

**KARINE RAQUEL LANDENBERGER
TIAGO BARROS DA SILVA**

**Otimização do Uso e Reúso de Água em Lavanderias de
Pequeno Porte: Estudo de caso em Lavanderia de um
Abrigo para Crianças em Cotia - SP**

Projeto de Formatura apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo, no âmbito do Curso de
Engenharia Ambiental

**KARINE RAQUEL LANDENBERGER
TIAGO BARROS DA SILVA**

ESCOLA POLITÉCNICA DA USP
DIVISÃO DE BIBLIOTECA
Bibliotecas da Fundação Cien

**Otimização do Uso e Reúso de Água em Lavanderias de
Pequeno Porte: Estudo de caso em Lavanderia de um
Abrigo para Crianças em Cotia - SP**

Projeto de Formatura apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo, no âmbito do Curso de
Engenharia Ambiental

Orientadores:
Prof. Dr. José Carlos Mierzwa
Prof. Dr. Ivanildo Hespanhol

São Paulo
2011

AGRADECIMENTOS

Muitas pessoas estiveram envolvidas direta ou indiretamente na execução deste trabalho e a todas somos imensamente gratos. Podemos citar, em especial, nossos familiares, que com muita paciência acompanharam dias difíceis de trabalhos, coletas e análises, oferecendo todo apoio e incentivo.

Agradecemos aos nossos orientadores, ao Prof. José Carlos Mierzwa, que mesmo estando em outro país, nos apoiou e incentivou desde o inicio na realização deste trabalho. Ao Prof. Roque Passos Pivelli por possibilitar a execução das análises no Laboratório de Saneamento da Escola, e aos técnicos Fábio e Laerte que responderam atentamente a tantas dúvidas e perguntas nossas.

Somos gratos também à entidade benéfica "Lar Criança Feliz" que prontamente abriu suas portas para a execução do nosso estudo de caso. A diretoria e funcionários que nos apoiaram fornecendo todas as informações e auxílio necessários.

Acreditamos também na importância das críticas imparciais e construtivas que recebemos, e nos ajudaram a crescer, agradecemos àqueles que proporcionaram nosso amadurecimento tanto profissional quanto pessoal.

Tudo isto nos auxiliou na busca pelo nosso melhor para a realização deste trabalho. Mas, acima de qualquer um destes motivos de gratidão, agradecemos imensamente a Deus, que nos deu a vida e todas as oportunidades e possibilidades para chegarmos até aqui.

SUMÁRIO

1	Introdução	1
2	Objetivos	6
2.1	Objetivos Gerais	6
2.2	Objetivos Específicos.....	6
3	Materiais e Métodos.....	7
4	Revisão Bibliográfica	9
4.1	Escassez de Água	9
4.2	Consumo de Água	11
4.3	Conservação e Reúso de Água	13
4.4	Processos de lavagem nos diferentes setores de lavanderias	18
4.5	Caracterização dos Efluentes de Lavanderias.....	24
4.6	Tratamento de Águas Cinzas de Lavanderias para Reúso.....	29
4.6.1	<i>Fossa séptica</i>	30
4.6.2	<i>Reator biológico de contato.....</i>	31
4.6.3	<i>Membranas filtrantes, osmose reversa e biorreatores de membranas ..</i>	32
4.6.4	<i>Arranjos de tratamento e outros estudos.....</i>	33
4.6.5	<i>Áreas Alagadas Artificiais (ou Construídas)</i>	35
5	Desenvolvimento do Estudo de Caso.....	37
5.1	Descrição do local e da atividade em estudo.....	37
5.1.1	<i>Descarte atual do efluente da lavanderia central</i>	41
5.2	Coleta e análise das amostras.....	43
5.3	Resultados das análises	45
5.4	Possibilidades de Otimização do Uso de Água e Reúso do Efluente da Lavanderia.....	52
5.4.1	<i>Reúso com segregação de efluentes</i>	52
5.4.2	<i>Reúso sem segregação com pré-tratamento</i>	56
5.5	Sistemas de tratamento	61
5.5.1	<i>Tanques Sépticos.....</i>	61
5.5.2	<i>Wetland construída</i>	70
6	Conclusão	74
7	Referências Bibliográficas	76
8	Anexos	80
8.1	Resultados das análises laboratoriais das amostras	80
8.2	Tabelas da norma da ABNT NBR 7229/1993 para dimensionamento de tanques sépticos	92
8.3	Tabela para dimensionamento de wetland	94

RESUMO

A questão da escassez quantitativa e qualitativa da água no mundo tem gerado muitos conflitos pelo seu uso. Neste contexto, o reúso de águas cinzas se apresenta como alternativa para esta questão. Esta prática está apoiada sobre quatro pontos que devem ser considerados: segurança higiênica, estética, tolerância do ambiente (de acordo com o uso) e viabilidade econômica. Dentre as atividades geradoras de águas cinzas estão as lavanderias.

Neste trabalho, foi desenvolvido um estudo de caso em uma lavanderia de pequeno porte de uma instituição social chamada "Lar Criança Feliz", localizada no município de Cotia a 38 quilômetros de São Paulo. Neste local, o efluente proveniente da lavagem de roupas é lançado diretamente em um riacho sem tratamento prévio, aumentando a degradação de sua qualidade. Este fato incentivou a escolha deste local para avaliação da possibilidade de reúso deste efluente.

Para esta avaliação, foram realizadas análises laboratoriais para caracterização do efluente das três etapas que compõe o processo de lavagem de roupas (ou seja, lavagem, 1º enxágue e 2º enxágue) e de amostras do corpo hídrico receptor a montante e jusante do lançamento.

A partir desta caracterização, foi verificada a existência de outras atividades no local que tivessem uma demanda por água não potável, nas quais poderia ser feito o reúso deste efluente. Analisaram-se formas de reúso direto, considerando segregação dos efluentes de cada etapa do processo de lavagem ou reúso do efluente total da lavanderia com tratamento prévio para se obter as qualidades requeridas.

A melhor alternativa encontrada para o caso em estudo, considerando custos, disponibilidade de área e facilidade de operação e manutenção foi o reúso direto na própria lavanderia e o reúso do efluente total tratado para irrigação de áreas verdes. Para o reúso direto, seria utilizado o efluente do 2º enxágue, proveniente de duas máquinas do tipo domésticas, no processo de lavagem de uma máquina industrial. O efluente total gerado seria encaminhado para tratamento primário em tanque séptico, para abatimento da carga orgânica, seguido de tratamento secundário em sistema de "wetland", para redução dos nutrientes, e usado para irrigação.

Palavras-Chave: reúso de água, engenharia ambiental, lavanderia.

ABSTRACT

Water quantitative and qualitative scarceness issue in the world has been produced many conflicts for his use. In this context, greywater reuse show up as an alternative for this issue. This practice is based in four points that should be considered: hygienic safety, aesthetics, environmental tolerance (according to the use) and economical feasibility. Among greywater producers activities is the laundries.

In this work, it was developed a case in a small sized laundry of a social assistance institution called "Lar Criança Feliz", situated in municipal district of Cotia 38 kilometers away from São Paulo. On the premises, the effluent proceeding from clothes washing is thrown directly in a creek without treatment procedures, increasing its quality degradation. This fact motivated the choice of this place for effluent reuse possibilities assessment.

For this evaluation, it was realized laboratorial analyses for characterization of all three washing clothes stages (washing, 1st and 2nd rinse) and water body samples of upstream and downstream from throwing.

From characterization, it was verified the existence of other activities that has non-potable water demand, where effluent reuse could be practiced. It was studied many ways for direct reuse, considering effluent of each stage washing process segregation or total effluent reuse from laundry, using pre-treatment for reach quality requirements.

The best choice for this case considering costs, available area, operation and maintenance easiness was a direct reuse in laundry jointly with a reuse of total treated effluent from the activity to irrigation in gardens. For direct reuse, would be used the second rinse effluent from two common washing machines in the washing stage of an industrial washing machine. The total effluent produced would be directed to a primary treatment in a septic tank, for decreasing of organic matter, followed by a secondary treatment in a constructed wetland, for decreasing of nutrients, and used for irrigation.

Key-words: wastewater reuse, environmental engineering, laundry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Distribuição do consumo de água no Brasil.....	3
Figura 2. Fluxograma do Processo de Lavagem de Roupas em Domicílios.....	19
Figura 3. Fluxograma operacional de lavanderia hospitalar.....	21
Figura 4. Fluxograma do Processo de Lavagem de Roupas em Lavanderias Hospitalares.....	23
Figura 5. Sistema de Tratamento de Efluente de Lavanderia para Reúso composto por MBR e Osmose Reversa.....	32
Figura 6. Sistema de Tratamento para descarte ou Reúso de Efluente de Lavanderia Industrial.....	33
Figura 7. Processo de Tratamento de Efluente de Lavanderia de Jeans (Toritama).....	34
Figura 8. Sistema de Tratamento de Baixo Custo para Reúso de Efluente de Lavanderia de Uniformes.....	35
Figura 9. Sistema de wetland vertical.....	36
Figura 10. Vista aérea do local de estudo (GoogleEarth, 2011)	37
Figura 11: Vista do processo de lavagem nos tanques	39
Figura 12. Vista geral da lavanderia de estudo.....	40
Figura 13. Foto da tubulação no local do descarte do efluente da lavanderia.....	42
Figura 14. Foto do lançamento ao chegar no corpo d'água receptor.....	43
Figura 15. Amostras para análises dos efluentes da lavanderia e do corpo d'água receptor.....	46
Figura 16. Esquema simplificado do sistema de reúso direto a ser implantado na lavanderia em estudo.....	54
Figura 17. Dimensões de caixa d'água a ser utilizada no sistema de reúso na lavanderia.....	55
Figura 18. Curvas de nível representando a declividade do terreno do Lar Criança Feliz, propício para a distribuição de água de reúso para descarga nos vasos sanitários das casas.....	57
Figura 19. Vista superior e corte longitudinal do Tanque Séptico projetado para receber os efluentes da lavanderia em estudo.....	65
Figura 20. Vista da parede de separação das câmaras em série do Tanque Séptico projetado para receber os efluentes da lavanderia em estudo....	66
Figura 21. Vista da tampa do Tanque Séptico projetado para receber os efluentes da lavanderia em estudo.....	66
Figura 22. Opções de tratamento complementar e disposição final de efluentes e lodo provenientes de Tanques Sépticos.	67
Figura 23: Esquema de tratamentos em série para efluentes utilizando-se wetland.	71

Figura 24: Perfil de célula de wetland tipo FWS, com três regiões.....	72
Figura 25: Gráfico com os resultados das análises de Cor.....	80
Figura 26: Gráfico com os resultados das análises de turbidez.....	81
Figura 27: Gráfico com os resultados das análises de pH.....	82
Figura 28: Gráfico com os resultados das análises de COT.....	83
Figura 29: Gráfico com os resultados das análises de DQO.....	84
Figura 30: Gráfico com os resultados das análises de DBO.....	85
Figura 31: Gráfico com os resultados das análises de NTK.....	86
Figura 32: Gráfico com os resultados das análises de Fósforo total.....	87
Figura 33: Gráfico com os resultados das análises de Ortofosfato.....	88
Figura 34. Gráfico com os resultados das análises de Condutividade Elétrica.....	91

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Relação entre a disponibilidade de água doce e a população em porcentagem.....	1
Tabela 2. Consumo médio <i>per capita</i> de água por região.....	2
Tabela 3. Disponibilidade Hídrica em diferentes regiões do mundo.....	9
Tabela 4. Disponibilidade hídrica no Brasil por região.....	9
Tabela 5. Demanda de água para consumo humano por região Hidrográfica do Brasil e no Estado de São Paulo.....	10
Tabela 6: Consumo residencial nos Estados Unidos.....	11
Tabela 7. Estimativas de Consumo Residencial de Água Potável para o Brasil.....	12
Tabela 8. Classificação e parâmetros de qualidade de águas de reúso.....	16
Tabela 9. Consumo de água pelas lavanderias de Toritama - Comparativos dos anos 2002 e 2006.....	17
Tabela 10. Processo de lavagem de roupas em domicílios.....	18
Tabela 11. Carga de roupa de acordo com o tipo de hospital.....	20
Tabela 12: Características Físicas de Águas Residuárias de Lavagem de Roupas.	25
Tabela 13. Características Químicas de Águas Residuárias de Lavagem de Roupas – Compostos Nitrogenados.	26
Tabela 14. Características Químicas de Águas Residuárias de Lavagem de Roupas – Parâmetros Diversos.	26
Tabela 15. Características Químicas de Águas Residuárias de Lavagem de Roupas – Compostos Fosforados.	27
Tabela 16. Características Químicas de Águas Residuárias de Lavagem de Roupas – Compostos Orgânicos.	28
Tabela 17. Características Microbiológicas de Águas Residuárias de Lavagem de Roupas.....	29
Tabela 18. Valores dos parâmetros obtidos no estudo de Ciabatti et al (2009).....	34
Tabela 19. Características de efluente tratado com filtro de areia e cascalho.....	35
Tabela 20. Estimativa do consumo de água na lavanderia em estudo.	41
Tabela 21. Características físicas das amostras coletadas.	46
Tabela 22. Características Químicas das Amostras Coletadas – pH e Condutividade;	47
Tabela 23. Características Químicas das Amostras Coletadas – Compostos Orgânicos.....	48
Tabela 24. Características Químicas das Amostras Coletadas – Compostos Nitrogenados e Fosforados	49
Tabela 25. Características Microbiológicas das Amostras Coletadas – Coliformes Totais	51

Tabela 26. Características Microbiológicas das Amostras Coletadas – E. Coli	51
Tabela 27. Média dos valores dos parâmetros analisados, considerando a mistura das amostras de todas as etapas da lavagem de roupas.....	58
Tabela 28. Comparaçao dos resultados das análises dos enxague das máquinas com os padrões exigidos pela NBR 13.969/97 para reúso em descarga de vasos sanitários.....	58
Tabela 29. Valores médios de outros parâmetros do efluente da lavanderia em estudo não contemplados na norma NBR 13.969/97 para reúso em descarga de vasos sanitários.....	59
Tabela 30. Dimensões do Tanque Séptico projetado para receber os efluentes da lavanderia em estudo.....	64
Tabela 31. Faixas prováveis de remoção dos poluentes, conforme o tipo de tratamento, consideradas em conjunto com o tanque séptico (em %) ^{1),2)}	69
Tabela 32. Algumas características dos processos de tratamento a serem utilizados em conjunto com o tanque séptico (as características excluem o tanque séptico)	70
Tabela 33. Resultados das análises de Cor.....	80
Tabela 34: Resultados das análises de turbidez.....	81
Tabela 35: Resultados das análises de pH.....	82
Tabela 36: Resultados das análises de COT.....	83
Tabela 37: Resultados das análises de DQO.....	84
Tabela 38: Resultados das análises de DBO.....	85
Tabela 39: Resultados das análises de NTK.....	86
Tabela 40: Resultados para análise de N amoniacal e cálculo de N orgânico.....	86
Tabela 41: Resultados das análises de Fósforo total.....	87
Tabela 42: Resultados das análises de Ortofosfato.....	88
Tabela 43: Resultados das análises de Coliformes totais.....	89
Tabela 44: Resultados das análises de E. Coli.....	90
Tabela 45: Resultados das análises de Condutividade Elétrica.....	91
Tabela 46. Profundidade útil mínima e máxima, por faixa de volume útil.....	92
Tabela 47. Contribuição diária de esgoto (C) e de lodo fresco (L_f) por tipo de prédio e de ocupante.....	92
Tabela 48. Período de detenção dos despejos, por faixa de contribuição diária.....	93
Tabela 49. Taxa de contribuição total de lodo (K), em dias, por intervalo entre limpezas e temperatura do mês mais frio.....	93
Tabela 50. Tabela extraída de modelo para dimensionamento de wetland.....	94

1 INTRODUÇÃO

Essencial para todas as formas de vida conhecidas, a água foi considerada durante muitos séculos pelas civilizações que passaram pelo planeta Terra como um bem inesgotável. Cobrindo cerca de 70% da superfície do nosso planeta, a estimativa da quantidade de água é da ordem de 1,386 bilhões de quilômetros cúbicos presentes nos oceanos, rios, geleiras, aquíferos, atmosfera, entre outros, permanecendo esta quantidade praticamente constante nos últimos 500 milhões de anos (Shiklomanov, 1998).

Entretanto, durante o século XX, principalmente a partir da segunda metade, a disponibilidade hídrica e a manutenção da sua qualidade têm preocupado as autoridades do mundo inteiro, sendo tema frequente de debates. A Conferência das Nações Unidas Sobre o Ambiente Humano, realizada em Estocolmo em 1972, colocou em debate pela primeira vez a nível mundial a preocupação com as questões ambientais globais. Na Declaração desta Conferência foi citada a importância de se preservar a água para as gerações presentes e vindouras.

Da quantidade total de água existente no nosso planeta, 97,5% está nos oceanos e mares sob a forma de água salina; dos 2,5% restantes, ou seja, do total de água doce do mundo, temos a maior parte (68,7%) na forma de gelo em calotas polares e geleiras, aproximadamente 29,9% são águas subterrâneas e apenas o restante são águas doces presentes nos rios, lagos e outros reservatórios de acesso facilitado ao consumo para as atividades humanas e apresenta um ciclo de renovação. Uma pequena parcela da água doce encontra-se também na biomassa e na atmosfera em forma de vapor (Shiklomanov, 1998).

A distribuição desta água doce ao longo da superfície terrestre é heterogênea e não acompanha proporcionalmente a distribuição da população. Na tabela abaixo são apresentadas as porcentagens de disponibilidade de água doce e população em cada continente.

Tabela 1. Relação entre a disponibilidade de água doce e a população em porcentagem.

Continentes	Água doce (%)	População (%)
América do Norte e Central	15	8
América do Sul	26	6
Europa	8	13
África	11	13
Ásia	36	60
Austrália	5	1

Fonte: UNESCO, 2004

Verifica-se pela Tabela 1 que a América do Norte, Central e do Sul juntamente com a Austrália possuem apenas 15% da população mundial e, no entanto, 46% da água doce do planeta. Por outro lado, a Ásia e a Europa, com 73% da população mundial, possuem praticamente a mesma quantidade de água doce que os anteriores (44%).

Neste cenário, o Brasil, com uma população de 190.732.694 habitantes distribuídos nos seus 8.547.403,5 km² (IBGE, 2010), apresenta-se como um dos países mais privilegiados em recursos hídricos do mundo, possuindo uma disponibilidade média de água nos rios de 30.264 m³/hab/ano. Além disso, por sua configuração geográfica, relevo, extensão territorial e dinâmica das massas de ar, o Brasil apresenta uma abundante pluviometria (entre 1.000 mm e 3.000 mm/ano) em 90% do seu território (Rebouças, 2003). Quanto à distribuição deste recurso, assim como no planeta, a desigualdade se repete no território brasileiro, onde a Bacia Amazônica concentra aproximadamente 68,5% da água doce do país e abriga apenas 6,98% da população, restando para os outros 93,02% da população apenas 31,5% deste recurso. A situação é ainda mais grave se analisarmos a situação individual de cada região. As regiões Sudeste e Nordeste, por exemplo, que abrigam 42,65% e 28,91% da população brasileira, respectivamente, possuem apenas 6% e 3,3% do total de água doce do país (Tomaz, 2001).

As constantes crises de abastecimento enfrentadas por algumas regiões do país também nos revelam que a tranquilidade que esta abundância deixa transparecer é aparente. Além da falta de saneamento, degradação da qualidade dos corpos hídricos, entre outros, um dos principais motivos dessa escassez é o desperdício.

Diante desta situação preocupante que nos encontramos atualmente, a legislação ambiental tem se tornado cada vez mais rigorosa quanto ao descarte de efluentes nos corpos d'água. Este fato, somado aos aumentos progressivos do custo da água potável, tem motivado a implantação de algumas alternativas a fim de se amenizar os efeitos da escassez e má distribuição de água no planeta e em nosso país.

Para as indústrias, o alto custo cobrado pelos serviços de abastecimento de água tem incentivado este setor a reutilizar seus efluentes. Em São Paulo, com a criação da Política Estadual de Recursos Hídricos (Lei 12.183/2005), a redução do consumo de água no setor industrial é importante devido ao processo de implantação da Cobrança pelo Uso da Água pelo Comitê de Bacias Hidrográficas regulamentada pelo Decreto 50.667/2007. A redução implicaria num menor custo pela utilização da água para a indústria, que é calculado a partir do volume captado, volume consumido e características do efluente a ser lançado.

Segundo dados do SNIS (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, 2008), o consumo médio *per capita* de água no Brasil é de 151,2 L/hab.dia, variando conforme a região, de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2. Consumo médio *per capita* de água por região.

Regiões do Brasil	Consumo (L/hab.dia)
Norte	135,7
Nordeste	110,5
Sudeste	178,1
Sul	137,2
Centro-Oeste	143,8
Brasil	151,2

Fonte: SNIS (2008)

A Figura 1 apresenta a distribuição do consumo de água em função de seus usos, a partir de dados obtidos de Mancuso e Santos (2003).

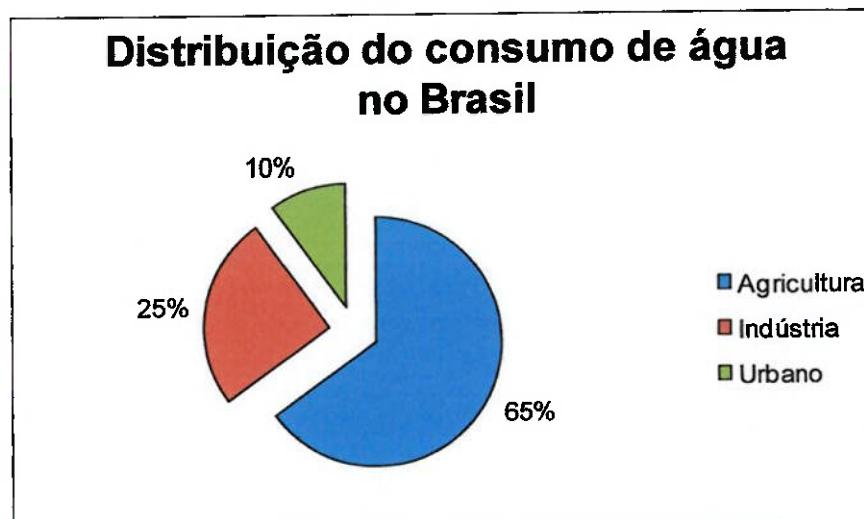


Figura 1. Distribuição do consumo de água no Brasil.

Dentre as muitas atividades consumidoras de água no setor industrial e urbano, temos a lavagem de roupas. Seja uma lavanderia industrial, comercial ou a lavagem de roupas em escala doméstica, esta atividade consome uma parcela significativa de água potável.

No Brasil, estima-se que o consumo de água potável pela lavagem de roupas em residências é de 5% do total segundo pesquisa realizada pelo Programa de Uso Racional da Água - PURA, (1999).

Em escala comercial, a lavagem de roupas é uma atividade bastante comum na atualidade, figurando como um importante setor de prestação de serviços. Segundo informações do Sindicato das Lavanderias do Estado de São Paulo (Sindilav), estima-se que no ano de 2009 operavam no Brasil cerca de 6.200 lavanderias, sendo 5.300 domésticas e 900 industriais, sendo estas últimas subdivididas nas seguintes categorias: lavanderias industriais, lavanderias de jeans e lavanderias hospitalares. No estado de São Paulo o número de prestadores deste serviço era de 3.000 lavanderias domésticas e 700 industriais (sendo que 70% do total estavam localizadas na capital), e o faturamento deste setor no mesmo ano foi próximo a 2 bilhões de reais, existem ainda estimativas de crescimento da oferta no setor, de acordo com o sindicato.

Em 1992 foi estabelecido pelo PNUMA (Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente) o conceito de Produção Mais Limpa (P+L), definido como a aplicação contínua de uma estratégia ambiental preventiva. Este conceito é aplicado também ao setor de serviços e tem como uma de suas atividades específicas o uso eficiente da água com redução do consumo de água, reúso e reciclagem de efluentes líquidos (CETESB, 2005). Esta prática aplica-se perfeitamente às lavanderias como prestadoras de serviços.

Menezes (2005) estima que 10% do consumo urbano total de água seja destinado ao setor de lavagem de roupas em escala comercial, o efluente gerado pela atividade de lavagem de roupas representa, portanto, um grande volume. Além disso, contém inúmeros compostos químicos, tais como tensoativos, amaciante, alvejantes, tinturas, fibras de tecidos e diversos contaminantes, apresentando considerável carga orgânica e coloração, baixa tensão superficial e quantidade significativa de sólidos suspensos.

Os detergentes em pó utilizados nos processos de lavagem de roupas apresentam em sua composição fósforo na forma inorgânica para melhorar a eficiência da lavagem pela reação com íons, principalmente, de cálcio e magnésio, responsáveis pela dureza da água. O fósforo presente então no efluente de lavanderias pode chegar aos corpos hídricos como nutriente, podendo causar a eutrofização quando a concentração for elevada, propiciando o crescimento acelerado e a proliferação de algas, principalmente em ambientes lênticos. No caso do corpo receptor de lançamentos deste tipo de efluente ser um manancial utilizado para abastecimento público de água, pode ocorrer a elevada proliferação de algas, inclusive tóxicas, as quais serão responsáveis pela possível formação de compostos organoclorados no processo de desinfecção em estações de tratamento de água. Quevedo (2009) afirma em seu trabalho que a comercialização de detergentes contendo fosfatos inorgânicos teve início em 1946 e que desde a década de 1970 estuda-se a possibilidade de substituição deste componente por zeólitas.

