min			$V_a = 1,0$ cm/min		
	(42 rpm)	(51 rpm)	(59 rpm)	(42 rpm)	(51 rpm)	(59 rpm)
Turbidez remanescente (NTU)						
2	-	20,4	-	-	15,8	-
6	8,79	5,92	12,5	6,33	4,02	7,58
10	11,6	10,1	17,1	7,18	5,23	9,49
14	21,8	15	21,2	11	10,4	12,9
18	14,2	13,6	22,7	8,27	7,63	13,6
22	16,8	32	52,8	10,3	21,4	26
26	32,1	37,8	50,8	20,4	26,6	32,1

APÊNDICE G – Resultados dos ensaios com teste de jarros, velocidade ascensional de 0,7 cm/min para escolha do meio filtrante e coleta de água nos filtros de laboratório.

Parâmetros / Amostra	Ensaio	pH	Turbidez (NTU)	Cor aparente (uC)	CE ( $\mu\text{Scm}^{-1}$ )	DQO (mg/L)
ACS 1		6,9	36,70	176		333
ACS 2		6,7	31,60	169	182	328
Média		6,8	34,15	172,5	182	330,5
Saída teste de jarros	1	5,3	24,90	62	240	
	2	5,4	8,00	57,2	170	90
Média		5,35	16,45	59,6	205	90
<b>FLA1</b>	1	5,4*	0,02	17,7	206	59
	2	5,9	0,22	19,5	239	74
Média		5,65	0,12	18,6	222,5	66,5
<b>FLA 2</b>	1	5,3*	0,09	16,8	226	58
	2	6,4	1,00	29,6	255	107
Média		5,85	0,55	23,2	240,5	82,5
<b>FLA3</b>	1	5,1*	0,53	13,7	246	65
	2	5,9	0,32	29,1	240	82
Média		5,5	0,43	21,4	243	73,5
<b>FLA4</b>	1	5,3*	3,35	33,2	245	73
	2	6,0	1,39	32,5	239	82
Média		5,65	2,37	32,85	242	77,5
<b>FLR5</b>	1	5,3*	0,19	18	247	65
	2	6,2	0,45	27,7	248	78
Média		5,75	0,32	22,85	247,5	71,5
<b>FLB6</b>	1	5,4*	0,89	23,1	328	69
	2	7,9	0,26	28,7	384	75
Média		6,65	0,58	25,90	356	72

\* pH medido após a execução da mistura rápida.

APÊNDICE H – Resultados dos ensaios com teste de jarros, ACS floculada para escolha do meio filtrante e coleta de água nos filtros de laboratório.

Parâmetros		pH	Turbidez	Cor aparente	DQO
Amostra	Ensaio		(NTU)	(uC)	(mg/L)
ACS 3		7,0	33,8	269	286
ACS 4		7,0	33,5	198	329
Média		7,0	33,7	233,5	307,5
Saída teste de jarros	1	5,3	60,0	359	239
	2	6,3	71,1	367	312
	Média	5,8	65,6	363,0	275,5
<b>FLA1</b>	1	5,5*	0,02	20	51
	2	6,2	0,02	16,7	72
	M	5,9	0,02	18,4	61,5
<b>FLA2</b>	1	5,4*	30,2	186	129
	2	6,6	16,7	91	130
	M	6,0	23,45	138,5	129,5
<b>FLA3</b>	1	5,5*	31,2	200	160
	2	6,2	30	164,4	173
	M	5,9	30,60	182,2	166,5
<b>FLA4</b>	1	5,3*	38,6	264	170
	2	6,3	42,9	236	221
	M	5,8	40,75	250,0	195,5
<b>FLR5</b>	1	5,4*	23,3	155	110
	2	6,4	30,8	462	177
	M	5,9	27,05	308,5	143,5
<b>FLB6</b>	1	5,4*	11,4	90	77
	2	7,4	9,67	60	121
	M	6,4	10,54	75,0	99,0

\* pH medido após a execução da mistura rápida.

APÊNDICE I – Resultados dos ensaios com teste de jarros, ACS floculada, velocidade ascensional no flotor de 3,5 cm/min, para escolha do meio filtrante e coleta de água nos filtros de laboratório.

Parâmetros		pH	Turbidez	Cor aparente	DQO
Amostra	Ensaio		(NTU)	(uC)	(mg/L)
ACS 5		6,7	31,6	156,3	317
ACS 6		7,4	31,6	165,1	310
<b>Média</b>		<b>7,1</b>	<b>31,6</b>	<b>160,7</b>	<b>313,5</b>
Teste de jarros	1	5,9	99,6	465	376
	2	5,8	78,4	370	301
<b>Média</b>		<b>5,9</b>	<b>89,0</b>	<b>417,5</b>	<b>338,5</b>
Entrada Flotador	1	5,8	50,7	217	214
	2	5,9	61,8	305	251
<b>Média</b>		<b>5,85</b>	<b>56,25</b>	<b>261</b>	<b>232,5</b>
Saída do Flotador	1	5,9	2,2	28,2	73
	2	6,0	1,74	23	67
<b>Média</b>		<b>5,95</b>	<b>1,97</b>	<b>25,6</b>	<b>70</b>
<b>FLA1</b>	1	5,9	0,02	14,2	39
	2	6,1	0,02	16,8	75
<b>Média</b>	M	<b>6,00</b>	<b>0,02</b>	<b>15,50</b>	<b>57,00</b>
<b>FLA 2</b>	1	6,9	0,02	15,8	42
	2	6,1	0,02	15,7	90
<b>Média</b>	M	<b>6,50</b>	<b>0,02</b>	<b>15,75</b>	<b>66,00</b>
<b>FLA3</b>	1	6,3	0,02	15,7	47
	2	6	0,07	17,1	62
<b>Média</b>	M	<b>6,15</b>	<b>0,05</b>	<b>16,40</b>	<b>54,50</b>
<b>FLA4</b>	1	6,0	0,58	16,1	45
	2	6,0	0,36	18,3	66
<b>Média</b>	M	<b>6,00</b>	<b>0,47</b>	<b>17,20</b>	<b>55,50</b>
<b>FLR5</b>	1	6,0	0,02	13,8	47
	2	6,1	0,21	17,6	59
<b>Média</b>	M	<b>6,05</b>	<b>0,12</b>	<b>15,70</b>	<b>53,00</b>
<b>FLB6</b>	1	6,7	0,22	15,6	40
	2	7,4	0,02	18,7	55
<b>Média</b>		<b>7,03</b>	<b>0,12</b>	<b>17,15</b>	<b>47,50</b>