Quevedo (2009) afirma em seu trabalho que a comercialização de detergentes contendo fosfatos inorgânicos teve início em 1946 e que desde a década de 1970 estuda-se a possibilidade de substituição deste componente por zeólitas.

Para o controle do lançamento de fósforo em corpos d'água, a resolução CONAMA 359 de 29 de abril de 2005 regulamenta o teor deste componente em detergentes em pó comercializados em território nacional. Esta resolução apresenta limites máximos em porcentagem dos compostos P_2O_5 (pentóxido de fósforo) e P (fósforo) na formulação, além de estabelecer uma média ponderada máxima de fósforo e STTP (tripolifosfato de sódio) pela massa de detergentes comercializada por grupos de fabricantes/importadores.

Diante destes fatores, destaca-se a importância de estudos sobre os processos em lavanderias para um consumo racional de água e implantação de tratamento dos efluentes antes do descarte por parte desta atividade.

Um dos conceitos fundamentais utilizados na busca pela solução destes problemas é a otimização do uso da água e a sua reutilização. Consolidado em países onde há escassez de água potável, como a Alemanha e Japão, o reúso das chamadas “águas cinzas” tem demonstrado bastante eficácia no que diz respeito a economia no consumo.

“As águas cinzas podem ser definidas como águas residuárias originadas de banheiras, chuveiros, lavatórios, máquinas e tanques de lavar roupas e pias de cozinha” (May, 2009).

A utilização das águas cinzas, no entanto, está sujeita a necessidade de verificação da sua qualidade físico-químico-biológica, devendo satisfazer a padrões de qualidade para cada possibilidade de reúso.

Devido as características diversas das águas cinzas, seu sistema de reúso apresenta vários riscos relacionados ao seu uso inadequado, inclusive à saúde humana devido à possibilidade de disseminação de doenças pela presença de microrganismos na água, além de elevada presença de odor produzidos pela decomposição de matéria orgânica, risco de entupimento de tubulações de alimentação e distribuição destas águas, entre outros.

Por estes motivos, a caracterização da água a ser reciclada é etapa primordial do processo de reúso, pois o conhecimento das características físico-químico-biológicas desta água e o uso que será feito dela possibilitará a escolha do método de tratamento adequado a cada situação, a fim de se atingir os padrões de qualidade que garantam uma segurança na sua reutilização.

Neste relatório serão apresentadas e avaliadas as possibilidades de otimização do uso da água e os tipos de tratamento para o reúso direto ou indireto de efluentes de lavanderias de pequeno porte, ou seja, que atenda, principalmente, à atividade residencial, a fim de se obter um melhor desempenho ambiental nesta atividade, e que possa ser estendido para condomínios residenciais e pequenas comunidades.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos Gerais

O objetivo deste estudo será avaliar o potencial do reúso de efluentes provenientes de lavanderias de pequeno porte. Como estudo de caso será verificado a possibilidade de implantação de um sistema de reúso do efluente da lavanderia central de um abrigo para crianças localizado no município de Cotia (SP) a aproximadamente 38 quilômetros da capital. O abrigo, denominado Lar Criança Feliz, situa-se na Rua Caminho do Furquim, 275 – Chácara Santa Maria – Cotia - SP.

Atualmente este efluente é lançado sem qualquer espécie de tratamento em um riacho e a tubulação que direciona este efluente ao riacho foi construída separadamente do restante dos efluentes gerados no local, que são enviados para fossa séptica, por este motivo a avaliação do reúso foi feita somente para os efluentes da lavanderia do abrigo neste estudo. O efluente proveniente da lavagem das roupas deverá ser analisado para verificação da necessidade de tratamento ou não, a fim de reutilizá-lo para usos não potáveis, seja na própria lavagem de roupas ou em outras atividades existentes no local (como limpeza de calçadas, rega de plantas, entre outras) otimizando, desta forma, o uso da água na lavanderia do abrigo.

2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste estudo são:

- Caracterizar o efluente da lavanderia do abrigo;
- Analisar a viabilidade de separação e reúso dos efluentes de diferentes características (diferentes etapas);
- Avaliar a possibilidade de reúso do efluente de todo o processo;
- Determinar a tecnologia mais adequada para cada caso.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O setor de lavanderias se apresenta como uma atividade de consumo de água elevado e geração de efluentes possivelmente causadores de poluição devido aos produtos utilizados, sendo um tema bastante importante para estudos. Além disso, o reúso de água em lavanderias é interessante para os atuantes dessa área, principalmente visando redução da água consumida. Devido às características da atividade, a prática de reúso é possivelmente viável tanto em níveis industriais e hospitalares quanto em escala menor.

A sequência de atividades para a elaboração do presente trabalho se dará de acordo com os objetivos propostos, compreendendo as etapas de estudos e obtenção de informações sobre o assunto, análises laboratoriais do efluente de lavanderia e discussão dos resultados.

No estudo de caso serão feitas análises periódicas durante o período de dois meses do efluente gerado em cada etapa da lavagem de roupas na lavanderia do abrigo em estudo. Esta atividade possibilitará caracterizar o efluente de cada etapa e verificar as possibilidades de reúso de acordo com a qualidade de cada um. Também serão analisadas amostras de água do córrego receptor em pontos a montante e a jusante do lançamento que está sendo feito hoje do efluente de lavanderia para verificação do impacto causado pelo lançamento. As amostras serão armazenadas em frascos de plástico e transportadas até o laboratório de análises em caixa com isolamento térmico e proteção à luz.

As análises serão realizadas nos dias de coleta e, se necessário, nos dias subsequentes, no Laboratório de Saneamento "Prof." Lucas Nogueira Garcez" do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da EPUSP e serão feitas de acordo com os procedimentos do "Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater". Para os efluentes gerados serão analisadas características físicas, químicas e biológicas através dos parâmetros: cor, turbidez, pH (pelo método eletrométrico), DQO, $\text{DBO}_{5,20^\circ\text{C}}$, COT (para a análise de matéria orgânica), fósforo total e ortofosfato (por espectrofotometria UV), Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK), condutividade elétrica e coliformes totais e termotolerantes.

Após esse período, os dados das análises serão avaliados e utilizados para a determinação das possíveis alternativas a serem implantadas no local. Esta determinação será realizada pela verificação de quais tratamentos possibilitariam a reutilização devido à melhoria na qualidade dos efluentes e para quais atividades isso seria possível, também serão analisados quais são necessários para o descarte correto. Será avaliada também a possibilidade do reúso sem tratamento para o qual os dados são a principal ferramenta.

A lavanderia do abrigo possui quatro máquinas de lavar, uma centrífuga e um tanque. Está prevista a retirada de amostras dos efluentes:

- de lavagem das quatro máquinas em conjunto;
- do primeiro enxágue das máquinas e do tanque;

- do segundo enxágue das máquinas e do tanque;
- do corpo d'água receptor do efluente à montante do lançamento;
- do corpo d'água receptor do efluente à jusante do lançamento.

Esta proposta resulta em três amostras para os efluentes gerados, que somadas às duas amostras do córrego receptor resultam em cinco amostras a serem analisadas em laboratório.

A partir dos resultados obtidos para caracterização das amostras, será estudada a viabilidade de implantação de um sistema de reúso e otimização (e os recursos necessários para tal), levando-se em consideração o contexto do local, como recursos financeiros e disponibilidade de mão-de-obra.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Escassez de Água

A água, como já citado anteriormente, é um recurso natural essencial para a vida no nosso planeta e distribuída de forma desigual ao longo da superfície terrestre. A sua disponibilidade em qualquer região do planeta, como pontuam Mierzwa e Hespanhol (2005), varia conforme as condições climáticas de cada local e período do ano e pode ser afetada pelas atividades humanas, seja pela demanda excessiva ou pela degradação da qualidade dos corpos hídricos com o lançamento de efluentes poluidores.

As Tabelas a seguir (Tabela 3 e Tabela 4) ilustram a diferença de disponibilidade hídrica em diversas regiões do globo e no Brasil, e a Tabela 5 mostra as demandas de água por Região Hidrográfica do Brasil e no Estado de São Paulo.

Tabela 3. Disponibilidade Hídrica em diferentes regiões do mundo.

Regiões	Disponibilidade Hídrica (km ³ /ano)	População (milhões hab.)	Disponibilidade Específica (m ³ /hab/ano)
África	3.160	790	4.000
Europa	5.590,2	726	7.700
América do Norte	5.185	305	17.000
América do Sul / Central	12.700	508	25.000
Ásia	14.712	3.678	4.000
Oceania	990	30	33.000
Brasil	5.772,3	190,7	30.263,82

Fonte: Adaptado de Nunes e Carvalho (2004), p.1; e Mierzwa e Hespanhol (2005), p.10; IBGE (2010).

Tabela 4. Disponibilidade hídrica no Brasil por região.

Regiões	Disponibilidade Hídrica (km ³ /ano)	População (milhões hab.)	Disponibilidade Específica (m ³ /hab/ano)
Norte	3.687,3	12,9	285.591
Nordeste	233,2	47,8	4.880
Sudeste	322,2	72,4	4.448
Sul	362,4	25,1	14.434
Centro-Oeste	1.169,6	11,6	100.493
Brasil	5.774,8	190,7	30.264

Fonte: Adaptado de Mierzwa e Hespanhol (2005), p.10; IBGE (2010).

Tabela 5. Demanda de água para consumo humano por região Hidrográfica do Brasil e no Estado de São Paulo.

Região Hidrográfica	Demanda (L/dia/hab)
Amazonas	102,65
Tocantins	133,13
Parnaíba	216,80
São Francisco	170,83
Paraguai	187,92
Paraná	166,23
Uruguai	180,50
Costeira do Norte	581,17
Costeira do Nordeste Ocidental	176,03
Costeira do Nordeste Oriental	202,04
Costeira do Sudeste	345,92
Costeira do Sul	133,08
Média do estado de São Paulo	284,22
Região Metropolitana de São Paulo	321,06
Média do Brasil	195,63

Fonte: Mierzwa e Hespanhol (2005), p.12.

Como se pode observar na Tabela 3, a disponibilidade hídrica no mundo é bastante desigual, sendo que Ásia e América do Sul/Central detém cerca de 65% da água doce disponível no mundo. No entanto, apesar de a Ásia figurar como a grande detentora dos recursos hídricos mundiais, sendo cerca de 4 vezes maior que a da África, apresenta uma baixa disponibilidade hídrica específica, equivalente ao do continente africano, devido, por exemplo, à grande quantidade de pessoas que residem nesta região, o que indica a demanda como importante fator de escassez.

No Brasil esta situação ocorre de maneira semelhante. A Tabela 4 destaca que enquanto as regiões Norte e Centro-Oeste apresentam as maiores disponibilidades hídricas e menores densidades populacionais, as regiões mais populosas como o Sudeste e Nordeste apresentam pouca disponibilidade hídrica.

Esta questão é agravada pelas demandas de cada região, conforme a Tabela 5. Pode-se perceber facilmente que as maiores demandas se localizam nas regiões com concentrações industriais e populacionais, como a Região Metropolitana de São Paulo.

A escassez de água pode ocorrer sob duas perspectivas conforme Junior (2003): quanto à disponibilidade e quanto ao uso pretendido. Segundo este autor, em muitas regiões do planeta, a população ultrapassou a situação em que poderia ser abastecida somente com os recursos hídricos disponíveis. O autor afirma que 26 países onde vivem 262 milhões de pessoas estão enquadrados em área em que há escassez de água. Para agravar a situação, a população tem crescido mais acentuadamente em algumas destas regiões.

No âmbito regional, estudo realizado por Rodrigues (2008) destaca os efeitos da escassez de água no município de Itu, interior do Estado de São Paulo. A cidade, com um histórico problema de escassez de água e frequentes racionamentos, sofreu no triênio de 1999 a 2001 com um gravíssimo problema de falta de água, sendo inclusive decretado estado de calamidade pública.

Outro problema é a falta de saneamento básico no país. Segundo levantamento do IBGE (2008) somente 55,2% dos municípios brasileiros contemplados no estudo possui rede coletora de esgoto e, destes, apenas 51,7% tratam o esgoto coletado. Nos demais municípios o esgoto é lançado diretamente nos corpos hídricos, comprometendo a qualidade destes e transformando-os em possíveis veículos de transmissão de doenças como malária, tifo e esquistossomose.

4.2 Consumo de Água

No Brasil, a distribuição do consumo de água é de 65% para fins agrícolas, 25% para indústrias e 10% para usos urbanos (Mancuso e Santos, 2003).

Tomaz (2000) divide o consumo urbano nas seguintes categorias:

- *Consumo residencial*: relativo às residências e edifícios familiares.
- *Consumo comercial*: englobam restaurantes, lanchonetes, lojas, serviços de saúde, hotéis, entre outros.
- *Consumo público*: estão edifícios públicos, escolas, cadeia pública, prédios municipais, estaduais e federais, entre outros.

Dziegielewski (1993) apud Tomaz (2000) apresenta uma estimativa, feita por Brown e Caldwell (1986), da distribuição do consumo de água em uma residência nos Estados Unidos.

Tabela 6: Consumo residencial nos Estados Unidos

Consumo interno em uma residência	Porcentagem de consumo
Bacia Sanitária	35%
Lavagem de Roupa	22%
Chuveiros	18%
Torneiras	13%
Banhos	10%
Lavagem de Pratos	2%
Total	100%

Fonte: Dziegielewski (1993) apud Tomaz (2000)

Pelo estudo de Brown e Caldwell, verifica-se que a lavagem de roupas é a segunda atividade doméstica que mais demanda água, sendo por volta de 22% do consumo total, ficando atrás apenas para a descarga de bacias sanitárias, que consome 35%.

Com os dados deste estudo, pode-se, para exemplificar, fazer uma estimativa da quantidade de água que é consumida por esta atividade nas residências. Considerando:

- consumo diário médio *per capita* de água de 151,2 L (SNIS, 2008);
- residência onde vivem 4 moradores;

temos a seguinte estimativa para uma residência:

- Consumo diário total de água: 151,2 L x 4 pessoas = 604,8 L.
- Consumo diário de água na lavagem de roupas: 604,8 L x 0,22 = 133 L.

May (2009) apresenta dados de estudos mais recentes com relação às estimativas de consumo de água em residências para o Brasil. Estes dados estão apresentados na Tabela 7 a seguir.

Tabela 7. Estimativas de Consumo Residencial de Água Potável para o Brasil.

Consumo Residencial de Água Potável	Porcentagem de Consumo		
	Pesquisa realizada pela USP (1999)	Pesquisa realizada pelo IPT / PNCDIA	Pesquisa realizada pela DECA
Vaso Sanitário	29%	5%	14%
Chuveiros	28%	54%	46,7%
Lavatório	6%	7%	11,7%
Pia de Cozinha	17%	17%	14,6%
Tanque	6%	10%	4,9%
Máquina de Lavar Roupas	5%	4%	8,1%
Máquina de Lavar Louças	9%	3%	-
Total	100%	100%	100%

Fonte: May (2009); p. 16

No caso dos valores apresentados acima, a atividade de lavagem de roupas tem pequena participação nos gastos em uma residência, sendo esta entre 4% e 8,1%. A atividade de lavagem de roupas, no entanto, apresenta diversos fatores que interferem de forma relevante na quantidade de água utilizada por ela como, por exemplo, o tipo de máquina utilizada, a quantidade de roupas que é lavada, tecido de que são feitas, seu estado de sujidade e a frequência com que esta atividade ocorre.

4.3 Conservação e Reúso de Água

Devido ao aumento da demanda de água para seus múltiplos usos e a contínua degradação dos mananciais ainda disponíveis, a água tem se tornado com o passar dos anos escassa, não sendo esta condição exclusiva de regiões áridas e semiáridas, conforme o Manual de Conservação e Reúso em Edificações publicado pelo Sindicato da Indústria da Construção Civil (Sinduscon, 2005).

No contexto descrito nos itens 4.1 e 4.2, a conservação da água potável se mostra bastante pertinente. Existem duas formas de praticar a conservação de água: através do aproveitamento das águas pluviais e reutilização de águas cinzas para consumos não potáveis (May, 2009).

Águas cinzas, de acordo com Tomaz (2001), são aquelas provenientes de pias de banheiros, chuveiros, banheiras e máquinas de lavar roupas.

Desde a Antiguidade, o reúso de água tem sido praticado. Na Grécia Antiga, por exemplo, os efluentes eram utilizados para irrigação da agricultura (Borges apud Crea-PR, 2009). No entanto, foi somente no século XX que surgiram as primeiras regulamentações sobre o tema.

A prática do reúso possui diversas classificações, considerando a forma com que ocorre e o uso que se faz dela. A Organização Mundial da Saúde (OMS, 1973) estabelece a seguinte classificação:

- *Reúso indireto*: quando a água já utilizada é lançada no corpo hídrico e, estando numa forma mais diluída, é captada mais a jusante para utilização;
- *Reúso direto*: é o uso intencional de esgotos tratados para certas finalidades, como, por exemplo, recarga de aquíferos subterrâneos, irrigação, lavagem de pisos, entre outros.
- *Reciclagem interna*: reutilização de efluente industrial dentro da própria indústria, a fim de se economizar água e controlar a poluição.

Além disso, esta publicação subdivide o reúso indireto em dois tipos: intencional e não intencional, sendo o primeiro quando o reúso indireto provém de descargas propositais a montante ou recargas intencionais em aquíferos.

Lavrador (1987) apud May (2009) utiliza os termos “reúso planejado” e “reúso não planejado” levando em conta se a prática do reúso provém de uma ação consciente e, consequentemente, precedida de cuidados importantes com sua qualidade, ou se esta prática ocorre de maneira não intencional e não controlada, através da captação de água no meio ambiente a jusante de um lançamento. No primeiro caso, pela maior possibilidade de se ter conhecimento das características do efluente há uma maior segurança para o usuário proceder com o reúso. Já para o reúso não planejado, as incertezas com relação às características do corpo hídrico tornam esta prática pouco recomendável.

Outra classificação para o reúso foi feita por Westerhoff (1984) apud Filho e Mancuso (2003), dividindo-o em duas categorias: potável e não potável, cada qual tendo subdivisões distintas.

Quanto ao reúso potável, podemos subdividí-la em direto e indireto:

- *Reúso potável direto*: quando, após tratamento avançado, o esgoto é reutilizado diretamente para fins potáveis.
- *Reúso potável indireto*: o esgoto recebe tratamento e é lançado nos corpos hídricos superficiais ou subterrâneos, sofrendo purificação natural. Em seguida, é captada, tratada e finalmente utilizada como água potável.

Apesar de haver a possibilidade de reúso de águas para fins potáveis, Hespanhol (1999) apud Filho e Mancuso (2003) adverte sobre o elevado risco associado ao reúso potável de efluentes, devido à presença de compostos orgânicos sintéticos e organismos patogênicos, principalmente em regiões onde há ocorrência de polos industriais. Este fato torna esta prática inviável em muitos casos.

Com relação ao reúso não potável, este se classifica de acordo com a finalidade da prática, a saber: para fins agrícolas, para fins industriais, para fins recreacionais e para fins domésticos. Filho e Mancuso (2003) ainda acrescentam mais três subdivisões além das citadas por Westerhoff, que são: manutenção de vazões, aquicultura e recarga de aquífero subterrâneo.

O reúso de águas cinzas deve atender a quatro critérios, conforme Nolde (1999) apud Li, Wichmann e Otterpohl (2009): segurança higiênica, estética, tolerância do ambiente (de acordo com o uso) e viabilidade econômica. No entanto, o mesmo autor cita que a falta de padrões de qualidade da água apropriados ou diretrizes tem dificultado o reúso destas águas de maneira adequada.

Nesta mesma linha, a publicação da ANA (Agência Nacional de Águas) juntamente com a FIESP (Federação das Indústrias do Estado de São Paulo) e o Sinduscon – SP (Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de São Paulo) com o título: "Conservação e Reúso da Água em Edificações", obra escrita por dez autores, apresenta também critérios para um programa de reúso utilizando águas cinzas como fonte, sendo estes: preservação da saúde dos usuários, preservação do meio ambiente, atendimento às exigências relacionadas às atividades a que se destina e quantidade suficiente ao uso a que será submetida.

No Brasil ainda são escassas as legislações que regulamentam o reúso de águas. A ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, através da norma NBR 13.969/1997, no item 5.6, recomenda o reúso local de esgoto de origem essencialmente doméstica ou com características semelhantes para fins que exigem qualidade de água não potável, mas sanitariamente segura. Esta norma descreve ainda que o reúso pode abranger desde a simples recirculação de água de enxágue da máquina de lavar com ou sem tratamento aos vasos sanitários, até um processo com alta eficiência de remoção de poluentes para a lavagem de carros.

De maneira geral, o esgoto tratado pode ser classificado conforme a Tabela 8 abaixo, de acordo com o reúso, indicando ainda parâmetros de qualidade necessários.

Tabela 8. Classificação e parâmetros de qualidade de águas de reúso.

Classificação	Usos	Turbidez (uT) (NMP/100ml)	Parâmetros			
			Coliformes fecais (NMP/100ml)	Sólidos Dissolvidos Totais (mg/l)	pH	Cloro Residual (mg/l)
Classe 1	Lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água, com possível aspiração de aerossóis pelo operador, incluindo chafarizes.	< 5	< 200	< 200	6,0 - 8,0	0,5 - 1,5
Classe 2	Lavagens de pisos, calçadas e irrigação dos jardins, manutenção dos lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes.	< 5	< 500	-	-	> 0,5
Classe 3	Reúso nas descargas dos vasos sanitários.	< 10	< 500	-	-	-
Classe 4	Reúso nos pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual.	-	< 5.000	-	-	> 2,0

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT – NBR 13.969/97, item 5.6

No que diz respeito aos efluentes gerados na lavagem de roupas, atualmente existem exemplos bem-sucedidos de conservação e reúso de água neste setor. Um destes fatos, extraído do livro Histórias de Sucesso do Sebrae (2006), ocorreu em Toritama, município do agreste de Pernambuco, que até 2006 integrava, juntamente com outras cidades, o polo de confecções do Estado. Em 2003, Toritama era responsável por 12% da produção de jeans do país, perdendo apenas para o polo de confecção do Brás, em São Paulo.

Região que conta com um dos menores índices pluviométricos de Pernambuco, convivendo constantemente com o racionamento de água, no ano de 2002 mais de 50 lavanderias de jeans do município receberam um ultimato do Ministério Público, que ameaçou fechá-las por não se enquadrarem na legislação ambiental brasileira, decorrente do lançamento dos seus efluentes no Rio Capibaribe, única fonte de água da região.

Para se ter uma ideia da magnitude do consumo de água destas lavanderias em Toritama, este era 72% maior do que o consumo de água de toda a população local. O efluente da lavagem era lançado no Rio Capibaribe com um valor de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) de aproximadamente 600 mg/L, bem além dos 50 mg/L permitido pela legislação brasileira.

Frente às exigências com relação à manutenção da qualidade da água do Rio Capibaribe e a necessidade de racionalização do consumo deste recurso, através de um acordo de cooperação tecnológica entre o Sindicato do Vestuário de Pernambuco com uma empresa alemã, as lavanderias, com iniciativa da Lavanderia Mamute, acabaram por se adequarem, implementando unidades de tratamento e reúso de parte da água tratada. A Tabela 9 mostra o comparativo do consumo de água no município de Toritama.

Tabela 9. Consumo de água pelas lavanderias de Toritama - Comparativos dos anos 2002 e 2006.

	2002	2006
Peças lavadas por lavanderia (média/dia)	1.500	1.800
Litros de água por peça lavada (média)	50	60
Litros de água por lavanderia/dia	75.000	108.000
Número de lavanderias da cidade	60	56
Litros de água total consumidos pelas lavanderias/dia	4.500.000	6.048.000
Litros de água reutilizada	0	3.024.000
Litros de água consumida (total e reutilização)	4.500.000	3.024.000
Litros consumidos numa residência /pessoa	120	120
Consumo de água per capita das lavanderias	37.500	25.200
População oficial do município	21.800	21.800

Fonte: Histórias de Sucesso – Sebrae, 2006, p. 20

Pode-se observar que no período entre 2002, em que ainda não havia sido implantada a prática do reúso de parte do efluente pelas lavanderias, e 2006, quando esta prática já era realizada, apesar do aumento de 20% da quantidade de peças lavadas por lavanderia e de 34,4% do consumo total de água por este setor, o reúso de 50% do efluente, através de sua recirculação pelo processo de lavagem,

fez com que o consumo de água fosse 32,8% menor. A parcela do efluente que não é utilizada recebe tratamento e é lançada ou no rio Capibaribe ou na rede coletora pluvial com menor carga poluidora.

4.4 Processos de lavagem nos diferentes setores de lavanderias

Como já mencionado, segundo o Sindicato das Lavanderias do Estado de São Paulo (Sindilav), no ano de 2009 operavam no Brasil 6.200 lavanderias, divididas em duas categorias: domésticas e industriais; a categoria industrial é ainda subdividida em lavanderias industriais (para lavagem de roupas brancas, EPIs, panos industriais, provenientes de hotel, motel ou restaurantes), lavanderias de jeans e lavanderias hospitalares. Os insumos utilizados na lavagem, os próprios produtos que são submetidos a este processo e suas etapas geram efluentes com características distintas umas das outras.

O ramo de lavanderias domésticas é aquele que atende o público em geral e é realizado com máquinas de lavar roupas convencionais. As máquinas de lavar possuem capacidade variável (geralmente entre 6 e 11 kg) e consumo de água, também variável com o modelo e fabricante, foram encontrados valores entre 97 e 172 L/ciclo em alguns modelos pesquisados. Este consumo depende da sujidade das roupas, do nível de água selecionado e da sequência de etapas realizadas pela lavadora. Esta sequência é geralmente composta de: molho (curto ou longo), lavagem, enxágue e centrifugação.

O enxágue pode ser feito uma ou duas vezes de acordo com a preferência na programação das etapas. Foram analisados alguns manuais de máquinas de lavar e definiu-se que a sequência de etapas mais crítica para a análise e avaliação do processo é a que utiliza duplo enxágue, nível máximo de água e quando existe a adição de maior quantidade de produtos. O processo foi, portanto, definido e analisado de acordo com a Tabela 10.

Tabela 10. Processo de lavagem de roupas em domicílios.

Etapa	Produtos	Observações
Molho e lavagem	Sabão em pó e alvejante	Primeira entrada de água e primeira saída de efluente
Primeiro enxágue	-	Segunda entrada de água e segunda saída de efluente
Segundo enxágue	Amaciante	Terceira entrada de água e terceira saída de efluente
Centrifugação	-	Quarta saída de efluente

Fonte: Manuais de Fabricantes de Máquinas de Lavar Roupas

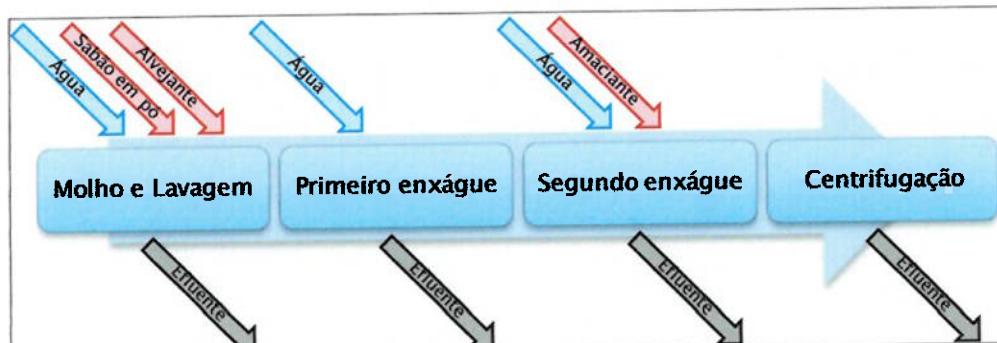


Figura 2. Fluxograma do Processo de Lavagem de Roupas em Domicílios.

O volume total de efluente gerado será a somatória das quatro saídas que pode ser estimado pelo volume de cada enchimento de água na máquina multiplicado por três (devido às três entradas de água). Desta forma também é possível estimar os volumes quando houver a separação dos efluentes de cada etapa. As características do efluente da centrifugação e do segundo enxágue devem ser semelhantes.

As lavanderias industriais possuem uma grande diversidade nos tipos de roupas, grau de sujidade e quantidades a serem lavadas. Diversos fabricantes e importadores oferecem equipamentos para essa atividade. São encontradas no mercado lavadoras com capacidade em uma faixa aproximada de 8 a 550 kg de roupas. De acordo com a sujidade, quantidade, periodicidade entre outras características são definidos os processos e produtos a serem utilizados, portanto é necessária uma avaliação específica para cada indústria. Seus efluentes podem conter muitas vezes, substâncias diferentes das encontradas, por exemplo, nos efluentes de lavagem de roupas doméstica, tais como óleos e graxas.

As lavanderias de hospitais que tratam das roupas destes estabelecimentos, podendo também receber roupas de outros centros de saúde ou clínicas odontológicas, se destacam pelo grande consumo de água nestas unidades, além da geração de efluentes possivelmente contaminados com microrganismos patogênicos. Para uma melhor orientação aos trabalhadores dessas unidades, o Ministério da Saúde criou em 1986 o "Manual de Lavanderia Hospitalar", que oferece normas técnicas para assessorar a implantação e a gestão deste serviço. Neste manual é estimado que o consumo de água da lavanderia hospitalar corresponde à metade do consumo total de água do hospital. A Tabela 11 apresenta alguns valores de geração de roupas para processamento de acordo com os tipos de hospital.

Tabela 11. Carga de roupa de acordo com o tipo de hospital.

TIPO DE HOSPITAL	CARGA DE ROUPA (kg/leito/dia)	Quantidade de Água (L/leito/dia)
Hospital de longa permanência, para pacientes crônicos	2	70 – 80
Hospital geral, estimando-se uma troca diária de lençóis	4	140 – 160
Hospital geral de maior rotatividade, com unidades de pronto-socorro, obstetrícia, pediatria e outras	6	210 – 240
Hospital especializado, de alto padrão	8	280 – 320
Hospital escola	8 a 15	280 – 600

Fonte: Adaptado de Manual de Lavanderia (1986) apud Processamento de roupas de serviços de saúde (2007).

A fórmula para o cálculo do peso de roupa a ser processado segundo o Manual de Lavanderia (1986) é:

$$\frac{\text{Nº de leitos} \times \text{Carga de roupa(kg/leito/dia)} \times 7 \text{ (dias)}}{\text{Jornada de Trabalho (dias/semana)}} = \text{kg/dia}$$

A última revisão deste manual, lançado em 2007 pela Anvisa (Agência Nacional de Vigilância Sanitária) com o título "Processamento de roupas de serviços de saúde: Prevenção e controle de riscos", apresenta as seguintes atividades de uma lavanderia hospitalar:

- Retirada da roupa suja da unidade geradora e o seu acondicionamento;
- Coleta e transporte da roupa suja até a unidade de processamento;
- Recebimento, pesagem, separação e classificação da roupa suja;
- Processo de lavagem da roupa suja;
- Centrifugação;
- Secagem, calandragem ou prensagem ou passadaria da roupa limpa;
- Separação, dobra e embalagem da roupa limpa;
- Armazenamento, transporte e distribuição da roupa limpa.

A Figura 3, extraída do Manual de Lavanderia Hospitalar (1986), apresenta esquematicamente as operações deste tipo de lavanderia.

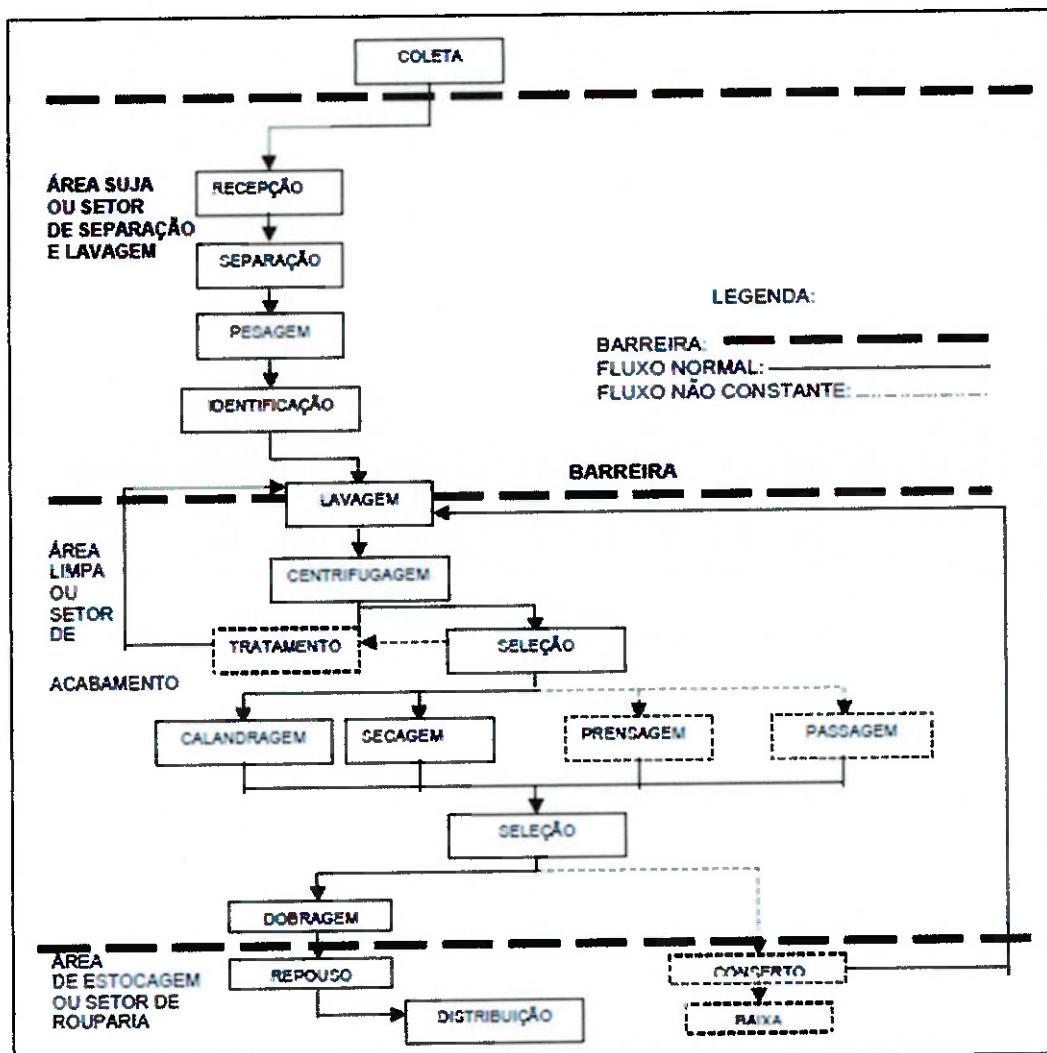


Figura 3. Fluxograma operacional de lavanderia hospitalar.

Fonte: Manual de Lavanderia Hospitalar (1986), p.22.

Disponível em: <<http://bvsms.saude.gov.br>> Acesso em: 22/11/2010

A principal atividade consumidora de água no processamento de roupas é o processo de lavagem (incluindo o enxágue) da roupa suja, sendo grande parte desta água descartada ao final deste processo, juntamente com outra parcela do processo de centrifugação, gerando assim, essas duas atividades, a parcela principal de efluentes.

Outras atividades podem ser realizadas tais como: preparo de pacotes de roupas para esterilização, confecção e reparo de peças. O processamento de roupas de serviços de saúde também pode ser um serviço terceirizado, evitando assim a necessidade dos hospitais construírem uma unidade específica para este fim.

De acordo com os manuais e resolução da Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA (RDC nº 50 de 21 de fevereiro de 2002), a área de processamento de roupas deve ter duas seções: a de roupas sujas e a de roupas limpas, possuindo comunicação somente por visores e interfone, evitando-se o transporte de microrganismos patogênicos. Desta forma, as máquinas de lavar devem possuir duas portas, uma para cada seção. Na seção de roupas sujas, a roupa deve ser

classificada de acordo com a sujidade (pesada ou leve), coloração (roupa branca e cores claras, roupa de cores firmes, roupa de cores desbotáveis), tipo de fibra têxtil e ainda tecido, formato, tamanho e/ou tipo de peça. Possíveis projetos de reutilização da água devem levar em consideração este arranjo de duas áreas, assim como toda a questão de se evitar a contaminação das roupas lavadas por qualquer veículo, principalmente pela água que será utilizada no processo.

Os processos de lavagem podem apresentar diferenças de acordo com o local onde a lavanderia está instalada e a disponibilidade de tecnologia, não existindo assim um modelo igualmente utilizado em todas as unidades, porém o ciclo de lavagem completa das roupas mais sujas consiste, basicamente, nas seguintes fases:

- Umectação – utilização de produtos que dilatam as fibras do tecido e facilitam a penetração da solução de remoção;
- Enxágues;
- Pré-lavagem – adição de produtos que emulsionam gorduras e removem sujidades proporcionando a redução no uso de produtos químicos na etapa de lavagem;
- Lavagem – remoção do restante das sujidades por processos físicos e químicos. Os fatores mais importantes para a eficiência deste processo são: ação mecânica, temperatura, tempo e nível de água (quantidade de produtos);
- Alvejamento – restabelece a tonalidade e reduz a contaminação microbiana. Principais produtos utilizados são: aqueles à base de cloro ou por meio de branqueador ótico, peróxido de hidrogênio, perborato de sódio, ácido peracético e ozônio;
- Enxágues – remoção por diluição da sujidade e dos produtos químicos;
- Acidulação (ou Neutralização) – redução do pH próximo a 5, pois o processo é realizado em meio alcalino, o que poderia causar irritação na pele;
- Amaciamento – realizado juntamente com a acidulação, consiste na adição, no último enxágue, de um produto contendo ácidos graxos que realinham e lubrificam as fibras do tecido, além de neutralizar cargas.

A unidade de processamento de roupas deve possuir ralos em todo seu ambiente e canaletas para a saída de água dos equipamentos de lavagem e centrifugação quando estes não tiverem acessório extrator. Os efluentes devem ser lançados na rede coletora de esgotos, quando houver ligação e quando não devem ser tratados antes do lançamento em corpos hídricos conforme a resolução CONAMA 357/2005.

Para facilitar a visualização do processo, a Figura 4 apresenta as etapas da lavagem de roupas em lavanderias de serviços de saúde, incluindo os produtos utilizados em cada fase.

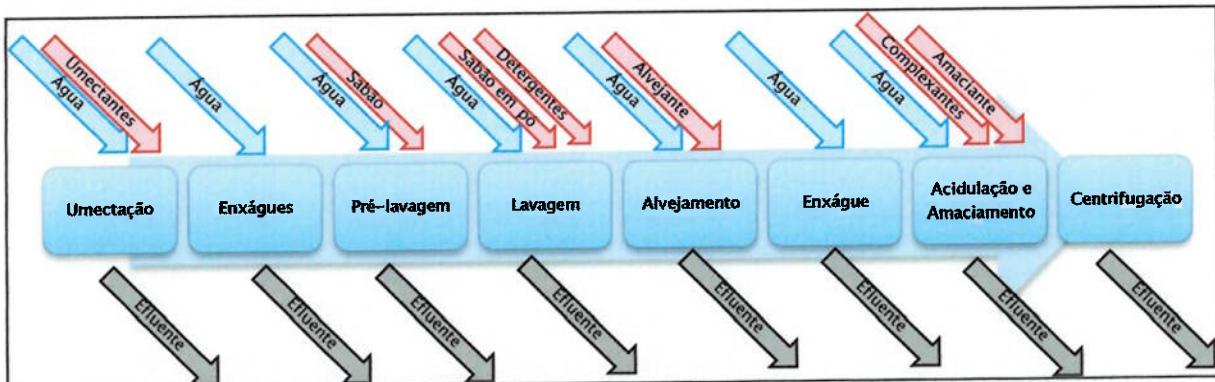


Figura 4. Fluxograma do Processo de Lavagem de Roupas em Lavanderias Hospitalares.

Fonte: Manual de Lavanderia Hospitalar (1986)

Os principais equipamentos utilizados na unidade de processamento de roupas são:

- Lavadoras – realizam um ciclo de lavagem com ação mecânica para remoção de sujidades. São destacados dois tipos de lavadoras no Manual de Processamento de Roupas de Serviços de Saúde.
 - Lavadora de Barreira: possui duas portas, uma para colocação das roupas para lavagem pela área suja e outra de retirada das roupas lavadas pela área limpa.
 - Lavadora Extratora: lavadora de barreira com a função de centrifugação incorporada.
- Túnel de Lavagem – conjunto de máquinas de lavar conectadas.
- Centrífuga (ou Extratora) – retira o excesso de água da roupa lavada.
- Secadora – secagem das roupas.
- Calandra – secar e passar roupas lisas.
- Coifa – remove vapores úmidos.
- Prensa/Ferro e mesa de passar.
- Carro de transporte/Hamper.
- Balança.
- Máquina de Costura.

4.5 Caracterização dos Efluentes de Lavanderias

As características físicas, químicas e bacteriológicas das águas residuárias da lavagem de roupas estão diretamente relacionadas com os produtos utilizados e as condições de sujidade das roupas. May (2009) indica que outros fatores influenciam estas características, como a qualidade da água de abastecimento, o material que compõe a rede de distribuição, o comportamento do usuário, estilos de vida e costumes que variam de região para região, faixa etária e classe social. O Manual de Lavanderia Hospitalar (1986) inclui ainda a qualidade da lavagem.

Os produtos utilizados no processamento de roupas, descritos a seguir, são regulamentados pela Lei Federal nº 6.360 de 23 de setembro de 1976, pela Portaria nº 15 de 23 de agosto de 1988 e pela Resolução RDC/ANVISA nº 184 de 22 de outubro de 2001.

- Sabão – é formulado à base de sais alcalinos de ácidos graxos;
- Detergente – de acordo com a RDC nº 14/07, é um produto destinado à limpeza pela diminuição da tensão superficial da água. Possui três componentes básicos: surfactantes ou tensoativos, um agente complexante e uma base para neutralizar os ácidos presentes.
- Agentes alvejantes – apresentam ação de branqueamento e antimicrobiana, podendo ser à base de cloro ou oxigênio. Os principais são: hipoclorito de sódio, peróxido de hidrogênio, perborato de sódio e o ácido peracético.
- Acidulantes/Neutralizantes – neutraliza a alcalinidade residual da água pela redução de resíduos que foram oxidados anteriormente.
- Amaciadores – neutralizam as cargas eletrostáticas pela ação dos quaternários de amônio.

Os detergentes também podem apresentar aditivos, sendo os mais importantes: aditivo alcalino (emulsionar e saponificar as sujeiras e, como função secundária, abrir e inchar as fibras do tecido), condicionador de água (sequestrar e dispersar íons metálicos), branqueadores óticos (absorvem radiações ultravioleta e emitem radiação na região visível), agentes antirredepositantes (aderem a fibras de tecido impedindo a redeposição da sujeira), enzimas (hidrolisam sujeiras para serem emulsionadas ou solubilizadas por outros componentes).

As características físicas do efluente estão associadas à presença de material sólido como terra, areia, cabelo e fibras de tecido (May, 2009). Os parâmetros indicadores destas partículas e coloides são a turbidez e sólidos suspensos.

Os valores para medidas de turbidez em águas provenientes da lavagem de roupas variam muito durante todo o processo, havendo uma grande disparidade destes valores para os efluentes da etapa da lavagem de roupa e dos enxágues. Além disto, outra questão que influencia na qualidade do efluente da lavagem de roupas com relação a estes parâmetros são os hábitos das pessoas das quais as roupas são lavadas, sendo maior a quantidade naquelas que apresentam mais

intensamente atividades ao ar livre. A presença de turbidez e de sólidos suspensos tem grande importância com relação à eficiência da etapa de desinfecção, pois estas podem servir como proteção aos microrganismos (May, 2009, p.78).

A Tabela 12 a seguir apresenta alguns valores de turbidez, sólidos totais (ST) e sólidos suspensos totais (SST) de efluentes de lavagem de roupas extraídos da bibliografia.

Tabela 12: Características Físicas de Águas Residuárias de Lavagem de Roupas.

Referência	Atividade	Local	Turbidez (uT)	ST (mg/L)	SST (mg/L)
Siegrist et al (1976) apud Eriksson et al (2000)	Lavagem de roupas	EUA	-	1340	280
Christova-Boal et al (1996)	Lavanderia	Austrália	50 – 210	-	-
Almeida et al (1999)	Máquina de Lavar	Inglaterra	-	-	165
Jamrah et al (2004)	Lavanderia	Al-Mwaleh Al-Hail Al-Khodh	439 494 400	4500 3150 450	665 120 160
Bazzarella (2005)	Máquina de Lavar Roupas	Brasil	58	1004	53
May (2009)	Lavagem 1º Enxágue 2º Enxágue	Brasil	40 15 5	1131 210 116	81 20 10

Fonte: Adaptado de Bazzarella (2005) apud May (2009); May (2009).

Os dados da tabela revelam que os efluentes provenientes da lavagem de roupas apresentam um alto teor de sólidos dissolvidos totais, representado pela diferença entre ST e SST. Além disso, May (2009) analisou separadamente o efluente de cada fase do processo, mostrando as alterações da qualidade deste.

Quanto às características químicas, o efluente de lavanderia se destaca pela alta presença de compostos fosforados, proveniente do uso de detergente no processo. Além destes, outras substâncias merecem destaque, como os compostos nitrogenados, pH, condutividade, Oxigênio Dissolvido (OD), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio.

A seguir, nas Tabela 13 a 16, estão apresentados alguns valores destes parâmetros químicos encontrados na bibliografia, divididos em compostos nitrogenados, compostos fosforados, parâmetros diversos (pH, condutividade, OD) e compostos orgânicos (DBO e DQO).

Tabela 13. Características Químicas de Águas Residuárias de Lavagem de Roupas – Compostos Nitrogenados.

Referência	Atividade	Local	N _{total} (mg/L)	NTK (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)
Siegrist et al (1976) apud Eriksson et al (2000)	Lavagem de roupas	EUA	21	-	0,7	0,6
	Enxágue de roupas		6	-	0,4	0,4
Butler et al (2005)	Máquina de Lavar Roupas	Inglaterra	-	-	10	1,93
		Malta	-	-	10,5	1,98
Christova-Boal et al (1996)	Lavanderia	Austrália	-	1,0 – 40	<0,1 - 1,9	-
Almeida et al (1999)	Máquina de Lavar	Inglaterra	-	-	2	2
Jamrah et al (2004)	Lavanderia	Al-Mwaleh	-	-	-	<2,5
		Al-Hail	-	-	-	49
		Al-Khodh	-	-	-	2,6
Bazzarella (2005)	Máquina de Lavar Roupas	Brasil	3,6	1,5	0,46	-

Fonte: Adaptado de Bazzarella (2005) apud May (2009).

Obs: N_{total} – Nitrogênio total / NTK – Nitrogênio Total Kjeldahl / NH₃-N – Nitrogênio Ammoniacal / NO₃-N – Nitrato

Tabela 14. Características Químicas de Águas Residuárias de Lavagem de Roupas – Parâmetros Diversos.

Referência	Atividade	Local	pH	OD	Conduktividade (µS/cm)	Dureza (mg/L)
Jamrah et al (2004)	Lavanderia	Al-Mwaleh	8,04	2,5	392	-
		Al-Hail	8,87	2,7	311	-
		Al-Khodh	8,08	3,5	1755	-
Bazzarella (2005)	Máquina de Lavar Roupas	Brasil	9,06	7,1	524	38,7
May (2009)	Lavagem		9,2	-	156	12,4
	1° Enxágue	Brasil	7,7	-	141	6,3
	2° Enxágue		7	-	97	3,7

Fonte: Adaptado de Bazzarella (2005) apud May (2009); May (2009).

O pH das águas de lavagem de roupas tende a ser básico, sendo que nos dados apresentados na Tabela 14 este variou entre 7 e 9,2.

Tabela 15. Características Químicas de Águas Residuárias de Lavagem de Roupas – Compostos Fosforados.

Referência	Atividade	Local	Fósforo total (mg/L)	Fosfato (mg/L)
Siegrist et al (1976) apud Eriksson et al (2000)	Lavagem de roupas	EUA	57	15
	Enxágue de roupas		21	4
Butler et al (2005)	Máquina de Lavar Roupas	Inglaterra	-	31
		Malta	-	32
Christova-Boal et al (1996)	Lavanderia	Austrália	0,062 – 42	-
Almeida et al (1999)	Máquina de Lavar	Inglaterra	-	21
Bazzarella (2005)	Máquina de Lavar Roupas	Brasil	14,4	-

Fonte: Adaptado de Bazzarella (2005) apud May (2009).

A quantidade de compostos fosforados presentes no efluente desta atividade é bastante relevante, devido ao uso de detergentes que contêm fosfato. Almeida (1999) apud May (2009) cita que as concentrações de fosfato em águas que contêm detergente podem variar de 23 a 80 mg/L.

Tabela 16. Características Químicas de Águas Residuárias de Lavagem de Roupas – Compostos Orgânicos.

Referência	Atividade	Local	DBO _{5,20} (mg/L)	DQO (mg/L)
Siegrist et al (1976) apud Eriksson et al (2000)	Lavagem de roupas	EUA	380	-
	Enxágue de roupas		150	-
Butler et al (2005)	Máquina de Lavar Roupas	Inglaterra	662	-
		Malta	682	-
Christova-Boal et al (1996)	Lavanderia	Austrália	48 – 290	-
Jamrah et al (2004)	Lavanderia	Al-Mwaleh	212	340
		Al-Hail	136	278
		Al-Khodh	76	91
Bazzarella (2005)	Máquina de Lavar Roupas	Brasil	184	521
May (2009)	Lavagem		222	651
	1º Enxágue	Brasil	48	120
	2º Enxágue		21	64

Fonte: Adaptado de Bazzarella (2005) apud May (2009); May (2009).