APÊNDICE J – Resultados das análises ACS, efluente do teste de jarros, submetida ao tratamento, velocidade ascensional de 1,0 cm/mim.

Parâmetros		pH	Turbidez (NTU)	Cor aparente (uC)	CE ( $\mu\text{Scm}^{-1}$ )	DQO (mg/L)	Surfactantes (mg/L)
Amostra /	Ensaio						
<b>ACS</b>	<b>1</b>	7,2	30	152	167	311	1,94
<b>ACS</b>	<b>2</b>	5,9	27,8	160	168	315	1,23
<b>Média</b>		6,55	28,9	156	167,5	313	1,59
<b>Efluente do teste de jarros</b>							
	1	5,1	6,7	48,9	217	81	1,3
	2	5,1	10,3	59,8	244	88	1,55
<b>Média</b>		5,1	8,5	54,4	230,5	84,5	1,4
<b>Variação(%)</b>			<b>70,6%</b>	<b>65,2%</b>	<b>-37,6%</b>	<b>73,0%</b>	<b>10,1%</b>
<b>FLAI</b>							
	1	5,3	0,02	20,9	218	65	
	1	5,5	0,50	30	216	69	
	1	5,4	0,02	20	218	53	
	2	5,3	0,02	15,1	243	57	1,90
	2	5,2	0,02	13,8	244	56	2,28
	2	5,2	0,02	16,5	246	53	2,21
<b>Média</b>		5,3	0,10	19,38	230,83	58,83	2,13
<b>Variação (%)</b>			<b>99,65%</b>	<b>87,57%</b>	<b>-37,81%</b>	<b>81,20%</b>	<b>-34,38%</b>
<b>FLCAG</b>							
	1	6,8	0,45	25,5	260	19	0,7
	1	6,8	1,15	31,8	297	30	0,73
	1	6,8	1,94	50	290	38	0,33
	2	4,9	0,02	15,7	259	28	0,55
	2	5,0	0,02	13,2	253	27	0,79
	2	5,0	0,02	13,9	252	33	0,94
<b>Média</b>		5,9	0,60	25,02	268,50	29,17	0,67
<b>Variação (%)</b>			<b>97,92%</b>	<b>83,96%</b>	<b>-60,30%</b>	<b>90,68%</b>	<b>57,52%</b>

APÊNDICE K – Resultados das análises ACS, efluente do flotador, submetida ao tratamento, velocidade ascensional de 3,5 cm/mim.

Parâmetros		pH	Turbidez (NTU)	Cor aparente (uC)	CE ( $\mu\text{Scm}^{-1}$ )	DQO (mg/L)	Surfactantes (mg/L)
Amostra /	Ensaio						
<b>ACS</b>	<b>1</b>	7,2	30	152	167	311	1,94
<b>ACS</b>	<b>2</b>	5,9	27,8	160	168	315	1,23
<b>Média</b>		6,55	28,9	156	167,5	313	1,585
	<b>1</b>	5,5	1,1	24,5	208	51	1,38
Efluente do Flotador	<b>2</b>	4,8	0,42	16,1	212	59	1,57
<b>Média</b>		5,15	0,76	20,3	210	55	1,475
<b>Variação (%)</b>			<b>97,37%</b>	<b>86,99%</b>	<b>-25,37%</b>	<b>82,43%</b>	<b>6,94%</b>
<b>FLAI</b>	<b>1</b>	5,7	0,02	18	207	58	
	<b>1</b>	5,7	0,02	17	208	49	
	<b>1</b>	5,7	0,02	20	204	51	
	<b>2</b>	5,8	0,02	18	202	48	2,25
	<b>2</b>	5,7	0,02	14,8	206	53	2,32
	<b>2</b>	5,8	0,02	17,2	203	47	2,33
<b>Média</b>		5,7	0,02	17,5	205	51	2,3
<b>Variação (%)</b>			<b>99,9%</b>	<b>88,8%</b>	<b>-22,4%</b>	<b>83,7%</b>	<b>-45,1%</b>
<b>FLCAG</b>	<b>1</b>	6,8	4,82	100,3	255	22	0,2
	<b>1</b>	6,7	2,23	60,3	264	23	0,39
	<b>1</b>	6,9	1,22	38,5	309	30	0,2
	<b>2</b>	5,8	0,15	16,5	210	22	0,9
	<b>2</b>	5,8	0,33	19,5	210	26	1,14
	<b>2</b>	6,4	0,41	20,2	212	27	1,21
<b>Média</b>		6,4	1,53	42,55	243,33	25,00	0,67
<b>Variação (%)</b>			<b>94,72%</b>	<b>72,72%</b>	<b>-45,27%</b>	<b>92,01%</b>	<b>57,52%</b>