As concentrações de parâmetros como DBO_{5,20}, DQO e nutrientes (nitrogênio e fósforo) têm bastante influência na escolha do processo de tratamento a ser adotado.

Por fim, as características microbiológicas também são muito importantes na verificação da qualidade da água. A presença de microrganismos patogênicos como vírus, bactérias, protozoários e helmintos traz riscos de contaminação aos usuários expostos às águas residuárias indevidamente tratadas.

Os indicadores mais comuns de contaminação fecal são os coliformes termotolerantes (*E. Coli*) e coliformes totais. A presença destes microrganismos por si só não significa diretamente riscos à saúde, sendo apenas um indicativo da possibilidade de existência de patógenos.

A Tabela 17 apresenta alguns valores de coliformes encontrados em águas provenientes da lavagem de roupas em alguns estudos.

Tabela 17. Características Microbiológicas de Águas Residuárias de Lavagem de Roupas

Referência	Atividade	NMP / 100mL			
		Coliformes Termotolerantes		Coliformes totais	
		Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Eriksson et al (2002)	Lavagem de Roupas	$1,6 \times 10^4$	9×10^4	$5,6 \times 10^5$	$8,9 \times 10^5$
May (2009)	Lavagem	$1,6 \times 10^3$	$1,6 \times 10^4$	$1,6 \times 10^3$	$1,6 \times 10^4$
	1º Enxágue	2	30	400	$1,6 \times 10^4$
	2º Enxágue	2	3	110	800
Bazzarella (2005)	Lavagem de Roupas	$2,73 \times 10^1$ (valor médio)		5,37 (valor médio)	

Fonte: Adaptado May (2009).

A presença destes microrganismos patogênicos nas águas cinzas da atividade em questão provém da lavagem de roupas com contaminação fecal. Pode-se verificar a grande variação dos valores de coliformes termotolerantes e totais dos estudos, além da diferença dos valores verificada do efluente de cada etapa da lavagem de roupas do estudo de May (2009).

Devido às diferenças nos valores encontrados dos parâmetros analisados para as amostras de cada etapa do processo de lavagem, verificado nas tabelas anteriores, é importante cogitar a possibilidade de segregação destes tipos de efluentes para a avaliação de diferentes tratamentos ou reúso adequados a cada um.

4.6 Tratamento de Águas Cinzas de Lavanderias para Reúso

Atualmente, numerosos estudos têm buscado diferentes tecnologias para o tratamento de águas cinzas, que variam em complexidade e desempenho estando diretamente relacionado ao uso pretendido para estas águas, que determinará a qualidade requerida, e também da qualidade do efluente. Jeppesen (1996) apud Misra e Sivongxay (2008) afirma que, por razões de riscos à saúde humana, a água cinza de lavanderia sem tratamento não pode ser armazenada.

As tecnologias para o tratamento de águas cinzas incluem sistemas de tratamento físico, químico e biológico, destacando que, isoladamente, os processos físicos não garantem uma redução adequada de matéria orgânica, nutrientes e surfactantes (Li, Wichmann e Otterpohl, 2009). Nesta mesma linha, Ciabatti et al (2009) afirmam que o sistema coagulação-flocação-flotação são insuficientes para o tratamento de efluentes de lavanderias industriais para que atendam às exigências da legislação sobre descarte de águas residuárias em vigor na União Européia.

A norma NBR 13.969/97 da ABNT, juntamente com as classificações citadas na Tabela 8, indica o tratamento necessário para se atingir os respectivos padrões de qualidade.

- **Classe 1:** serão necessários geralmente tratamentos aeróbios (filtro aeróbio, submerso ou LAB – Lodos Ativados por Batelada) seguidos por filtração convencional (areia e carvão ativado) ou membrana filtrante e, por fim, cloração.
- **Classe 2:** para este nível é satisfatório um tratamento biológico aeróbio (filtro aeróbio submerso ou LAB) seguido por filtração de areia ou membranas filtrantes e desinfecção.
- **Classe 3:** em casos gerais, um tratamento aeróbio seguido de filtração e desinfecção atende a este critério. No entanto, vale destacar que as águas de enxágue das máquinas de lavar roupas normalmente se enquadram nesta classe, sendo necessária, dependendo do caso, uma cloração.
- **Classe 4:** para esta classe a norma não destaca nenhum tratamento, ressaltando somente a restrição de interromper a aplicação de águas de reúso desta classe na agricultura pelo menos 10 dias antes da colheita.

A remoção da cor e da turbidez da água, características comuns de efluentes de lavanderias, pode ser feita por uma filtração em areia, seguida de processo de coagulação, floculação, sedimentação e filtração (Di Bernardo, 1993).

O tratamento de efluentes de lavanderias para o reúso não envolve um método universal, englobando desde os processos mais simples e já consagrados até os que envolvem diversas tecnologias.

De acordo com a tecnologia empregada para o tratamento, foram pesquisados os seguintes sistemas de tratamento:

4.6.1 Fossa séptica

Corresponde a uma forma de tratamento biológico. É o mais simples quanto à operação e provavelmente o mais barato para implantação e manutenção. Sua construção é regulamentada pelas Normas da ABNT – NBR 7229 “Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos” de setembro de 1993 e NBR 13.969 “Tanques sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação” de setembro de 1997.

Tanque séptico é definido na primeira norma citada acima, como uma unidade de fluxo horizontal para tratamento de esgotos através de processos de sedimentação, flotação e digestão, é um sistema indicado em locais onde não há rede pública coletora de esgotos, como alternativa de tratamento de esgotos em áreas providas de rede coletora ou para retenção prévia dos sólidos sedimentáveis quando a rede coletora possui menores diâmetros ou pouca declividade.

A maior dificuldade que pode ser encontrada utilizando-se este tipo de tratamento para o efluente em questão seria a diferença de características em relação ao efluente para o qual ele foi projetado que é o esgoto doméstico. Isso poderia

influenciar no resultado final ou na eficiência do tanque, porém não inviabilizaria sua construção para a finalidade desejada.

4.6.2 Reator biológico de contato

O tratamento biológico se apresenta como uma alternativa no tratamento de águas cinzas. May (2009) cita em seu trabalho o uso de um sistema chamado Reator Biológico de Contato (RBC) para a degradação da matéria orgânica de águas cinzas. Este sistema consiste de um conjunto de rotores compostos por discos de plástico rígido de pequena espessura que trabalham parcialmente submersos e giram com baixa rotação (entre 1,0 e 1,6 rpm).

O funcionamento deste sistema se dá através da aglomeração de bactérias aeróbias na superfície dos discos (meio suporte). As colônias de bactérias formam espessas camadas, chamadas de biofilme, que são responsáveis pela biodigestão dos poluentes pela oxidação do carbono orgânico contido na água.

Devido ao contínuo crescimento destas colônias e o consequente aumento da espessura do biofilme, as bactérias situadas na parte interna deste deixam de ter contato direto com o oxigênio quando o disco gira, culminando na sua morte e o despreendimento do biofilme da superfície dos discos. O lodo remanescente é sedimentado posteriormente em um decantador, e a água tratada extravasa pela parte superior.

O uso deste sistema biológico de tratamento apresentou diversas vantagens, como:

- Não liberação de odores desagradáveis;
- Baixo consumo de energia;
- Dimensões compactas, se comparado a sistemas de tratamento convencionais.

A desinfecção, como pontua May (2009), também é importante, pois ela torna inativos os possíveis microrganismos patogênicos presentes no efluente. No entanto, a autora ressalta o cuidado na dosagem da cloração, pois tanto o excesso quanto a falta do mesmo pode resultar em odor desagradável e desperdício de produto. Quanto à eficiência desta etapa, Libânia (2005) apud May (2009) afirma que, além da turbidez, parâmetro mais importante nesta questão, outras características da água causam interferência nesta como a presença de matéria orgânica e compostos inorgânicos, temperatura e pH.

4.6.3 Membranas filtrantes, osmose reversa e biorreatores de membranas

As membranas filtrantes ou processos de separação correspondem também a uma tecnologia eficiente para o tratamento de água, esgotos e efluentes industriais, sendo possível sua utilização para tratamento de efluentes de lavanderias para posterior reúso. Estes processos podem ser classificados, basicamente, de acordo com a capacidade de separação dos compostos presentes no efluente (dependendo da faixa de diâmetro dos poros da membrana) e da força motriz aplicada para a passagem do líquido a ser tratado. Desta maneira, são classificados os seguintes processos: microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração, osmose reversa e eletrodiálise (Mierzwa, 2002). Mais recentemente surgiu também a tecnologia dos biorreatores de membranas (MBR), que combinam a separação por membranas e o processo de degradação biológica aeróbica ou anaeróbica (Viana, 2004). Hoinkis e Panten (2007) criaram duas plantas piloto em pequena escala (uma para tratar 10m³/dia e a outra para menores vazões, de até 1m³/dia) e uma em grande escala (200 m³/dia) para avaliação do tratamento e reciclagem de efluente de lavanderia na Alemanha, utilizando biorreatores de membranas (MBR) e osmose reversa (OR). Neste estudo, foi obtido um efluente tratado com qualidade satisfatória para ser reutilizado em processos de lavagem, de acordo com os parâmetros da legislação alemã adotados no estudo. Este processo, que também contempla a utilização da água de chuva, está esquematizado na Figura 5.

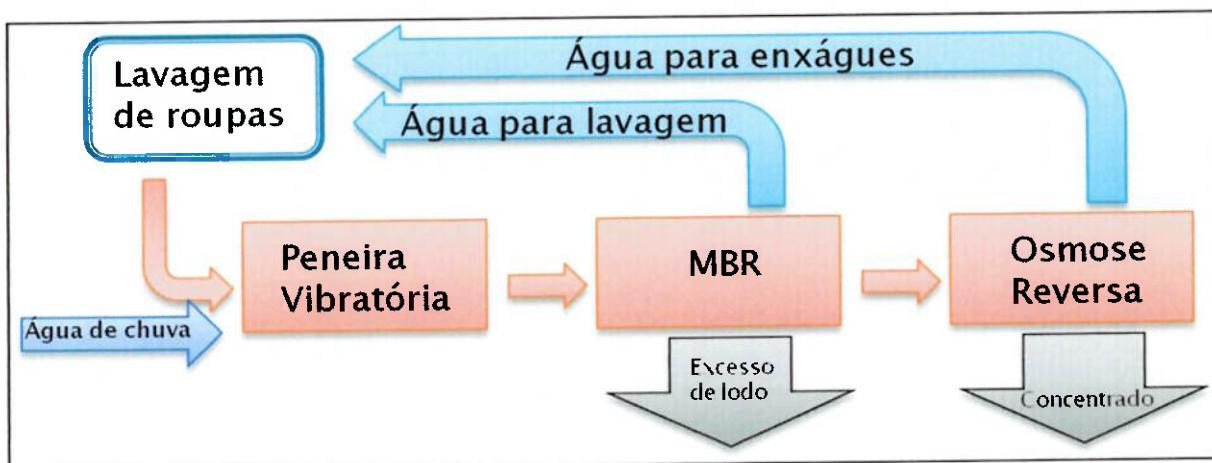


Figura 5. Sistema de Tratamento de Efluente de Lavanderia para Reúso composto por MBR e Osmose Reversa.

Fonte: Hoinkis e Panten (2007).

A osmose reversa poderia ser substituída por uma membrana de ultrafiltração, que separa íons bivalentes e remove parcialmente sólidos dissolvidos totais e a dureza (íons de cálcio e magnésio), que é um problema para o reúso de efluentes de lavanderias.

4.6.4 Arranjos de tratamento e outros estudos

Outros arranjos de tratamento para águas cinzas com a finalidade de reúso não potável foram levantados, como por exemplo, uma filtração grosseira para reter partículas em suspensão seguida de biorreator de membrana (MBR) ou outro estudo que contemplava filtração por membrana combinada com processos de oxidação para posterior reuso em atividades como: combate à incêndios, rega de plantas, descargas em sanitários e lavagem de carros (Kim, 2008).

Outro processo de oxidação que tem por função o controle dos níveis de poluentes orgânicos na água e que tem se mostrado com um dos mais promissores é a ozonização. Ciabatti et al (2009) desenvolveu um estudo para demonstração de um sistema de tratamento visando o descarte do efluente de uma lavanderia industrial ou o reúso deste efluente tratado em processos de lavagem. A lavanderia industrial que participou deste estudo está localizada na cidade de Turin na Itália e lava diariamente 22 toneladas de têxteis, sendo utilizado um total de 400 m³/dia de água no processo. O sistema de tratamento estudado era composto de (i) um pré-tratamento físico-químico (coagulação, floculação e flotação por ar dissolvido); (ii) filtração por areia; (iii) ozonização; (iv) Filtração por Carbono Ativado Granular e (v) ultrafiltração por membranas. Este esquema está apresentado na Figura 6.

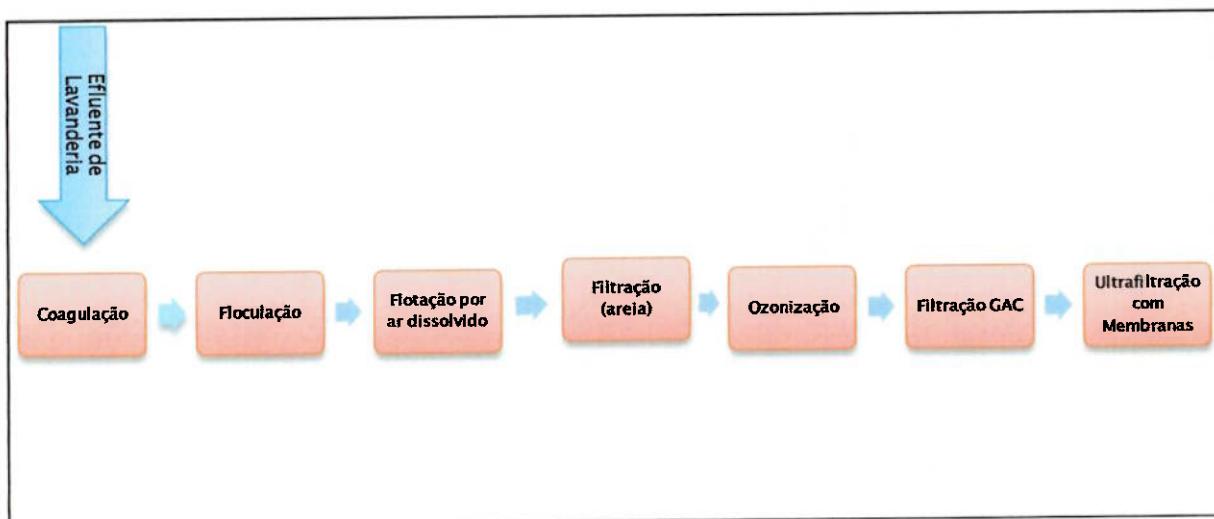


Figura 6. Sistema de Tratamento para descarte ou Reúso de Efluente de Lavanderia Industrial.
Fonte: Ciabatti et al (2009)

Os resultados obtidos indicam que a água proveniente da Filtração por Carbono Ativado Granular (GAC) atinge os Limites Legais estabelecidos pela Legislação Italiana para descarte de efluentes em corpo hídrico. Já o pós-tratamento com ultrafiltração por membranas permitiu o reúso do efluente tratado em alguns processos de lavagem. O autor destaca, no entanto, a necessidade de considerar a frequente lavagem química da membrana quando considerar esta etapa do tratamento.

A Tabela 18 abaixo mostra alguns parâmetros obtidos para os efluentes do processo de lavagem, da filtração por carvão ativado granular e da ultrafiltração por membrana, e os correspondentes valores dos limites para descarte em corpos

hídricos, de acordo com a Legislação Italiana, e os valores de reúso estabelecidos pela lavanderia em estudo.

Tabela 18. Valores dos parâmetros obtidos no estudo de Ciabatti et al (2009).

Parâmetros	Efluente	Saída do Filtro CAG	Saída da Ultrafiltração	Limites para descarte	Valores para Reúso
pH	-	7,2	7,4	7,3	5,5 - 9,5
DQO	mg/L O ₂	602	140	81	< 160
SST	mg/L	166	4	2,5	< 80
Turbidez	uT	110	1,1	0,8	-
Conduvidade	µS/cm	1342	1275	1127	-
Nitrogênio Amoniacal	mg/L NH ₄ ⁺	1,80	0,13	-	< 15
Fósforo Total	mg/L P	1,90	0,45	-	< 10
Surfactantes	mg/L	8,78	1,60	1,00	< 2

Fonte: Ciabatti et al (2009)

No Polo de Confecções de Pernambuco, o sistema de tratamento adotado conta primeiramente com a filtração para remoção de materiais grosseiros, como fibras de tecido. Em seguida, o efluente passa por coagulação/flocação, utilizando uma associação de coagulantes inorgânicos (saís de alumínio ou de ferro) com um floculante orgânico biodegradável (tanino), que auxilia na remoção da cor da água proveniente da lavagem, adsorvendo metais dissolvidos na água, aglutinando-os por precipitação (Costa, 2008; Sebrae/PE, 2006).

Este processo pode ser observado esquematicamente no fluxograma da Figura 7.

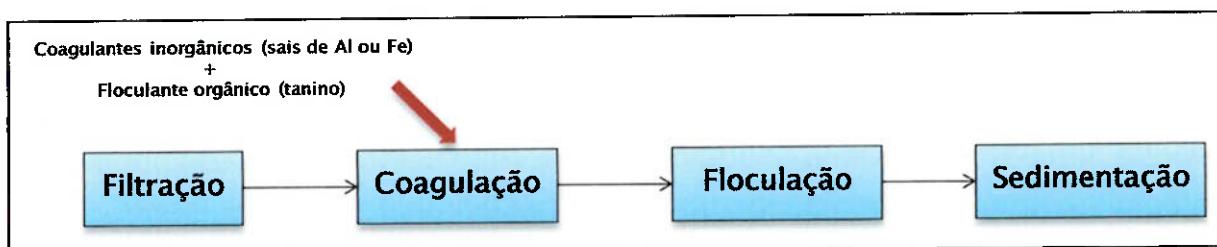


Figura 7. Processo de Tratamento de Efluente de Lavanderia de Jeans (Toritama).
Fonte: Costa (2008); Sebrae (2006)

Segundo o diretor da Lavanderia Mamute, a água proveniente do sistema de tratamento implementado excede as necessidades de qualidade para reúso no próprio processo de lavagem. Atualmente são reutilizados 50% do efluente e, em alguns momentos, este reúso chegou a cerca de 70%.

Ahmad e El-Dessouky (2008) estudaram a implantação de um sistema adicional de baixo custo para reúso de água em uma lavanderia que recebia uniformes de uma refinaria de petróleo e de um hospital na qual foram utilizados os processos de

sedimentação seguida de filtração com areia e cascalho. Assim, com a qualidade que obtiveram, conseguiram reutilizar o efluente do enxágue para a primeira lavagem.

O sistema de tratamento proposto está esquematicamente apresentado na Figura 8.

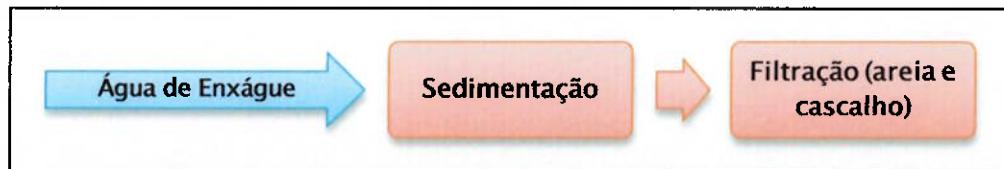


Figura 8. Sistema de Tratamento de Baixo Custo para Reúso de Efluente de Lavanderia de Uniformes.

Fonte: Ahmad e El-Dessouky (2008)

A Tabela 19 a seguir apresenta os valores das análises laboratoriais do efluente da lavagem, da água filtrada e da água de abastecimento feitas por Ahmad e El-Dessouky.

Tabela 19. Características de efluente tratado com filtro de areia e cascalho.

Parâmetros	Efluente	Água Filtrada	Água de Abastecimento
pH	8,02	7,71	7,50
Temperatura (°C)	30	28	30
SST (mg/L)	380	40	3,5
SDT (mg/L)	540	380	250
DBO (mg/L)	42	40	3
DQO (mg/L)	310	310	55
Turbidez (uT)	10,27	2,40	0

Fonte: Ahmad e El-Dessouky (2008)

Pode-se observar que, assim como citado no estudo de Li, Wichmann e Otterpohl (2009), não houve significativa redução da DBO e DQO. No entanto, devido à baixa carga orgânica apresentada pela água de enxágue, este fato não impede a recirculação da água filtrada no processo, utilizando-a na lavagem seguinte.

4.6.5 Áreas Alagadas Artificiais (ou Construídas)

Ainda pouco difundido no Brasil o pré-tratamento de água, o tratamento de efluentes, ou pós-tratamento de esgotos tratados em reatores utilizando-se áreas alagadas (ou “wetlands”) é uma alternativa promissora. As “wetlands” são divididas em naturais ou construídas (áreas alagadas artificiais) e podem ser usadas com a finalidade paisagística e de remoção de nutrientes. As naturais são representadas por banhados, comuns em várzeas de rios, manguezais, lagoas rasas, que têm como principal característica o solo saturado e crescimento de plantas e organismos (Souza et al, 2004). As “wetlands” construídas são “sistemas artificiais de tratamento de esgoto que consistem em lagoas rasas ou canais que contêm plantas

aquáticas que irão, através de processos naturais microbianos, biológicos, físicos e químicos, tratar o esgoto" (USEPA, 2000). Este tipo de tratamento se resume, então, em uma área determinada com camadas de solos saturados drenantes, impermeabilização inferior e plantas submersas ou não que irão, através de suas raízes, caules ou folhas, capturar, armazenar, transformar ou estabilizar contaminantes da água ou efluente em contato. As plantas podem servir também como produtoras de enzimas no meio externo ou como suporte para outros organismos, tais como alguns fungos em raízes, que efetuarão esta atividade de remoção de contaminantes.

Muitos estudos estão sendo feitos em relação ao uso de "wetlands" construídas para tratamento de esgotos domésticos e águas cinzas, utilizando ou não o efluente tratado para posterior reúso em outras atividades, como irrigação de jardins e lavagem de calçadas, por exemplo. Gross et al (2006) estudaram um sistema de "wetland" construída em um tanque com orifícios em sua base apoiado em outro tanque, sendo este segundo usado como reservatório, configurando um sistema vertical. O tratamento da água cinza se dava com sedimentação prévia, fluxo através do tanque superior, captação no segundo tanque e recirculação. Após esse processo é realizada filtração para a posterior utilização na irrigação de jardins em pequenas comunidades. O sistema está esquematizado na Figura 9.

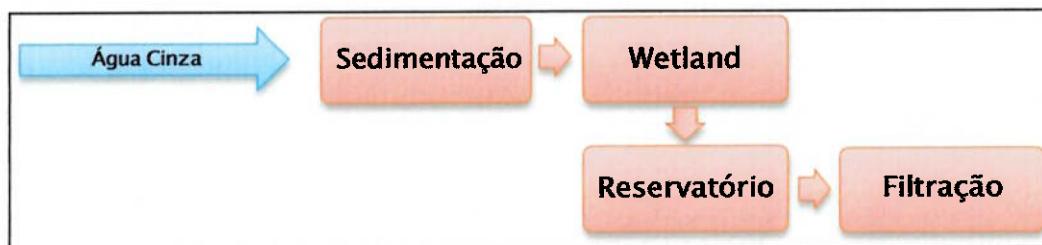


Figura 9. Sistema de wetland vertical.

Fonte: Gross et al (2006)

No Brasil, Souza et al (2004) realizaram uma avaliação do desempenho na remoção de nutrientes (nitrogênio e fósforo), patógenos e matéria carbonácea remanescente, por "wetlands" vegetadas e não vegetadas construídas para pós-tratamento de efluente tratado em Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente (UASB). A remoção de nutrientes teve grande eficiência (60% na remoção de nitrogênio e 80% de remoção do fósforo) no primeiro ano de experimento e um decaimento nos anos seguintes, provavelmente devido à saturação dos nutrientes. Para tratamento de efluentes de lavanderia, que contém significativa quantidade de fósforo esse método é passível de análise, porém é necessário um tratamento prévio para remoção de uma parcela de matéria orgânica, que poderia não ser suportada pelas plantas, além de que o principal problema na alimentação das "wetlands" é o entupimento das tubulações.

5 DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO DE CASO

5.1 Descrição do local e da atividade em estudo

O local escolhido para o desenvolvimento do estudo de caso foi uma lavanderia de pequeno porte da instituição denominada “Lar Criança Feliz”, um abrigo de crianças e adolescentes localizado no município de Cotia, São Paulo. O abrigo tem o título de entidade filantrópica e é declarada como Utilidade Pública Municipal e Federal.

Neste abrigo moram permanentemente cerca de 30 crianças e adolescentes e 10 funcionários, dentre educadoras sociais, assistentes e diretores. O abrigo é composto por seis casas, das quais quatro abrigam as crianças, adolescentes e educadoras sociais, e as outras duas compõe a sede, onde moram os assistentes e diretores e funciona o escritório.

A atividade de lavagem de roupas do local envolve tanto as roupas pessoais como também toalhas e roupas de cama, com exceção de peças íntimas (que são lavadas em máquinas comuns nas próprias casas, atividade que não foi contemplada neste trabalho) ocorrendo com uma frequência de três vezes por semana durante o período do presente estudo.

Uma foto aérea do local pode ser vista na Figura 10, onde se observam as casas, a localização da lavanderia (seta vermelha), e um traçado esquemático da tubulação do efluente da lavanderia (linha vermelha) até seu descarte no riacho que passa pelo fundo do terreno (linha azul).



Figura 10. Vista aérea do local de estudo (GoogleEarth, 2011)

O espaço físico da lavanderia e os processos de lavagem foram analisados para sua melhor descrição e exposição. A lavanderia é composta pelos seguintes equipamentos:

- Duas máquinas de lavar domésticas, com capacidade de 11kg e 10kg de roupa por ciclo; a descrição das máquinas estão abaixo:
 - Uma máquina com capacidade de 11 kg. Seu consumo é de 130L por ciclo. Esta máquina permite a possibilidade de programar a duração do ciclo de lavagem de acordo com a situação das roupas, variando de 20 minutos para somente enxágue, 50 minutos para sujeiras comuns, e 2 horas para roupas muito sujas. Geralmente esta máquina é utilizada duas vezes por dia, no programa de lavagem simples (somente um enxágue).
 - A outra máquina tem capacidade para lavar até 10 kg de roupa seca por ciclo, tendo um consumo de água total de 170L. Geralmente esta máquina é utilizada na função de lavagem que utiliza dois enxágues, com uma frequência de uma a duas vezes por dia de atividade.
- Uma máquina de lavar industrial de operação manual, com capacidade de 20kg de roupa e gasto de aproximadamente 375L de água por ciclo; esta máquina lava a maior quantidade de roupas e também as toalhas e lençóis de maiores tamanhos. Muitas vezes, utiliza-se nesta máquina água aquecida para a lavagem de roupas brancas, por exemplo. Esta máquina não realiza a centrifugação. Geralmente ela é utilizada duas vezes por dia, com o ciclo completo (lavagem e dois enxágues).

Uma lavadora semi-automática com capacidade para 12,4kg de roupa. Esta lavadora faz somente a lavagem, sendo que o enxágue é feito em dois tanques comuns. O ciclo de cada lavagem desta máquina consome por volta de 76,1L, sendo preenchida com água somente uma vez e a roupa é colocada e retirada para enxágue em intervalos de tempo diferentes, dependendo de sua sujidade, sem ocorrer troca de água, o que acaba concentrando bastante o efluente desta máquina. São utilizados dois tanques para o enxágue das roupas lavadas nesta máquina.

- Os tanques representam o que seriam o 1º e o 2º enxágues para a máquina semiautomática, cada um sendo preenchido, em média, duas vezes por dia. Este processo está demonstrado na Figura 11. As dimensões dos tanques são 43,5 x 54,5cm cada, e altura de água de aproximadamente 22 cm, resultando em um volume de água utilizado, por tanque, de 52L (por enchimento).

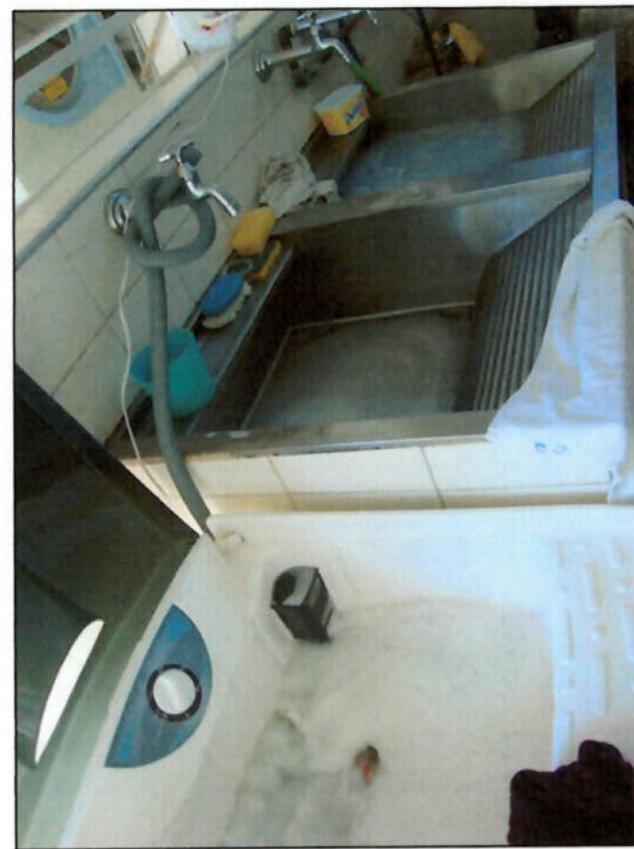


Figura 11: Vista do processo de lavagem nos tanques

- 1 centrífuga para as roupas lavadas na máquina industrial e nos tanques.
- 1 secadora.

A Figura 12 mostra fotografia da lavanderia tirada em dia de coleta.

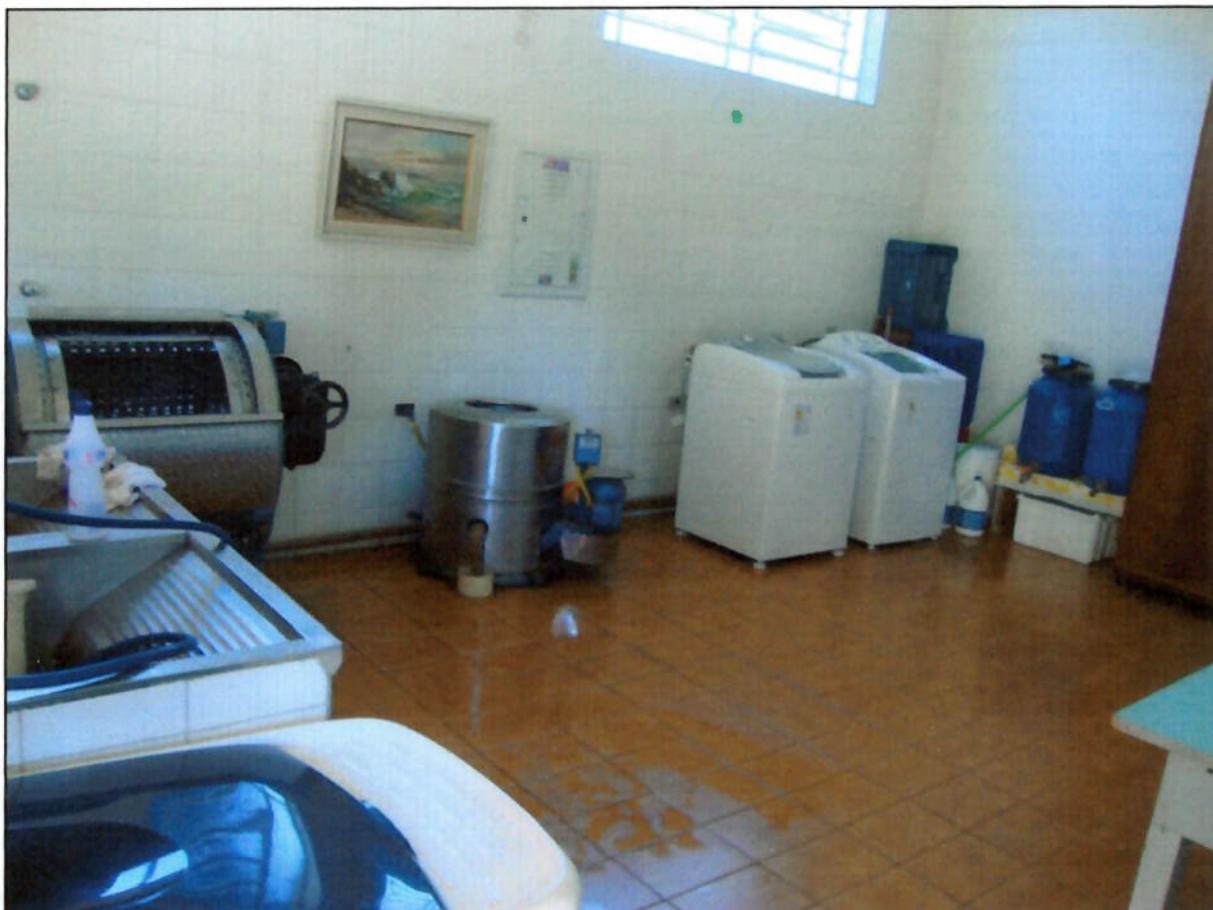


Figura 12. Vista geral da lavanderia de estudo.

Todo o processo de lavagem de roupas é executado por uma funcionária, responsável pela colocação dos produtos necessários, programação do ciclo das máquinas de lavar domésticas, operação da máquina industrial, utilização dos tanques e centrifuga.

O regime de utilização das máquinas varia bastante conforme a quantidade de roupas e sua sujidade. Durante o estudo, geralmente apenas uma das máquinas de lavar do tipo residencial fazia um segundo enxágue das roupas, a outra funcionava muitas vezes com um ciclo menor, apenas fazendo as etapas de lavagem e um enxágue.

A partir destes dados, foi estimado o volume total de água consumido na lavanderia em um dia comum de lavagem, considerando a maior frequência de uso para cada um dos aparelhos, o que implica no cenário de maior consumo. Este processo pode ser verificado na Tabela 20.

Tabela 20. Estimativa do consumo de água na lavanderia em estudo.

Equipamento	Frequência de uso (vezes/dia de atividade)	Consumo de água por ciclo (Litros)	Consumo de água (Litros/dia)
Máquina doméstica (11kg)	2 vezes	130	260
Máquina doméstica (10kg)	1 ou 2 vezes	170	340
Máquina Industrial	2 vezes	375	750
Máquina Semiautomática	1 vez	76,1	76,1
Tanque (1º enxágue)	2 vezes	52	104
Tanque (2º enxágue)	2 vezes	52	104
Total:			1634,1

Os produtos e suas quantidades utilizados na lavanderia central foram obtidos a partir de notas fiscais de compras e informações fornecidas pela direção do abrigo, sendo eles:

- Sabão em pó: 18,5 kg/mês.
- Água Sanitária: 55 L/mês.
- Desinfetante: 37,5 L/mês.
- Amaciante: 40 L/mês.

5.1.1 Descarte atual do efluente da lavanderia central

Como pode ser observado esquematicamente na Figura 10, o efluente da lavagem das roupas é conduzido por uma tubulação própria (isolada de outros possíveis efluentes como esgoto, por exemplo) até o fundo do terreno. Neste local, o efluente é descartado diretamente no solo às margens do riacho. O resíduo então escoa pelo terreno até atingir o corpo hídrico, alguns metros adiante.

As Figuras Figura 13 e Figura 14 são fotos do local onde o efluente é descartado. A Figura 13 mostra a tubulação de descarte do efluente da lavanderia, e a Figura 14 apresenta o local de encontro do efluente com o corpo hídrico receptor.



Figura 13. Foto da tubulação no local do descarte do efluente da lavanderia.

Na foto acima, pode-se notar a grande erosão causada pelo lançamento do efluente no solo. Segundo a diretoria do lar, o nível do terreno era bastante próximo à tubulação que conduz os efluentes da lavanderia, no entanto, após anos de lançamento nesta área, a situação chegou ao que se pode observar.



Figura 14. Foto do lançamento ao chegar no corpo d'água receptor.

É possível que existam outros pontos de chegada deste efluente também, dado que o lançamento não é direto com tubulação até o corpo d'água e não foi possível observar toda a margem do córrego devido à vegetação e declividade do local.

5.2 Coleta e análise das amostras

Durante esta etapa do estudo, foram feitas seis coletas entre os dias 10 de fevereiro de 2011 e 14 de abril de 2011, para caracterização tanto do efluente da lavanderia quanto do riacho a montante e a jusante do descarte. Com relação ao efluente, foram feitas coletas do processo de lavagem, do primeiro e do segundo enxágues separadamente, a fim de possibilitar uma maior possibilidade de alternativas para o reúso. Com isso, cada bateria de análises totalizou 5 amostras.

As amostras eram compostas, ou seja, foi retirada uma parcela de cada máquina para a mesma etapa do processo (Lavagem, 1º enxágue, 2º enxágue) para se compor a amostra final desta etapa. As amostras foram preservadas durante o transporte até o laboratório através da acomodação em bolsa térmica com gelo em seu interior, e as análises foram realizadas preferencialmente no mesmo dia de coleta e no dia seguinte.

As análises foram realizadas no Laboratório de Saneamento Profº Lucas Nogueira Garcez do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Escola

Politécnica da Universidade de São Paulo, seguindo os procedimentos descritos pelo "Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater".

Os parâmetros analisados e os procedimentos utilizados estão explicados simplificadamente abaixo:

- DBO_{5,20}: incubação à 20°C por 5 dias de três diluições diferentes de cada amostra, medindo-se com um oxímetro a quantidade de oxigênio dissolvido antes e depois da incubação;
- DQO: digestão das amostras em meio ácido na presença de dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$), seguida por titulação com Sulfato Ferroso Amoniacal (Ag_2SO_4). Para as amostras do riacho, devido às suas características, foi necessária a diluição de reagentes como o dicromato de potássio 0,025N e o Sulfato Ferroso Amoniacal 0,025N para titulação;
- COT: filtração das amostras em filtro (com poros de 1,2 µm) e medição em aparelho da Shimadzu Corporation – TOC V_{CPH} (Total organic carbon Analyzer);
- Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK): digestão de uma alíquota de amostra na presença do Reagente de Digestão, seguida de destilação e titulação com Ácido Sulfúrico 0,02N até um pH padrão;
- Fósforo Total: digestão das amostras (10 ml) em meio ácido no bloco digestor em uma temperatura de aproximadamente 200 °C até evaporação da mistura a um volume próximo a 1 ml. Adição do indicador fenolftaleína, aumento do pH com hidróxido de sódio até mistura ficar com a cor rosa (básica), diluição deste volume em água destilada e filtração em papel filtro (com poros de 1,2 µm), passando para um balão de 50 ml e completando este com água destilada (diluição de 5X). Neutralização com ácido sulfúrico, e adição do Reagente Combinado. Leitura no espectrofotômetro após 10 minutos e cálculo da concentração de fósforo através da curva de calibração e multiplicação pelo fator de diluição;
- Ortofosfato: Filtração das amostras em filtro (com poros de 0,45 µm de diâmetro), adição de indicador fenolftaleína em 50 ml de cada amostra filtrada, neutralização com ácido sulfúrico e adição do Reagente Combinado. Leitura no espectrofotômetro após 10 minutos e cálculo da concentração de ortofosfato através da curva de calibração;
- Coliformes Termotolerantes e Totais: Coleta em frascos específicos (autoclavados) e utilização do kit de amostragem "Colilert" (reagente para amostras de 100 ml e cartelas seladas na seladora). Leitura após 24h do número de poços que reagiram em luz visível para Coliformes Totais e em luz ultravioleta para leitura de poços para contagem de Coliformes termotolerantes (*Escherichia Coli*), entrada com estes valores em uma tabela de conversão;

- Cor: Leitura direta no aparelho calibrado da marca Hach, modelo DR/2010 (Portable Datalogging Spectrophotometer, na função e comprimento de onda para leitura de cor);
- Turbidez: Leitura direta em Turbidímetro calibrado da marca Hach, modelo 2100N;
- Condutividade: Leitura direta no Condutivímetro calibrado da marca Orion (Model 150) e sensor também da Orion (conductivity cell 012210);
- pH: medição com a utilização de um pHmetro calibrado da marca Thermo, modelo Orion 720 A+.

5.3 Resultados das análises

Os resultados das análises para caracterização das amostras dos efluentes da lavanderia apresentaram valores compatíveis com as faixas encontradas na literatura. No entanto, foi observado que em algumas análises o efluente do 2º enxague apresentou qualidade inferior ao do 1º enxague.

Este fato, que contraria os dados apresentados na revisão bibliográfica e até mesmo o senso lógico, pode ser explicado por uma peculiaridade que diz respeito à lavanderia em estudo e devido ao fato de que as amostras eram compostas. O 2º enxague realizado em um dos tanques, por não haver frequentes trocas de água, e possuir uma grande quantidade de amaciante, concentrava muita sujeira e produto químico, sendo perceptível de forma visual uma diferença de qualidade para parâmetros como cor e turbidez em relação ao efluente da mesma etapa das máquinas domésticas, por exemplo. Se fossem coletadas amostras separadamente para as lavadoras domésticas e para o processo de enxágue nos tanques, provavelmente as características dos efluentes seriam bastante diferentes, mesmo que referentes a uma mesma etapa. Isso possibilitaria um maior detalhamento dos efluentes de cada máquina, permitindo uma melhor análise da situação deste estudo de caso. Consequentemente, aumentariam as possibilidades de segregação de efluentes e reutilização destes. Porém, o número de análises a serem realizadas aumentaria significativamente e dificultaria a avaliação de alternativas para a solução.

A Figura 15 mostra os frascos com as amostras coletadas e submetidas para análises.

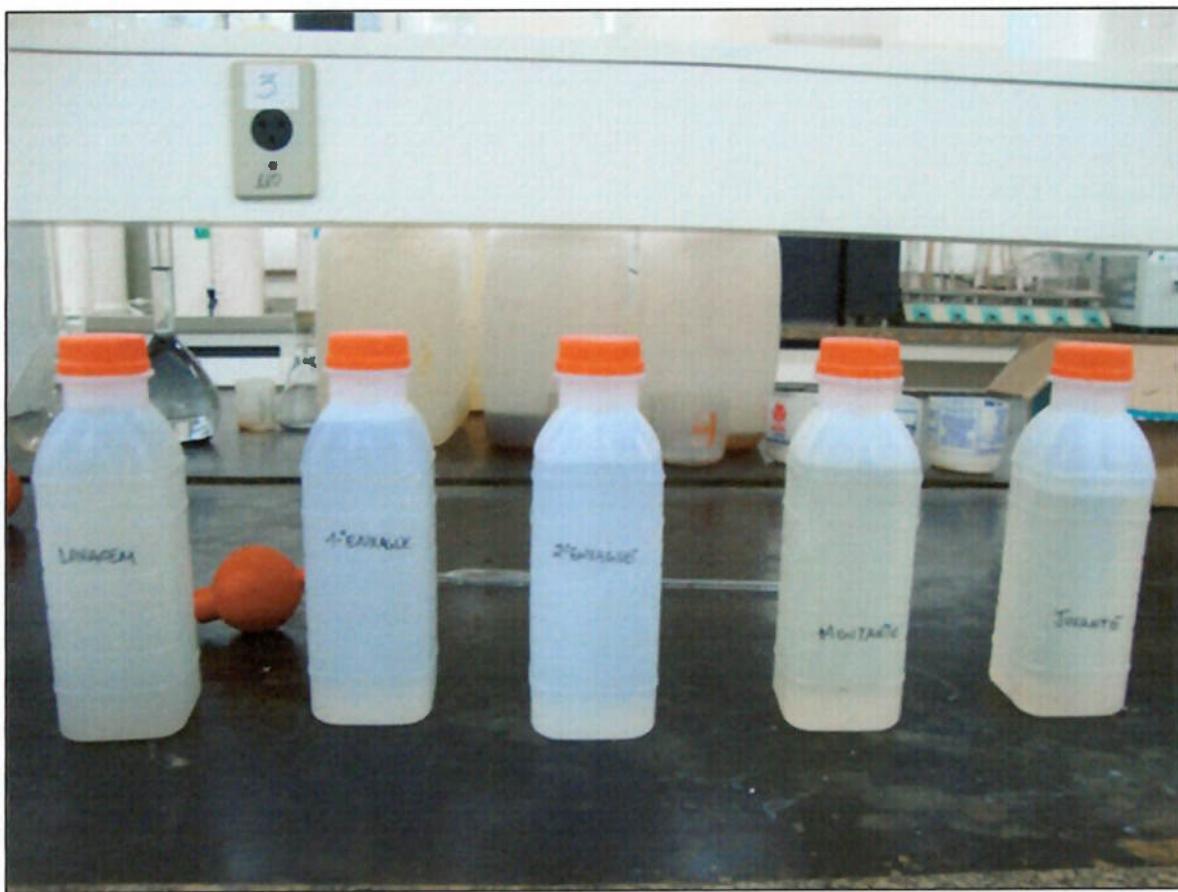


Figura 15. Amostras para análises dos efluentes da lavanderia e do corpo d'água receptor.

Os resultados obtidos nas análises de caracterização dos efluentes da lavagem de roupas e do corpo d'água receptor a montante e jusante do lançamento estão apresentados nas Tabela 21 a Tabela 26, subdivididos em características físicas, químicas e biológicas. Os valores apresentados nestas tabelas representam a média dos valores obtidos durante o período. Os valores obtidos para cada coleta, gráficos de resultados e o número de amostras analisadas para cada parâmetro constam no anexo deste relatório, no item 8.1. Como o número de amostras não foi significativo (variando de 2 até 6 análises), o desvio-padrão não foi apresentado no anexo e sim, os valores máximos e mínimos.

A Tabela 21 apresenta as características físicas das amostras coletadas.

Tabela 21. Características físicas das amostras coletadas.

Parâmetros	Cor	Turbidez
	uC	uT
Lavagem	1198	149,10
1º Enxágue	316	28,21
2º Enxágue	376	55,68
Montante	239	14,84*
Jusante	210	13,69*

(*) Valores obtidos são menores do que o método utilizado consegue determinar (<25 uT).

As medidas de cor e turbidez para as amostras das águas residuárias da lavanderia apresentam valores dentro das faixas esperadas, em comparação com os valores levantados na literatura. As análises destes parâmetros já mostraram maiores valores para o efluente do segundo enxágue para as amostras compostas em relação ao primeiro enxágue, fenômeno que foi citado e explicado anteriormente.

Os valores de turbidez para as amostras do corpo hídrico apresentaram valores mais baixos, que eram esperados. Os valores ligeiramente maiores para as amostras de montante em relação ao ponto de jusante podem ser devido ao possível lançamento de outros efluentes desconhecidos no córrego em outros pontos e, havendo diluição no trecho compreendido entre a coleta de montante e jusante.

A Tabela 22 a seguir apresenta as características químicas das amostras, além de uma estimativa dos Sólidos Dissolvidos Totais (SDT).

Tabela 22. Características Químicas das Amostras Coletadas – pH e Condutividade; Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)

Parâmetros	pH	Condutividade	SDT*
		µS/cm	mg/L
Lavagem	9,85	1986	1191,6
1º Enxágue	7,99	612	366,9
2º Enxague	7,20	232	138,9
Montante	6,47	57	34,4
Jusante	6,29	143	85,6

* A estimativa de Sólidos Dissolvidos Totais (Característica Física) foi calculada indiretamente a partir dos valores de Condutividade Elétrica e não por análises de laboratório.

Os valores de pH para os efluentes têm uma relação com os produtos utilizados em cada etapa do processo de lavagem de roupas. Para a lavagem, etapa na qual o sabão em pó é colocado, o meio fica alcalino devido a componentes presentes no sabão para uma eficiência maior de remoção da sujidade. No primeiro e segundo enxágues, quando o sabão vai sendo removido das roupas, o pH vai diminuindo novamente. Além disso, o amaciante adicionado, geralmente no segundo enxágue, contém um acidificante, que influencia no pH da solução final, ficando mais próximo da neutralidade. Os valores de pH para o córrego, ligeiramente ácidos, podem ser devido à reação da água com o dióxido de carbono da atmosfera resultando em ácido carbônico e íons H⁺, característica comum de águas naturais.

A condutividade resultou em valores um pouco acima das médias encontradas na literatura, principalmente se comparado com os resultados por May (2009), no qual também foram tomadas amostras de cada etapa. No entanto, também foram encontrados valores mais altos em outros estudos como, por exemplo, de 1755 µS/cm para o efluente final de lavanderia em Al-Khodh no estudo de Jamrah et al (2004). Ao se estimar o valor de condutividade para o efluente final de todas as etapas do processo da lavanderia em estudo, o valor médio para a condutividade seria de 943 µS/cm.

Através da condutividade elétrica, é possível estimar a quantidade de Sólidos Totais Dissolvidos presentes nas amostras. Metcalf e Eddy (2003) citam que existe uma relação entre estes parâmetros. De acordo com este e outros autores, existe uma constante de proporcionalidade entre estes dois parâmetros, SDT(mg/L)/Condutividade($\mu\text{S}/\text{cm}$), que varia tipicamente entre 0,55 e 0,7 (Metcalf e Eddy, 2003). Também foram encontradas faixas variando tipicamente de 0,45 a 0,85. Esta correlação, entretanto, depende das características das amostras. De acordo com análises de Sampaio et al (2007), para efluentes de indústria têxtil a relação Condutividade (mmho/cm) e concentração de Sólidos Dissolvidos obteve um bom coeficiente de correlação linear, com um fator de 0,53. Em alguns aparelhos de medição é adotado um fator de relação padrão igual a 0,65 que pode variar também de 0,3 a 1,0 (por exemplo, o sensor YSI-300 para medidores de condutividade elétrica). O manual de instruções de operação de outro aparelho de medição de condutividade (ABB Instrumentation - modelos 4620 e 4625) cita que a faixa de relação entre estes parâmetros varia de 0,4 a 0,8, fornecendo uma média de 0,6 que é adequado para águas naturais e alguns tipos de efluente. Os valores apresentados na Tabela 22 são resultantes da utilização de um fator de relação igual a 0,6 que foi considerado apropriado de acordo com as pesquisas realizadas.

O conhecimento deste parâmetro é importante para o direcionamento da escolha de um possível tratamento biológico, pois somente um método físico simples, como sedimentação e/ou filtração em areia, provavelmente não removeria estes compostos solúveis.

A Tabela 23 apresenta os resultados de compostos orgânicos das análises realizadas.

Tabela 23. Características Químicas das Amostras Coletadas – Compostos Orgânicos

Parâmetros	COT	DBO_{5,20}	DQO
	mgC/L	mg O₂ /L	mg O₂ /L
Lavagem	42,87	564	2247
1º Enxágue	21,69	57	254
2º Enxague	15,79	66	266
Montante	4,42	-	32
Jusante	5,86	-	23

As análises de compostos orgânicos representados pela DBO_{5,20} dos efluentes da lavanderia apresentaram valores bastante variáveis, o que já era esperado para este tipo de efluente. Devido a isto, houve dificuldades em se estabelecer as diluições corretas durante as análises que forneceriam resultados satisfatórios. Alguns resultados não puderam ser utilizados devido ao não atendimento aos requisitos do método, ou seja, depleção de oxigênio antes e depois da incubação na faixa de 20% a 70% e Oxigênio Dissolvido Final maior que 2,0 mg/L. Apesar destas ocorrências foi possível estabelecer, com os dados consideráveis, uma média de valores coerentes, sendo que os efluentes de 1º e 2º enxágues tiveram valores parecidos e a DBO_{5,20} do efluente de lavagem foi o que apresentou maior média, sendo esta

próxima à concentração do efluente composto encontrada por Butler et al (2005). Já os valores de DQO para a amostra do efluente de lavagem apresentaram valores bem acima daqueles encontrados na bibliografia consultada. A proximidade dos valores dos enxágues e alta concentração para a água de lavagem se repetem para este parâmetro.

Os valores de DBO e DQO para o corpo receptor foram bastante baixos, sendo que, no caso da DBO_{5,20}, não foi possível determinar uma média para os dados destas amostras devido ao problema da diluição e depleção de oxigênio citados anteriormente. Neste caso, a utilização de semeadura, procedimento não realizado neste trabalho, possivelmente solucionaria este problema.

O Carbono Orgânico Total foi também uma análise utilizada para indicação da matéria orgânica presente no efluente. Como não foram levantados dados na literatura para este parâmetro não foi possível se fazer uma correlação, porém os resultados foram coerentes com valores baixos para as amostras do córrego e decrescentes para lavagem e enxágues.

A seguir, na Tabela 24, estão apresentados os valores dos compostos nitrogenados e fosforados das amostras.

Tabela 24. Características Químicas das Amostras Coletadas – Compostos Nitrogenados e Fosforados

Parâmetros	Nitrogênio Total Kjeldahl	Fósforo	
	mg N-NTK/L	Ortofosfato	Total
Lavagem	20,2	0,54	1,37
1º Enxágue	7,2	0,10	0,25
2º Enxague	4,7	0,07	0,21
Montante	3,6	0,05	0,20
Jusante	3,7	0,04	0,21

As análises de Nitrogênio Total Kjeldahl não apresentaram grandes problemas nos procedimentos laboratoriais e nos resultados, fornecendo valores compatíveis com o previsto. A literatura consultada apresenta uma faixa de 1,0 a 40 mg N-NTK/L para amostras compostas de lavanderia, sendo que a amostra em estudo apresentou uma média de 4,7 mg N-NTK/L (2º enxágue) a 20,2 mg/L (lavagem). Durante o período de análises também foi realizado um experimento de Nitrogênio Ammoniacal, porém as concentrações obtidas não foram relevantes para as amostras dos processos de lavagem, sendo que nas amostras do corpo receptor o valor foi mais significativo, o que pode indicar a presença de esgoto proveniente de lançamentos a montante.

As análises da presença de fósforo total e ortofosfato resultaram em valores muito baixos para estes parâmetros, possivelmente devido ao fato de que a curva de calibração foi realizada com soluções preparadas de baixas concentrações (0 a 1 mg/L). Os dados de Christova-Boal et al (1996), citados na revisão bibliográfica, forneceram uma faixa bastante grande para fósforo total (de 0,062 a 42 mg/L),

apresentando o menor valor dentre os estudos pesquisados. Este valor mínimo de Christova-Boal (1996) de 0,062 mg/L para fósforo total, é o mais próximo aos resultados obtidos nas análises deste parâmetro para o efluente em estudo, se comparado aos demais trabalhos avaliados, que variaram entre 14,4 e 57 mg/L para fósforo total e entre 4 e 32 mg/L para ortofosfato.

Esta dificuldade em se avaliar a quantidade de compostos fosforados pode interferir na escolha posterior de um tratamento já que os baixos valores obtidos estão em desacordo com os produtos adicionados ao processo. Principalmente na água de lavagem, na qual é utilizado o sabão em pó que, no Brasil, ainda possui em sua composição uma porcentagem de tripolifosfato de sódio (STTP), esperava-se que este parâmetro apresentasse concentrações mais significativas. É possível se utilizar valores típicos de concentração destes parâmetros e não os valores obtidos quando, e se, forem solicitados no decorrer do trabalho. O valor médio de acordo com a literatura consultada pode ser de 20 mg/L para fósforo total.

Para as análises de coliformes totais e termotolerantes, foram enfrentadas algumas dificuldades associadas às recorrentes alterações da composição das amostras ao longo do estudo. Além desta variabilidade de valores para coliformes, que é prevista para este tipo de efluente, existe a possibilidade de que a água sanitária, utilizada nas lavagens de roupas brancas, por exemplo, e em diferentes proporções em cada máquina lavadora, tenha interferido nas análises deste parâmetro. Em algumas análises foram obtidos resultados inesperados e controversos, como por exemplo, quantidade de coliformes totais para água de lavagem praticamente nula e valores altos para os enxágues, diferente do que foi observado na literatura.

Na última coleta de amostras, para se identificar possíveis erros de procedimento e evitar interferência deste produto nos resultados, foi feita a análise para uma mesma amostra com diluição de 10 e 100 vezes e também para a amostra sem diluição, além disso, tomou-se cuidado para não incluir efluentes de processos que continham água sanitária nos frascos de coleta para este parâmetro.

A Erro! Fonte de referência não encontrada.e a Tabela 26 apresentam um resumo dos valores encontrados nas quatro análises para Coliformes Totais e Termotolerantes (*Escherichia Coli*). Vale ressaltar que para o efluente de 2º enxágue foram realizadas somente três análises, pois em um dos dias de coleta este efluente não foi coletado. É possível observar que várias amostras, mesmo diluídas, excederam o limite superior de detecção do método e estão representadas somente com a ordem de grandeza certamente atingida, outras resultaram em valores baixos ou iguais a zero, que foram identificadas como “presença não detectada” (N.D.). Demais valores mais precisos foram decorrentes de diluições. O item 8.1 do anexo apresenta os resultados completos para análises deste parâmetro.

Tabela 25. Características Microbiológicas das Amostras Coletadas – Coliformes Totais

Parâmetros	Coliformes Totais		
	UFC/100 ml	Valores baixos ou não detectados	Valores acima do limite de detecção
Lavagem	1 amostra (<10)	2 amostras ($>10^3$)	1 amostra ($6,6 \times 10^2$)
1º Enxágue	1 amostra (N.D.)	3 amostras ($>10^3$)	-
2º Enxague	1 amostra (N.D.)	1 amostra ($>10^3$)	1 amostra ($2,3 \times 10^2$)
Montante	-	4 amostras ($>10^3$)	-
Jusante	-	3 amostras ($>10^3$)	1 amostra ($1,4 \times 10^5$)

N.D. – presença não detectada.

Tabela 26. Características Microbiológicas das Amostras Coletadas – E. Coli

Parâmetros	E. Coli		
	UFC/100 ml	Valores baixos ou não detectados	Valores acima do limite de detecção
Lavagem	2 amostras (16 e <10)	-	1 amostra ($>10^3$)
1º Enxágue	3 amostras (N.D., 11 e 40)	-	1 amostra ($4,3 \times 10^2$)
2º Enxague	2 amostras (4 e <100)	-	1 amostra ($6,6 \times 10^2$)
Montante	-	2 amostras ($>10^3$)	2 amostras ($7,9 \times 10^2$ e $2,2 \times 10^4$)
Jusante	-	3 amostras ($>10^3$)	1 amostra (3×10^4)

N.D. – presença não detectada.

Observando os resultados, vale destacar os altos valores encontrados para as amostras do corpo hídrico. Pelo fato de se tratar de uma região carente de rede coletora de esgotos, é possível que os loteamentos a montante do empreendimento deste estudo, ao contrário deste, não possuam fossa séptica, lançando provavelmente seus esgotos diretamente ou próximo ao corpo d'água.

Quanto às amostras dos efluentes, como foi possível verificar nos estudo da bibliografia, os valores destes parâmetros apresentam uma grande variação, sendo que os resultados obtidos estão de acordo com a faixa apresentada. No entanto, devido ao baixo número de resultados significativos obtidos, não foi possível, somente com as análises realizadas para este trabalho, afirmar com certeza as características do efluente da lavanderia em estudo para estes parâmetros (coliformes), sendo necessário um maior período de análises.

Estes resultados podem ser utilizados para a avaliação das possibilidades de reúso, podendo ocorrer até mesmo diretamente, e sugerir a implantação de sistemas de tratamento compatíveis com as características da lavanderia em estudo e da destinação final dos efluentes.

5.4 Possibilidades de Otimização do Uso de Água e Reúso do Efluente da Lavanderia

A partir dos dados obtidos com as análises das amostras e conhecimentos dos processos de lavagem para as diferentes máquinas na lavanderia foram propostas algumas alternativas para o reúso, levando-se em conta a possibilidade de segregação dos efluentes das diversas etapas da lavagem ou reúso de todo o efluente, e possíveis tratamentos e adaptações necessários para cada tipo.

5.4.1 Reúso com segregação de efluentes

Neste item são contempladas alternativas de reúso em que se aproveita a qualidade superior dos efluentes provenientes dos enxágues das máquinas de lavar. Uma das opções seria o reúso direto dos efluentes do 2º enxágue das máquinas domésticas, sem prévio tratamento. A outra seria o reúso dos enxágues das lavadoras domésticas e industrial para descarga em vasos sanitários.

5.4.1.1 Reúso sem tratamento no próprio processo de lavagem

Uma alternativa para se otimizar o uso de água na lavanderia seria o reúso direto do efluente do 2º enxágue das duas lavadoras domésticas, devido à provável qualidade superior se comparada com a qualidade dos 2º enxágues dos demais equipamentos (que possivelmente influenciaram nos resultados obtidos neste trabalho). Este fato pode ser comprovado baseando-se nos valores obtidos na literatura para os trabalhos que utilizaram lavadoras semelhantes às deste estudo. Uma sugestão seria reutilizar este efluente para a etapa de lavagem na lavadora industrial, porém é necessário levar em conta possíveis problemas devido a sólidos dissolvidos totais e dureza deste efluente na qualidade da lavagem.

Através de modificações no circuito elétrico da máquina de lavar e instalação de uma solenóide, é possível implementar um mecanismo automatizado que alternasse o despejo dos efluentes das etapas do ciclo de lavagem, com a finalidade de que o descarte do 2º enxágue fosse lançado por uma tubulação diferente das outras etapas. Desta forma, seria possível redirecionar o efluente do 2º enxágue diretamente para outra máquina ou para um reservatório, conservando-o por um curto período de tempo para se evitar maus odores e outros problemas associados, para sua posterior reutilização.

Para isso, seria necessário consultar um técnico especializado neste tipo de equipamento a fim de que seja avaliado como se poderia proceder para que o

círculo elétrico envie um sinal elétrico para a solenóide ao fim da etapa de 2º enxague, desviando o conduto do efluente.

Primeiramente será necessário estimar o volume de efluente do 2º enxágue a ser gerado em um dia, sendo necessárias algumas considerações. Como foi citado, somente uma das lavadoras domésticas utiliza, em todos os dias de atividade, o 2º enxágue em seu ciclo, sendo que a outra máquina realiza o 2º enxágue somente em algumas lavagens, nas quais são necessárias. No entanto, será considerada a hipótese de que as duas máquinas realizem este processo completo (ciclo com dois enxágues) para o projeto. Além disso, considerou-se que o gasto de água de um ciclo está distribuído igualmente pelas três etapas do processo de lavagem.

Portanto, uma estimativa do gasto de água nesta etapa da lavagem, considerando as capacidades dos equipamentos em questão demonstrados na Tabela 20, é:

- Gasto de água por ciclo: $170\text{L} + 130\text{L} = 300\text{L}$
- Gasto de água no 2º enxágue: $300 \div 3 = 100\text{L}$

Outro fator importante a se considerar seria a frequência de uso destas máquinas, que durante o período de estudo foi geralmente duas vezes em um dia. Isto acarretaria em um volume duas vezes maior. No entanto, seria necessário que o operador das máquinas utilizasse duas vezes a lavadora doméstica para somente em seguida iniciar a operação da máquina industrial, o que comprometeria o andamento da atividade. Por este motivo, considerando ainda que a máquina industrial também é utilizada duas vezes por dia, sugere-se que o efluente do primeiro ciclo da lavagem nas máquinas domésticas seja utilizado no primeiro ciclo de lavagem da máquina industrial, da mesma forma ocorrendo com o segundo ciclo destas.

De acordo com a Tabela 20, temos que o consumo de água da lavadora industrial é de 375 L/ciclo, o que significa que para a etapa de lavagem este consumo é de 125 L/ciclo. Portanto, os 100 L provenientes dos enxágues das lavadoras domésticas deveriam ser complementadas ainda com 25 L de água limpa, o que melhoraria ainda mais a qualidade do afluente.

A Figura 16 mostra um esquema simplificado desta alternativa de reúso.

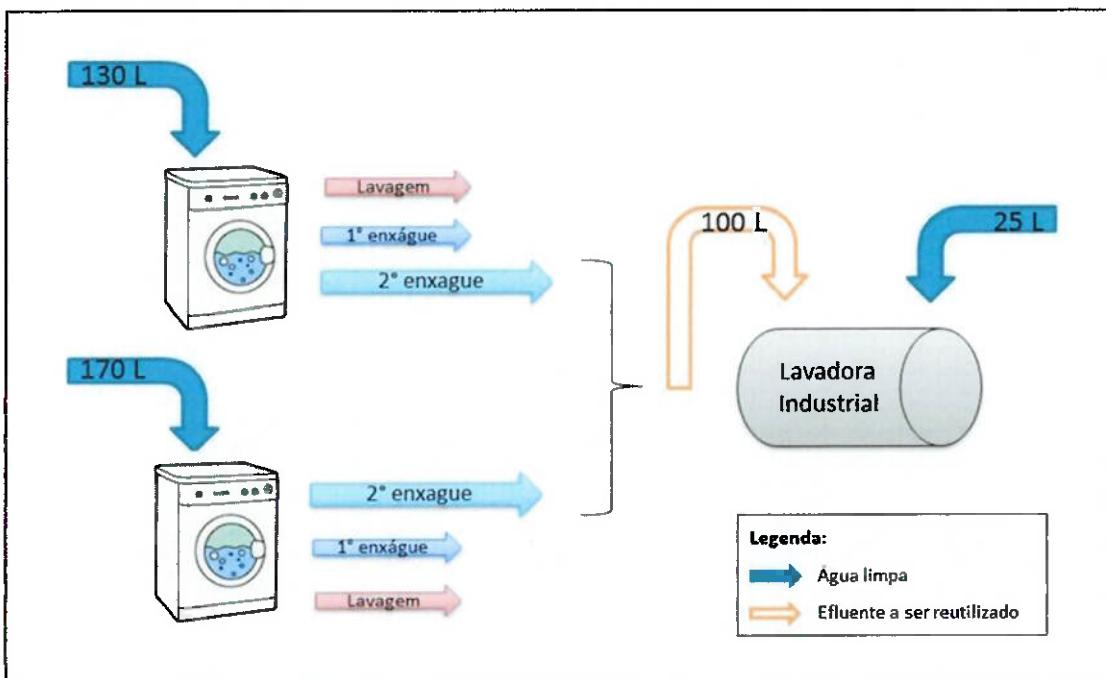


Figura 16. Esquema simplificado do sistema de reúso direto a ser implantado na lavanderia em estudo.

Uma das opções para este sistema de reúso seria a instalação das lavadoras domésticas ao lado da lavadora industrial, fazendo com que o efluente gerado seja lançado diretamente neste equipamento.

Para a análise da possibilidade de se proceder desta maneira, foi preciso verificar qual é a faixa de altura em que a mangueira da saída da bomba de descarte deve ser instalada para seu correto funcionamento. No manual do fabricante da máquina doméstica, sugere-se que este conduto seja instalado a uma altura na faixa que varia entre 0,90 m e 1,10 m. Com a medição em campo, foi verificado que a altura da entrada da máquina de lavar industrial é 0,95 m, o que torna viável esta alternativa.

Outra possibilidade seria utilizar um reservatório para armazenar o conteúdo do 2º enxágue antes de reutilizá-lo. Esta opção proporcionaria uma maior comodidade para o operador das máquinas, pois não seria necessário que logo após a geração do efluente a ser reutilizado o processo de lavagem da máquina industrial seja iniciado. Desta forma, somente quando fosse necessário o operador liberaria o efluente.

Para isto, contando com a estimativa de 100L de efluente gerado por ciclo, foram feitas algumas pesquisas a fim de verificar a disponibilidade no mercado de reservatórios compatíveis com a demanda deste estudo.

Segundo informações obtidas com um dos fabricantes pesquisados, foi encontrada a tabela apresentada na Figura 17, com as capacidades e dimensões dos reservatórios.

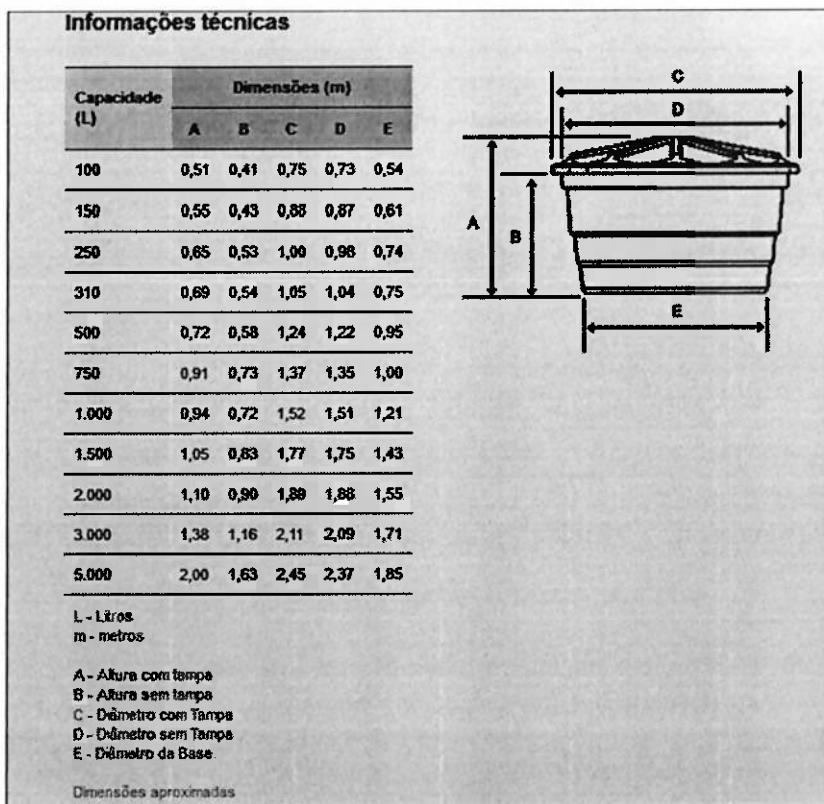


Figura 17. Dimensões de caixa d'água a ser utilizada no sistema de reúso na lavanderia.
Fonte: <http://www.fortlev.ind.br/produtos/caixa-dagua.html>

Pode-se verificar a disponibilidade de caixas d'água que atendem a demanda da alternativa em estudo, que são 100 L. Além disso, outra avaliação importante é com relação ao espaço físico disponível no local e as adaptações necessárias para o funcionamento do sistema como instalação de novas tubulações e uma pequena bomba para recalcar o efluente à lavadora industrial, visto que não seria possível o uso da gravidade, devido às alturas do reservatório de 100L, de recalque da bomba de descarte da máquina e da entrada da máquina industrial.

As vantagens associadas a essa modalidade de reúso são que não existiriam exigências de mudanças estruturais significativas no local, sendo necessária somente a instalação de algumas tubulações para conduzir o efluente a ser reutilizado, um reservatório e uma pequena bomba para recalque. Além disso, não haveria concentração de poluentes, visto que o efluente do 2º enxague seria reutilizado somente uma vez e, em seguida, após a lavagem na máquina industrial, descartado.

5.4.1.2 Reúso com tratamento para descarga de vasos sanitários

A outra possibilidade de reúso, contemplado na norma NBR 13.969/97, seria a segregação dos enxágues (1º e 2º) das lavadoras domésticas e industrial para descarga em vasos sanitários.

Esta norma sugere na classificação das águas de reúso que a classe 3, que atenderia aos critérios para uso nas descargas dos vasos sanitários, geralmente é atendida pelas características dos enxágues do ciclo das lavadoras de roupas, sendo necessário apenas uma cloração prévia.

Para isto, assim como na opção de reúso na lavanderia, seria necessária verificar a possibilidade de segregação automatizada do efluente dos enxágues através da modificação do circuito elétrico das lavadoras domésticas e uso de solenoides. Já com relação à lavadora industrial, por ser operada manualmente, poderia se implantar um sistema com alavancas sendo que, antes de liberar o descarte dos efluentes dos enxagues, o operador deveria modificar a tubulação que conduzirá o descarte.

Após isto, este efluente seria armazenado em um reservatório e, com o uso de um dosador, seria aplicada uma cloração.

Um problema que poderia ocorrer com o uso desta alternativa seria a geração de odores devido ao armazenamento do efluente, pois apesar da cloração, haveria uma carga orgânica neste despejo e sua degradação poderia ser um entrave para o sucesso deste sistema.

Além disso, haveria a necessidade de adaptações na tubulação que conduz água para a descarga dos vasos sanitários, a fim de que estes recebam o efluente a ser reutilizado.

5.4.2 Reúso sem segregação com pré-tratamento

Além da possibilidade de segregar os efluentes das etapas de lavagem de roupas, aproveitando as diferentes qualidades destes, para reúso, é possível também reaproveitar todo o efluente gerado. Algumas alternativas relacionadas ao local de estudo serão discutidos a seguir.

5.4.2.1 Descarga de vasos sanitários

A norma NBR 13.969/97, como já citado no item 5.4.1.2, indica a possibilidade de reúso de enxágues de máquinas de lavar roupas para descarga em vasos sanitários, como pode ser visto na Tabela 8. Esta possibilidade já foi explorada no item acima citado.

No entanto, diferentemente do item citado acima, por simplificação, será cogitado para o reúso na atividade em questão todo o efluente gerado na lavanderia.

Aproveitando a declividade do terreno, este efluente poderia ser distribuído para as casas pela ação da gravidade. A Figura 18 representa uma ideia da declividade do terreno do local. O levantamento topográfico foi extraído de um projeto do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) chamado Topodata, que consiste em Modelos de Elevação Digital (MDE) para todo o território brasileiro, obtidos por interferometria pela missão norte americana SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) com resolução espacial de quadrículas de 30x30m. Com estes dados, foram geradas curvas de nível de metro em metro com a utilização de um software de georreferenciamento chamado Global Mapper, gerando *contour* na área analisada. Devido aos erros altimétricos associados, os valores de altitude não necessariamente representam os valores reais, mas, de acordo com as inspeções de campo, os resultados obtidos com relação à forma do terreno foram bastante satisfatórios.

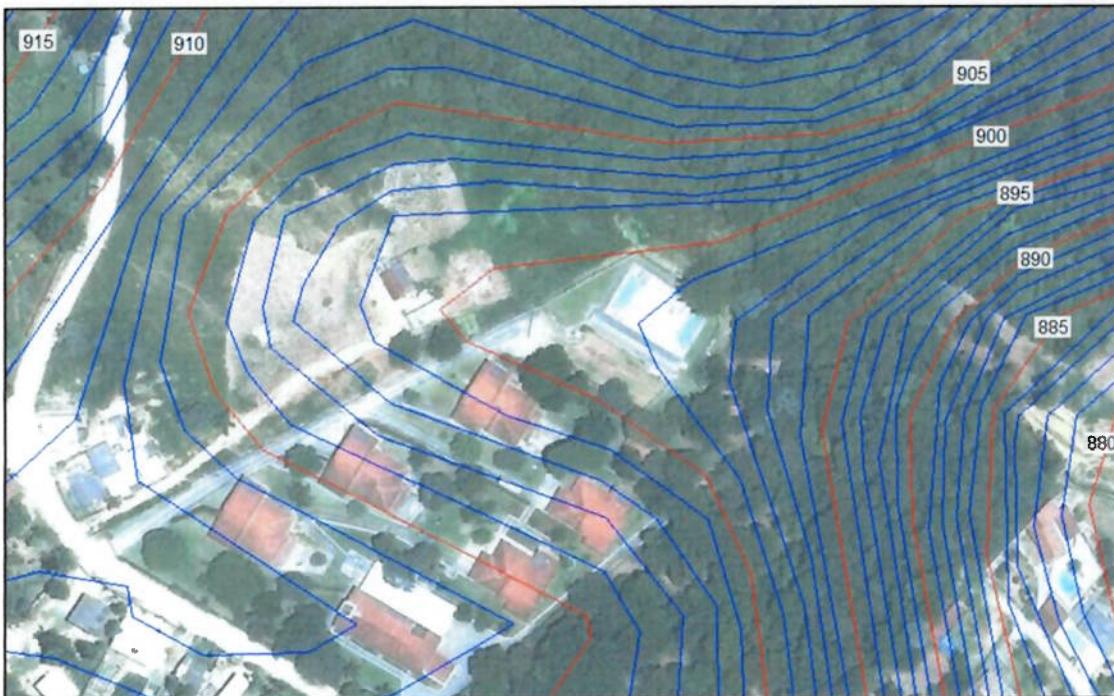


Figura 18. Curvas de nível representando a declividade do terreno do Lar Criança Feliz, propício para a distribuição de água de reúso para descarga nos vasos sanitários das casas.

Para a avaliação da possibilidade de reúso de todo o efluente da lavanderia, foi necessário estimar as características físicas, químicas e biológicas de todo o efluente partindo dos resultados obtidos para os efluentes segregados. Para isto, a hipótese utilizada nesta estimativa foi a de que a mesma quantidade de água é utilizada pelas três etapas do processo e realizou-se um balanço de massa a partir da média aritmética dos valores dos parâmetros para a lavagem e os enxágues de cada bateria de análises, que estão apresentados na Tabela 27.

Tabela 27. Média dos valores dos parâmetros analisados, considerando a mistura das amostras de todas as etapas da lavagem de roupas.

Parâmetros		Média
Cor	uC	664
Turbidez	uT	76,30
pH		8,46
Condutividade	µS/cm	943
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	565,8
COT	mg/L	27,24
DBO	mg O ₂ /L	253
DQO	mg O ₂ /L	984
Nitrogênio Total Kjeldahl	mg N-NTK/L	11,11
Fósforo	Ortofosfato	0,15
	Total	0,44
Coliformes	E.Coli	4,9 x 10 ³
	Totais	4,4 x 10 ³

Para se analisar a possibilidade de reúso deste efluente para a descarga dos vasos sanitários, primeiramente procedeu-se com a comparação da qualidade deste com as exigências apresentadas na norma NBR 13.969/97. Esta comparação está apresentada na Tabela 28.

Tabela 28. Comparação dos resultados das análises dos enxague das máquinas com os padrões exigidos pela NBR 13.969/97 para reúso em descarga de vasos sanitários.

	Turbidez	Coliformes Fecais
	uT	UFC/100mL
Resultados das análises do efluente da lavanderia	76,30	4,9 x 10 ³
Exigências da norma NBR 13.969	< 10	< 5,0 x 10 ²

Dos parâmetros exigidos pela norma, nenhum deles atendeu à qualidade requerida. Com relação à turbidez, como pode ser observado nos resultados obtidos por Ahmad e El-Dessouky (2008) em seu estudo, o tratamento de efluentes por processos físicos, como a sedimentação seguida por filtração com areia e cascalho, tem bastante eficácia na remoção de Sólidos Suspensos Totais (SST) e turbidez. No caso de coliformes, haveria a necessidade de um processo de desinfecção, como, por exemplo, a cloração.

Para se melhorar as condições de reúso, achou-se de grande importância verificar outros parâmetros não contemplados na norma da ABNT. Neste estudo em particular, além do fósforo, analisou-se a cor, DBO, DQO e Sólidos Dissolvidos Totais (SDT). Estes parâmetros foram escolhidos por entender que influenciam nas questões concernentes a esta modalidade de reúso, como, por exemplo, acumulação de sujeira nos vasos sanitários e exalação de maus odores por conta de carga orgânica, além de questões estéticas como a cor, que poderiam influenciar na aceitação por parte dos usuários.

Para estes parâmetros citados, apresenta-se na Tabela 29 a estimativa para o efluente da lavanderia do abrigo.

Tabela 29. Valores médios de outros parâmetros do efluente da lavanderia em estudo não contemplados na norma NBR 13.969/97 para reúso em descarga de vasos sanitários.

	Cor	DBO _{5,20}	DQO	SDT
	uC	mg O ₂ /L	mg O ₂ /L	mg/L
Efluente da lavanderia	664	253	984	565,8

Com relação a esses parâmetros, foi visto nos resultados do trabalho de Ahmad e El-Dessouky (2008), e citado por Li, Wichmann e Otterpohl (2009), que os processos físicos não apresentam eficácia para remoção da carga orgânica (DBO e DQO) e Sólidos Dissolvidos Totais. Como foi dito, seria bastante conveniente a diminuição destas características. Para isto, uma alternativa seria a implantação de um sistema de tratamento biológico, dentre os quais pode-se citar filtro anaeróbio, sistema de lodo ativado por batelada (LAB), tanque séptico, entre outros.

Com relação ao sistema de tratamento a ser utilizado no local, por se tratar de uma instituição social, a questão financeira com relação à implantação e manutenção, e necessidade de mão-de-obra especializada para operação são fatores limitantes. Isto descartaria algumas opções de tratamentos vistos nas pesquisas bibliográficas estudadas na primeira parte deste trabalho. Dentre eles podemos incluir os tratamentos por filtração por membranas, osmose reversa e biorreatores com membranas, que se caracterizam por sistemas avançados de tratamento, com alta eficiência, mas em desacordo com o contexto deste estudo de caso. Além destes, há alguns processos químicos vistos como coagulação e flocação, ozonização, flotação por ar dissolvido, que foram utilizados em alguns estudos e também mostraram alta eficiência em associação com outras formas de tratamento, mas que pelos custos envolvidos e necessidade de disponibilidade de grandes áreas para construção, também não puderam ser contemplados neste caso.

Frente à essa realidade, supõe o uso de uma alternativa mais viável. Dentre estas, a que mais se adequaria ao local e às necessidades seria a construção de um tanque séptico em associação com outro processo de tratamento. Os detalhes do processo de tratamento para este caso serão discutidos no próximo item.

Visto a possibilidade de se proceder com esta alternativa de reúso, faz-se necessário fazer uma estimativa do consumo com descarga em vasos sanitários no abrigo. Na Tabela 7 temos alguns valores do percentual do consumo de água em vasos sanitários para um domicílio. Para este caso, utilizaremos o valor médio dos apresentados, ou seja, 14%. Com os dados do SNIS (2008) de consumo *per capita* de água no Brasil de 151,2 L/hab.dia, e considerando que atualmente 30 pessoas residem no abrigo permanentemente, pode-se estimar o consumo de água com descargas de vasos sanitários.

$$\rightarrow 151,2 \text{ L/hab.dia} \times 30 \text{ pessoas} \times 0,14 \cong 635 \text{ L/dia}$$

Estimando a quantidade de efluente gerado por dia pela atividade de lavagem de roupas, baseando-se na Tabela 20, temos:

- Quantidade de efluente gerado em um dia de atividade:
 - 1634,1 L
- Considerando que a lavagem de roupas ocorre 3 dias por semana, temos que a estimativa diária de geração de efluente proveniente da lavanderia é:
 - $1634,1 \times \frac{3}{7} \cong 700 \text{ L/dia}$

Com estas estimativas, pode-se concluir que seria possível reutilizar todo o efluente gerado pela lavanderia nas descargas dos vasos sanitários das casas do Lar Criança Feliz, não mais utilizando água potável para tal fim.

A tubulação de descarte do efluente seria direcionada para um sistema de tratamento a fim de obter as características necessárias para o reúso na descarga dos vasos sanitários. Este sistema poderia ser implantado no trecho da tubulação já existente para o descarte (como pode ser visto na Figura 10), evitando a necessidade de modificações neste sistema. Além disso, seria aproveitada a declividade do terreno, não sendo necessário armazenar e bombear este efluente.

Após o tratamento, o efluente seria reservado em uma caixa d'água e recalcado por uma bomba compatível com o desnível do terreno e a vazão para um reservatório no telhado das casas localizadas na parte mais alta do terreno. Este reservatório, com capacidade compatível com a demanda, alimentaria os vasos sanitários de todas as casas por gravidade.

Para a instalação deste sistema de reúso seriam necessárias algumas adaptações das estruturas já existentes no local. Uma delas seria a necessidade de se modificar as tubulações que alimentam os vasos sanitários, que atualmente provém da caixa d'água comum, com água potável. Esta obra necessitaria um gasto financeiro que deveria também ser considerado para a tomada de decisão.

Além disso, podem ocorrer algumas dificuldades durante a operação do sistema. Apesar de todos os tratamentos que elevariam a qualidade do efluente e aumentariam a segurança no reúso, a longo prazo podem ocorrer fatores indesejáveis como sujeira, contaminação dos usuários, entre outros que talvez não fossem possíveis prever no projeto. Desta forma, antes da implantação do sistema completo, poder-se-ia instalar no local um projeto piloto instalado em apenas uma casa para avaliar a evolução do sistema, para em seguida, satisfeitas as exigências, proceder com as modificações necessárias para a implantação do sistema completo.

Outra adaptação necessária ao se utilizar este sistema de reúso seria a necessidade de limpeza dos vasos com maior frequência para evitar acúmulo de sujeira nestes.

5.4.2.2 Reúso para irrigação de áreas verdes

Devido à existência de uma área gramada considerável no terreno do abrigo foi notada também a opção de irrigação destes jardins com a água disponível para reúso. Por se tratar de um local com contato direto das crianças que brincam nestas áreas, é necessário um tratamento prévio do efluente de lavanderia para esta utilização. No entanto, vale destacar que o efluente não é proveniente de tratamento de esgoto e sim de uma atividade com menos riscos de contaminação.

Se houvesse um pomar em uma área determinada poderia se utilizar o efluente tratado na irrigação deste local também. O que existe hoje são árvores frutíferas espalhadas aleatoriamente pelo terreno. Segundo a norma NBR 13.969 (1997) o reúso para irrigação de pomares deve ser feito por escoamento superficial ou através de sistema de irrigação pontual.

Para este tipo de reúso poderia se tratar o efluente de lavanderia em um tanque séptico e posterior tratamento com filtro de areia ou wetland.

5.5 Sistemas de tratamento

Como foi visto, para a realização do reúso do efluente da lavanderia é necessário na maioria das vezes submetê-lo a algum tipo de tratamento. A complexidade deste tratamento depende da qualidade do efluente a ser reutilizado e do uso que se fará dele, podendo, como foi visto na bibliografia, se tratar de uma simples filtração até a implantação de membranas, o que influencia nos custos do investimento, na necessidade mão de obra especializada para operação, na necessidade de manutenção, entre outros fatores.

Para o caso específico do Lar Criança Feliz, por se tratar de uma instituição social e desprovida de condições de altos financiamentos, e baseando-se na discussão feita no item 5.4, foram analisados alguns sistemas de tratamento que poderiam ser implantadas no local, sendo possível inclusive a associação destes.

5.5.1 Tanques Sépticos

Por se tratar de uma unidade de baixo custo, sem a necessidade de especialização de mão de obra para operação e boa eficácia, a fossa séptica (ou tanque séptico) pode ser implantada como um pré-tratamento para que haja uma degradação da matéria orgânica presente no efluente, a fim de possibilitar seu posterior reúso.

Um fator importante atrelado à eficácia do tanque séptico é a biodegradabilidade do efluente que este receberá. Este quesito pode ser quantificado de algumas formas diferentes encontradas na literatura, relacionando a quantidade de substrato e nutrientes. May (2009) cita que a relação DBO:DQO pode ser utilizado como fator de decisão pelo uso de um processo biológico de tratamento. O autor afirma que um valor desta relação acima de 0,2 possibilita o uso deste tipo de tratamento. Metcalf e

Eddy (1991) por outro lado estabelecem que a biodegradabilidade de um efluente é dada pela relação DQO:N:P, sugerindo o valor de 100:20:1.

A partir dos resultados das análises, verificamos que foi obtida uma média para as relações DBO:DQO e DQO:N:P de, respectivamente, 0,25 e 1000:20:1. Este fato possibilitaria o uso de um tanque séptico a fim de promover um abatimento da carga orgânica do efluente.

Como citado anteriormente, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), através da NBR 7229 / 1993, estabelece diretrizes para o projeto, construção e operação de fossas sépticas e a NBR 13.969 com o título: "Tanques sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação", de setembro de 1997, apresenta outras formas de tratamentos para associar com os tanques sépticos e alternativas para a disposição de seus efluentes. Além de esta norma apresentar possibilidades como valas de infiltração, canteiros de infiltração e evapotranspiração, ela também sugere o lançamento em águas superficiais (quando observados alguns requisitos de qualidade do efluente e características do corpo receptor), e o reúso local deste efluente para usos que exijam uma qualidade não potável. O efluente da fossa séptica poderia ser reutilizado para as descargas dos vasos sanitários, como foi descrito anteriormente, avaliando a necessidade de algum tratamento após o processo biológico; e lavagem de pisos. Outra possibilidade interessante no caso em estudo, inclusive contemplada na NBR 13.969, seria a utilização do efluente da fossa séptica para irrigação subsuperficial de pomares, que é um projeto futuro do abrigo.

Considerando a possibilidade de utilização desta forma de tratamento para o caso da lavanderia, a seguir foi dimensionado um tanque séptico para o local, baseando-se nas diretrizes da norma citada acima.

Segundo a norma NBR 7229/93, para a concepção de um tanque séptico deve-se inicialmente calcular um volume útil, através da Equação 1 descrita abaixo.

Equação 1

$$V = 1000 + N \times (C \times T + K \times L_f)$$

Onde:

V = Volume útil, em litros;

N = Números de pessoas ou unidades de contribuição;

C = Contribuição de despejos, em litros/pessoa.dia ou litros/unidade.dia;

T = Período de detenção, em dias;

K = Taxa de acumulação de lodo digerido em dias, equivalente ao tempo de acumulação de lodo fresco;

L_f = Contribuição de lodo fresco, em litros/pessoa.dia ou litros/unidade.dia.

Para o estudo de caso, temos que se trata de uma lavanderia que gera, como estimado na Tabela 20, cerca de 1634 L por dia de atividade. Considerando que possa haver alguma variação neste valor, para o dimensionamento do tanque séptico será utilizado o valor de 1700 L. Além disso, como esta atividade não ocorre diariamente, mas somente três vezes por semana, para a variável C utilizou-se uma média diária de despejos. Portanto, tem-se:

$$C = \frac{3}{7} \times 1700 \cong 728,6 \text{ L/dia}$$

Os valores para os demais parâmetros estão tabelados na norma. Estas tabelas estão apresentadas no item 8.2 do anexo deste relatório.

O período de detenção (T) depende da contribuição diária (C). De acordo com a Tabela 48, o valor de 728,6 L/dia encontrado no cálculo acima pertence a uma faixa que corresponde a um período de detenção de 1 dia.

A taxa de acumulação de lodo (K) é função da temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$) e do intervalo de limpeza da fossa, em anos. Para a temperatura ambiente, optou-se pela terceira faixa, que corresponde a $t > 20^{\circ}\text{C}$. Com relação ao intervalo de limpeza, foi escolhido um período de 2 anos. Esta escolha se deveu ao fato de que este é o intervalo de limpeza da fossa séptica de esgoto bruto já existente no local. Para estes requisitos, de acordo com a Tabela 49, temos um valor de K de 97.

O lodo fresco (L_f) depende do tipo de domicílio ou empreendimento em questão, divididos em prédios com ocupantes permanentes e temporários, como pode ser visto na Tabela 47. Apesar de na norma não se fazer menção direta à lavanderias, por se tratar de uma atividades que ocorre apenas três vezes por semana e durante um pequeno período de tempo, e por envolver efluentes que se caracterizam por uma relativamente baixa carga orgânica se comparado com esgoto bruto, optou-se pelo menor valor de L_f disponível na tabela, ou seja, 0,02.

Utilizando estes valores, então, obteve-se o valor do volume útil:

$$V = 1000 + 1 \times ((728,6 \times 1) + (97 \times 0,02)) \cong 1730 \text{ L}$$

Na norma são sugeridas duas geometrias distintas para o tanque séptico: cilíndrica e prismática (item 5.8 da norma). Além disso, no item 5.10, diz-se que para tanques de pequeno a médio porte recomenda-se o uso de câmaras múltiplas em série. Por opção, decidiu-se por um tanque prismático retangular com duas câmaras em série.

Algumas restrições das medidas internas são estabelecidas, sendo elas:

- Largura interna mínima: 0,80 m;
- Relação comprimento/largura: entre 1:2 (mínima) e 1:4 (máxima);

- Profundidade útil: medida entre o nível mínimo de saída do efluente e a base do tanque. Valor que varia em função do volume útil calculado pela Equação 1, tabelado conforme Tabela 46. Para este caso, esta medida deve variar entre 1,2 m e 2,2 m;
- Proporção em volume entre as câmaras: $\frac{2}{3}$ do volume para a câmara de entrada e $\frac{1}{3}$ para a câmara de saída.

Com relação à intercomunicação entre as câmaras, esta deve ocorrer mediante aberturas com área equivalente a 5% da seção vertical útil do tanque no plano de separação entre elas, sendo que algumas limitações devem ser respeitadas:

- Distância vertical mínima entre o nível do líquido e a extremidade superior da abertura: 0,30 m;
- Distância vertical mínima entre a extremidade inferior da abertura e a base do tanque: dependente do intervalo de limpeza estabelecido para o projeto. Para tanques com intervalos de até três anos, equivale à metade da altura útil.
- Menor dimensão da abertura (altura e largura): 3 cm.

Outras restrições quanto aos dispositivos de entrada e saída, aberturas para inspeção e de acesso para limpeza, são dadas nas normas, sendo que o dimensionamento realizado neste item atende a todas elas.

As dimensões do tanque séptico podem ser observadas na Tabela 30 e nas Figuras Figura 19 a 21. As medidas estão apresentadas em metro.

Tabela 30. Dimensões do Tanque Séptico projetado para receber os efluentes da lavanderia em estudo.

Dimensionamento do Tanque		
	Comprimento	1,67
Dimensões internas do Tanque (m)	Largura	0,80
	Altura	1,60
Profundidade útil (m)		1,30
Volume útil (m ³)		1,74
Volume por câmara (m ³)	Entrada	1,16
	Saída	0,58
Número de orifícios		3
Dimensões dos orifícios (m)	Altura	0,185
	Largura	0,095
Distância da base do tanque à extremidade inferior dos orifícios (m)		0,65

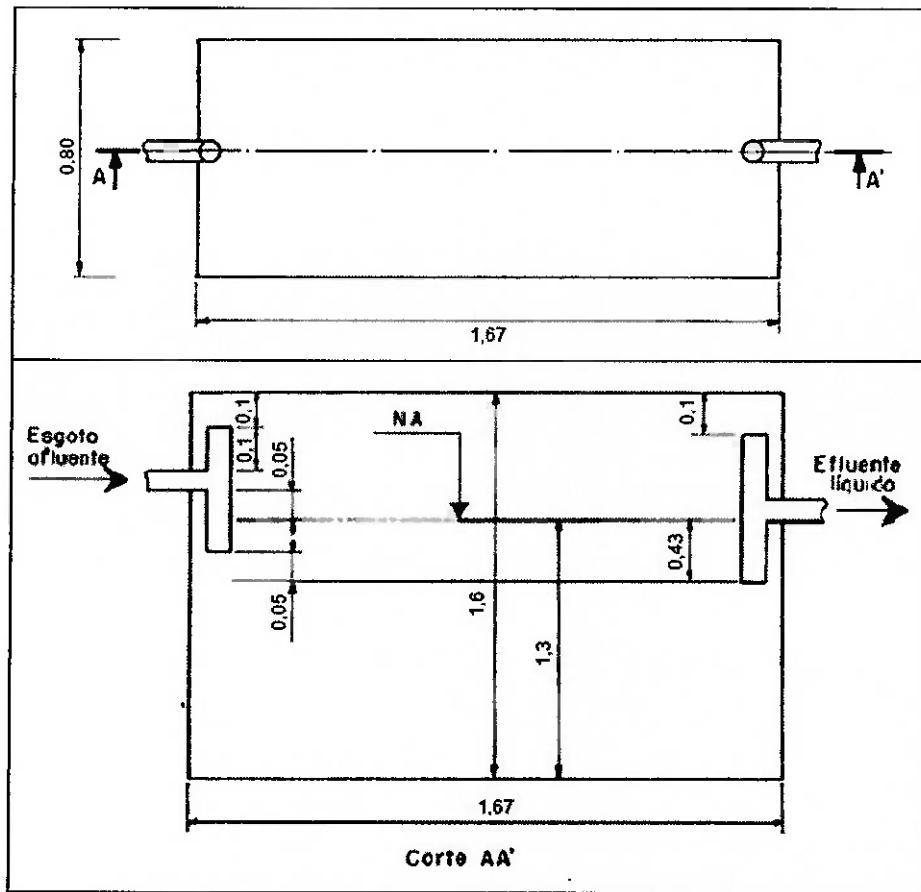


Figura 19. Vista superior e corte longitudinal do Tanque Séptico projetado para receber os efluentes da lavanderia em estudo.

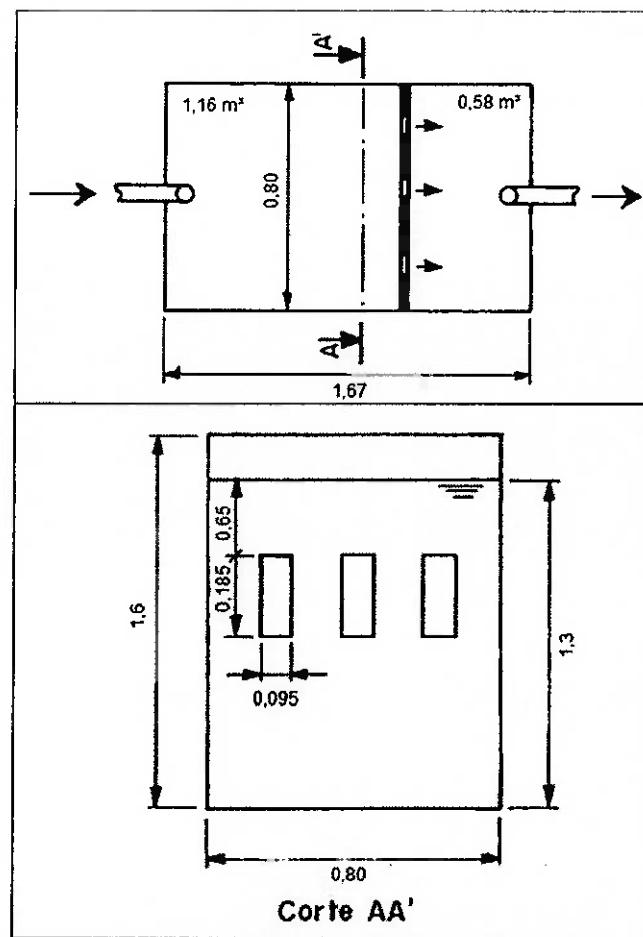


Figura 20. Vista da parede de separação das câmaras em série do Tanque Séptico projetado para receber os efluentes da lavanderia em estudo.

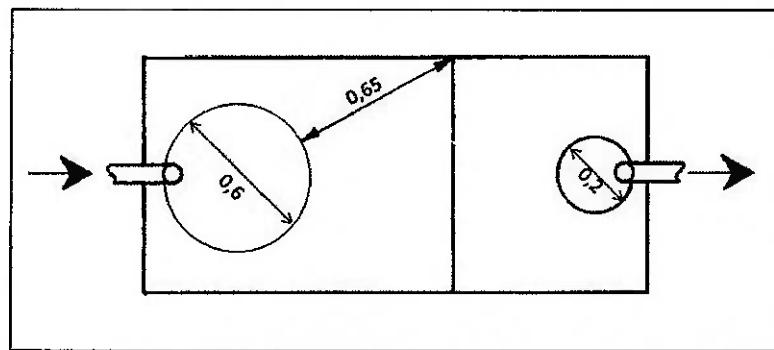


Figura 21. Vista da tampa do Tanque Séptico projetado para receber os efluentes da lavanderia em estudo.

Os métodos construtivos e materiais estão disponíveis na norma. Ainda com relação à construção, se faz necessário atender às distâncias horizontais mínimas:

- 1,50 m de construções, limites de terrenos, sumidouros, valas de infiltração e ramal predial de água;
- 3,0 m de árvores e de qualquer ponto de rede pública de abastecimento de água;
- 15,0 m de poços freáticos e de corpos de água de qualquer natureza.

Para se iniciar a operação, é necessário fazer uma verificação da estanqueidade do tanque, para avaliar se há vazamentos. Este procedimento está descrito com maiores detalhes na norma em questão.

Quanto à operação do tanque séptico, vale ressaltar que o intervalo de limpeza previsto pelo projeto deve ser atendido, salvo exceção de alterações na vazão. Antes de qualquer operação, a tampa de acesso ao tanque deve permanecer aberta por, no mínimo, 5 minutos, a fim de possibilitar a dispersão de possíveis gases tóxicos e explosivos. A remoção do lodo deve ser executada por profissionais especializados com o uso dos devidos equipamentos de segurança sendo preferencialmente utilizado equipamento mecânico de sucção e caminhão tanque.

O efluente, lodo e escuma provenientes dos tanques sépticos devem ser tratados e dispostos de maneira adequada. As normas NBR 7.229/93 e NBR 13.969/97 indicam algumas possibilidades, como indicado na Figura 22.

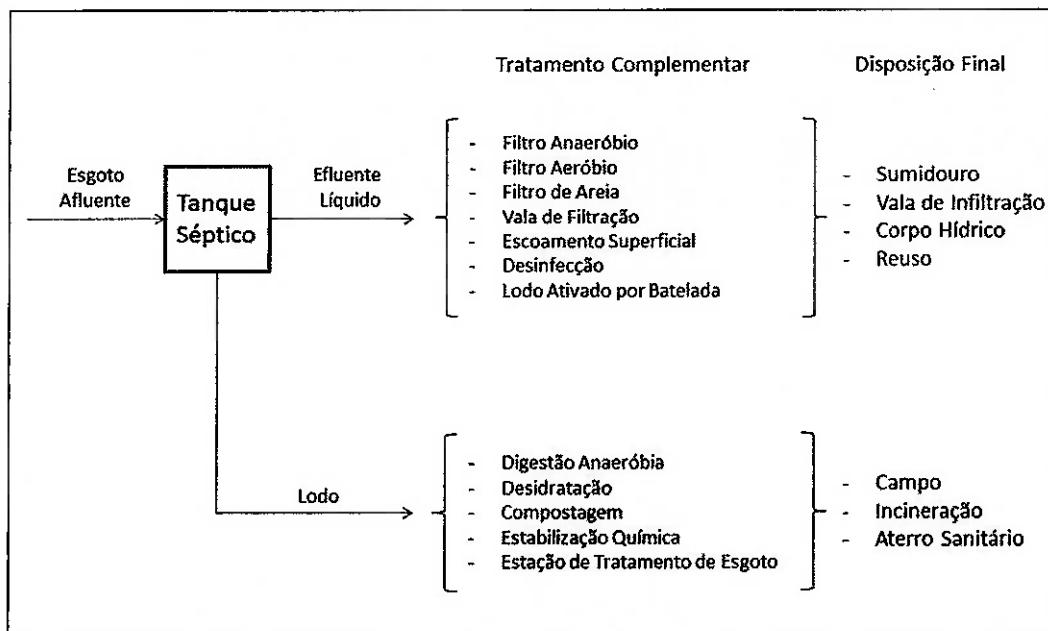


Figura 22. Opções de tratamento complementar e disposição final de efluentes e lodo provenientes de Tanques Sépticos.

Quanto à disposição final do efluente líquido utilizando vala de infiltração, seria possível a infiltração subsuperficial, que não libera odores desagradáveis.

Com relação ao lodo de lavanderias, um estudo de Herek et al (2009) demonstra a possibilidade de incorporação deste resíduo na fabricação de tijolos cerâmicos.

Como pode ser visto na Figura 22, a disposição final, inclusive o reúso, dos efluentes dos tanques sépticos estão sujeitos à necessidade de pré-tratamentos. No entanto, esta norma prevê um afluente proveniente de todas as áreas de um domicílio, incluindo águas negras (provenientes de vasos sanitários). Já neste estudo de caso, por se tratar de efluente de lavanderia, ou seja, com qualidade superior com relação a um esgoto composto, poderia se analisar a possibilidade de reúso logo após a saída da fossa séptica, sem a necessidade de aplicar um desses tratamentos complementares. No entanto, para garantia deste fato, seriam necessárias análises para caracterização da saída do tanque séptico para este caso, já que não há dados na pesquisa bibliográfica feita na primeira parte do trabalho com relação à eficácia dos tanques sépticos.

Nesta linha, a norma NBR 13.969/97 traz possíveis reduções de alguns parâmetros para efluentes de tanques sépticos associados com outras formas de tratamento. Além disso, caracteriza estes outros processos com relação ao custo de operação, área necessária, geração de odor, entre outros fatores importantes.

Estes dados podem ser vistos nas Tabelas Tabela 31 e

Tabela 32 a seguir.

Tabela 31. Faixas prováveis de remoção dos poluentes, conforme o tipo de tratamento, consideradas em conjunto com o tanque séptico (em %)^{1),2)}

Parâmetro \ Processo	Filtro Anaeróbio	Filtro Aeróbio Submerso	Filtro de Areia	Vala de Infiltração	Lodo Ativado por Batelada	Lagoa com plantas
DBO _{5,20}	40 a 75	60 a 95	50 a 85	50 a 80	70 a 95	70 a 90
DQO	40 a 70	50 a 80	40 a 75	40 a 75	60 a 90	70 a 85
Sólidos em Suspensão	60 a 90	80 a 95	70 a 95	70 a 95	80 a 95	70 a 95
Sólidos Sedimentáveis	70 ou mais	90 ou mais	100	100	90 a 100	100
Nitrogênio Amoniacal	-	30 a 80	50 a 80	50 a 80	60 a 90	70 a 90
Nitrato	-	30 a 70	30 a 70	30 a 70	30 a 70	50 a 80
Fosfato	20 a 50	30 a 70	50 a 90	30 a 70	50 a 90	70 a 90
Coliformes fecais	-	-	-	99,5 ou mais	-	-

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) – NBR 13.969/97

¹⁾Os valores *limites inferiores* são referentes a temperaturas abaixo de 15°C; os valores *limites superiores* são para temperaturas acima de 25°C, sendo também influenciados pelas condições operacionais e grau de manutenção.

²⁾As taxas de remoção dos coliformes não devem ser consideradas como valores de aceitação, mas apenas de referência, uma vez que 0,5% residual de coliformes do esgoto representa centenas de milhares destes.

Tabela 32. Algumas características dos processos de tratamento a serem utilizados em conjunto com o tanque séptico (as características excluem o tanque séptico)

Característica \ Processo	Filtro Anaeróbio	Filtro Aeróbio Submerso	Filtro de Areia	Vala de Infiltração	Lodo Ativado por Batelada	Lagoa com plantas
Área necessária	Reduzida	Reduzida	Média	Média	Média	Média
Operação	Simples	Simples	Simples	Simples	Simples	Simples
Custo Operacional	Baixo	Alto	Médio	Baixo	Alto	Baixo
Manutenção	Simples	Simples	Simples	Simples	Mediana complexidade	Simples
Odor/cor no Efluente	Sim	Não	Não	Não	Não	Não

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) – NBR 13.969/97

Como pode ser observado, a fossa séptica, associada com alguns outros processos de tratamento apresenta uma eficiência significativa na redução de alguns parâmetros considerados importantes, como carga orgânica. Um dos processos que chama atenção por se adaptar bem ao contexto do local em estudo é o filtro de areia, pois apesar de apresentar um custo operacional médio se comparado com outras alternativas como o filtro anaeróbio, o fato de não gerar odor e reduzir a cor no efluente é de grande valia para o reúso em descargas de vasos sanitários. Além disso, o filtro de areia não necessita de especialização para operação e manutenção.

Esta associação pode ser considerada decidindo-se implementar a opção por tanques sépticos. Para a construção deste equipamento em associação com o tanque, sugere-se a utilização das normas NBR 13.969/97 e NBR 11.799/1990 que tratam, respectivamente, do dimensionamento do filtro de areia em associação com o tanque séptico, e materiais filtrantes.

A implantação deste sistema de tratamento biológico para posterior reúso de seu efluente se mostra bastante viável para este caso em particular. Além de se tratar de uma construção de custo relativamente baixo, sem necessidade de mão-de-obra especializada para a operação e disponibilidade de espaço propício para sua construção, é eficaz no abatimento de carga orgânica e SDT, não removida através de tratamentos físicos simples, que poderão ser utilizados como tratamento complementar, tais como os filtros de areia e sedimentação, como pode ser observado nos estudos vistos na referência bibliográfica. Este tratamento biológico torna possível a reutilização de seu efluente de diversas formas no local, como descargas em vasos sanitários das casas (se for feita a desinfecção), e limpeza de pisos e irrigação (já que não se trata de um efluente de esgoto e sim da lavagem de roupas).

5.5.2 Wetland construída

Outra possibilidade de tratamento complementar para o efluente da fossa séptica e melhoria da qualidade deste para o reúso seria a construção de uma wetland, principalmente para o abatimento da carga de nutrientes (nitrogênio e fósforo). Devido ao fato de se tratar de efluentes de lavanderia há presença de compostos

fosforados, apesar de os resultados das análises deste estudo não terem apresentado os valores esperados. Baseando-se nos valores da literatura pode-se verificar a grande quantidade destes compostos ricos em nutrientes em descartes de lavanderias. A utilização de wetlands mostra-se bastante eficaz na remoção destes compostos, como foi indicado por Souza et al (2004) em seu estudo.

No caso da utilização de wetlands, devido à alta carga orgânica apresentada pelo efluente a ser tratado, faz-se necessária a degradação biológica em tratamento anterior de parte destes compostos, a fim de não prejudicar a eficiência do sistema.

A Figura 23 apresenta tratamentos em série para esgotos, utilizando-se wetland como tratamento secundário.

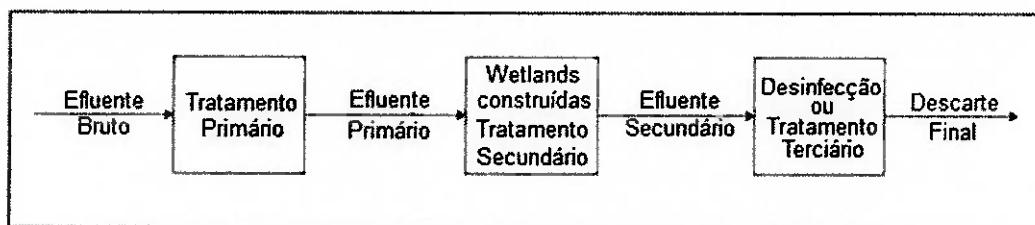


Figura 23: Esquema de tratamentos em série para efluentes utilizando-se wetland.

Fonte: Manual USEPA (2000), figura traduzida.

O manual da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA 2000) sobre a construção de wetlands para tratamento de efluentes municipais cita que, para algumas aplicações, este método é uma boa opção, pois tem baixo custo, pouca necessidade de manutenção, oferece um bom desempenho e possui uma aparência natural, a desvantagem é a extensão da área requerida, que pode ser muito elevada.

A percepção desta possível aplicação ocorreu quando foi observado que, no momento atual, a própria forma de descarte do efluente já transformou a área próxima ao córrego em uma área alagada. Se esta área pudesse ser controlada com fluxo e vazões determinados, presença de plantas e espaçamentos adequados e demais parâmetros necessários para a melhoria da qualidade do efluente neste sistema, seria proporcionado um grande benefício para o local.

De acordo com o manual da USEPA, as wetlands construídas são classificadas em dois tipos: as "wetlands com superfície livre de água" (FWS – Free water surface), que são mais parecidas com as wetlands naturais, nas quais existe uma coluna d'água livre acima do solo e os sistemas de "berço submerso vegetado" (VSB – Vegetated submerged bed), onde o nível d'água se situa até o limite da camada de solo drenante (pedras, cascalho, etc), este sistema não propicia uma interação como habitat para a vida selvagem. Os dois tipos de sistema devem ter uma impermeabilização inferior para evitar a infiltração do efluente no solo.

Outra questão que deve ser levada em conta é o controle do acesso dos animais silvestres à área da wetland e controle de mosquitos, principalmente em regiões quentes e para wetlands de superfície livre (FWS), existem alguns mecanismos para este tipo de controle, como a variação do nível de água na wetland em épocas de

procriação, isto é, criação de regiões que possibilitam o rebaixamento do nível d'água para um canal inferior (como demonstrado na Figura 24) para reduzir a área de procriação em conjunto com a utilização de peixes predadores e manejo da vegetação ou utilização de larvicidas, porém esta última opção deve ser bem estudada já que as informações contidas no Manual são referentes a produtos disponíveis nos Estados Unidos e as opções devem ser reavaliadas para as características brasileiras. A utilização de uma wetland tipo berço submerso reduz problemas com a proliferação de mosquitos.

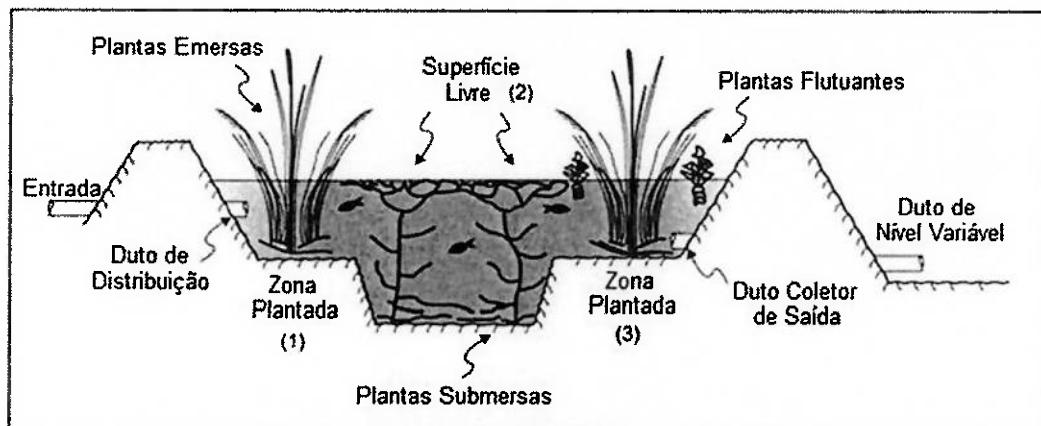


Figura 24: Perfil de célula de wetland tipo FWS, com três regiões.

Fonte: Manual USEPA (2000), figura traduzida.

Outro arranjo possível para este tipo de tratamento é uma estrutura vertical, como citado no estudo de Gross (2006), que reduziria a área necessária para implantação e seria adequada à baixa vazão da atividade de lavanderia em questão.

Considerando que existe um abatimento de matéria orgânica com o tratamento preliminar na fossa séptica, porém a concentração de nutrientes é mantida praticamente constante na saída deste tratamento primário, foi utilizado um modelo criado por um grupo denominado: "Natural Treatment Systems Core Technology" para se estimar a área necessária da wetland, usando valores de concentração de fósforo e nitrogênio iguais a 20 mg/L e 12mg/L, respectivamente. Estes valores foram resultantes da revisão da literatura para fósforo, pois como citado anteriormente as análises laboratoriais resultaram em valores muito baixos para este parâmetro, já para nitrogênio, os valores obtidos nos experimentos forneceu uma média de 11,11 mg/L para o efluente total da lavanderia. Os demais parâmetros utilizados no modelo são DBO, Sólidos totais em suspensão (SST) e coliformes fecais, que foram estimados a partir dos dados de entrada do efluente no tanque séptico e remoção neste tratamento, para DBO, para SST, como esta análise não foi feita para as amostras coletadas também foi estimado um valor médio a partir da literatura e porcentagem de remoção do tanque, para coliformes fecais utilizou-se um valor superestimado a partir das análises laboratoriais. No entanto, estes três últimos parâmetros não são tão importantes para a estimativa da área necessária a partir do modelo, que fornece a maior área requerida para o abatimento dos parâmetros escolhidos e nota-se que os nutrientes são os parâmetros críticos para a estipulação desta área. O modelo utiliza equações propostas por Kadlec e Knight (1996) para a construção de wetlands e forneceu uma área prevista de 62 m², que

possibilitaria a construção no terreno ao lado, pertencente ao abrigo. O anexo 8.3 fornece a tabela final de saída do modelo.

O tratamento com wetland seria viável, portanto, para o caso em estudo devido à área disponível e baixo custo de implantação, inclusive através de conversas com a diretoria do abrigo nota-se o interesse por tratamentos deste tipo que podem ser utilizados também para conscientização e educação ambiental da comunidade próxima, já que é um tratamento relativamente novo e pouco utilizado no Brasil. Um possível problema identificado nesse tipo de tratamento é a possibilidade de geração de maus odores decorrentes de condições anaeróbias que podem surgir nesse sistema, e que causariam um desconforto aos moradores e abrigados. A redução prévia de grandes quantidades de DBO e nitrogênio podem minimizar este problema.

O efluente da wetland poderia ser utilizado na irrigação de áreas verdes, já que a água residuária em tratamento não é proveniente de esgotos e sim da lavagem de roupas, oferecendo menores riscos de contaminação, principalmente para as crianças que irão entrar em contato com as áreas gramadas irrigadas.

6 CONCLUSÃO

A realização deste trabalho permitiu a constatação de que as pesquisas sobre o reúso de água estão em um nível já bastante avançado. Foi possível observar também que as possibilidades de reúso de água, tomando-se os devidos cuidados inerentes à qualidade do efluente e ao posterior uso, são muitas e que resultam em retornos relevantes para quem pratica e para o ambiente. O reúso de água tem sido utilizado por indústrias que com a redução do consumo deste bem, podem diminuir seus custos e terem o retorno de seus investimentos em processos de tratamento em um período não muito elevado. Em outros casos, como em Toritama, as lavanderias utilizaram o reúso como uma forma de contornar o impasse em que estavam inseridos: a escassez de água da região.

No estudo de caso deste trabalho em particular, além dos ganhos ambientais provenientes de uma possível implantação de um sistema de reúso de água no Lar Criança Feliz, com redução de consumo de água e mitigação ou até mesmo a extinção do lançamento do efluente no corpo hídrico, seria um meio para a conscientização das crianças e adolescentes que lá vivem para que práticas como esta sejam vistas com naturalidade e se tornem um hábito, inclusive este processo, se implantado, pode servir também como um exemplo positivo para a comunidade local e ferramenta de educação ambiental.

Na etapa de caracterização dos efluentes, foi possível observar alguns fatos que resultaram em dificuldades para obtenção dos dados nos procedimentos laboratoriais, como a não uniformidade na utilização dos produtos e no regime de funcionamento das máquinas, influenciando na determinação dos parâmetros das amostras analisadas, o que dificultou a identificação da melhor alternativa. Excluindo-se estas questões, os resultados laboratoriais obtidos, com exceção das análises de compostos fosforados, foram satisfatórios se comparados com os vistos na bibliografia. A etapa de caracterização se mostrou como um desafio para o grupo, pois exigiu dos integrantes uma capacidade analítica dos dados obtidos, avaliação das possíveis fontes de erros nos resultados e correlação dos resultados obtidos com suas causas.

Desta forma, diversas das alternativas que foram expostas na revisão bibliográfica seriam eficazes neste estudo de caso para posterior reúso. Este reúso, como foi visto, pode ocorrer tanto diretamente, como no caso do uso dos efluentes de enxagues das máquinas domésticas na etapa de lavagem do próximo ciclo, como indiretamente, aplicando-se um ou mais sistemas de tratamento ao efluente antes do seu reúso para fins como descargas em vasos sanitários, lavagem de pisos, irrigação de pomares, obedecendo aos critérios para cada uso.

Considerando as discussões feitas no decorrer do trabalho para cada possibilidade de reúso e seus tratamentos, quando necessários, concluiu-se que a opção mais adequada, de acordo com as características do local em estudo, em termos de espaço disponível, custos de implantação e facilidade de operação, seria:

- 1) Reúso direto na própria lavanderia do efluente do segundo enxágue das máquinas domésticas na etapa de lavagem da máquina industrial.

2) Para o efluente final da lavanderia, tratamento primário com fossa séptica e tratamento secundário com wetland e posterior irrigação de áreas verdes.

Para o reúso nas descargas de vasos sanitários seriam requeridas muitas mudanças e envolvimento de obras para adequação das tubulações, o que aumentariam os custos e poderiam causar transtornos, por isso esta opção não é recomendada.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMAD, J.; EL-DESSOUKY, H. **Design of a Modified Low Cost Treatment System for the Recycling and Reuse of Laundry Wastewater.** Artigo. 2008. Disponível em:
<http://www.directscience.com> Acesso em: 09/11/2010

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA); Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (FIESP); Sindicato da Indústria da Construção do Estado de São Paulo (SindusCon-SP). **Conservação e Reúso de Água em Edificações**, 2005. Capítulo 5: Detalhamento da gestão da Oferta na Implantação de Programas de Conservação de Água.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7.229: Projeto, Construção e Operação de Tanques Sépticos.** Rio de Janeiro, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13.969: Tanques Sépticos – Unidades de Tratamento Complementar e Disposição Final dos Efluentes Líquidos – Projeto, Construção e Operação.** Rio de Janeiro, 1997.

CIABATTI I.; CESARO F.; FARALLI L.; FATARELLA E.; TOGNOTTI F. **Demonstration of a treatment system for purification and reuse of laundry water.** Itália, 2009. Disponível em:
<http://www.directscience.com> Acesso em: 21/09/2010

COSTA, A. F. S. **Aplicação de Tratamentos Biológico e Físico-Químico em Efluentes de Lavanderia e Tinturaria Industriais do Município de Toritama no Estado de Pernambuco.** 2008, p.3; p.17-p.18 Dissertação (Mestrado) – Universidade Católica de Pernambuco, Recife. Disponível em:
http://www.unicap.br/tede//tde_busca/arquivo.php?codArquivo=374 Acesso em: 02/12/2010

COSTA A. F. S.; SALGUEIRO A. A. **Obtenção de Consórcio Microbiano a Partir de Amostras de Efluentes de Lavanderias e Tinturarias Industriais Instalada em Toritama – Pernambuco.** XX Congresso Brasileiro de Economia Doméstica. Fortaleza, CE, 2009.

CREA-PR - Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia do Estado do Paraná. **Uso/Reúso da Água.** Série de Cadernos Técnicos da Agenda Parlamentar. Paraná, 2009, 32 p. Disponível em:
<http://www.crea-pr.org.br> Acesso em: 20/10/2010

DI BERNARDO, L. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água.** Rio de Janeiro, ABES, 2v. 1993.

FILHO D. B.; MANCUSO, P. C. S. **Conceito de reúso de água.** Em MANCUSO, P. C. S.; SANTOS H. F. **Reúso de Água.** São Paulo: Manole, 2003, p. 21 a 36.

GROSS, A.; SHMUEL O.; RONEN Z.; RAVEH E. **Recycled vertical flow constructed wetland (RVFCW) – a novel method of recycled greywater for irrigation in small communities and households.** Artigo. 2006. Disponível em: <<http://www.directscience.com>> Acesso em: 21/09/2010.

HEREK, L. C. S.; SILVA JUNIOR, A. T.; PAVEZZI C. C.; BERGAMASCO R.; TAVARES, C. R. G. **Incorporação de lodo de lavanderia industrial na fabricação de tijolos cerâmicos.** Artigo. Universidade Estadual de Maringá, Paraná. 2009.

HOINKIS, J.; PANTEN, V. **Wastewater recycling in laundries – from pilot to large-scale plant.** Artigo. 2007. Disponível em: <<http://www.directscience.com>> Acesso em: 01/12/2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Censo demográfico 2010.** Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>> Acesso em: 18/01/2011

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008.** Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>> Acesso em: 18/01/2011

KIM J.; SONG I.; OH H.; JONG J.; PARK J.; CHOUNG Y. **A laboratory-scale graywater treatment system based on a membrane filtration and oxidation process – characteristics of graywater from a residential complex.** Artigo. 2008. Disponível em: <<http://www.directscience.com>> Acesso em: 29/10/2010

LI, F.; WICHMANN, K.; OTTERPOHL, R. **Review of the Technological Approaches for Grey Water Treatment and Reuses.** Artigo. 2009. Disponível em: <<http://www.directscience.com>> Acesso em: 29/10/2010

MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H.F. **A Escassez e o reúso de água em âmbito mundial.** Em MANCUSO, P. C. S.; SANTOS H. F. **Reúso de Água.** São Paulo: Manole, 2003, p. 1 a 19.

MAY, S. **Caracterização, Tratamento e Reúso de Águas Cinzas e Aproveitamento de Águas Pluviais em Edificações.** 2009, 222 p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

MENEZES, J. C. S. S. **Tratamento e Reciclagem do Efluente de uma Lavanderia Industrial.** 2005, 118 f. Tese (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul.

METCALF e EDDY. **Wastewater engineering: treatment and reuse - 4th ed.** Nova York: McGraw-Hill Companies Inc, 2003. p 56.

MIERZWA J. C. **O uso racional e o reúso como ferramentas para o gerenciamento de águas e efluentes na indústria. Estudo de caso da Kodak brasileira.** 2002, p. 338 e 339. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

MIERZWA J. C.; HESPAÑOL I. **Água na Indústria: Uso Racional e Reúso.** São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Manual de Lavanderia Hospitalar.** Brasília: Centro de Documentação do Ministério da saúde, 1986. 47 p.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Processamento de roupas de serviços de saúde: Prevenção e Controle de Riscos.** ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária, 2007. 120 p.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Resolução RDC nº 50, de 21 de fevereiro de 2002.** ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária, p 87.

MISRA, R. K.; SIVONGXAY, A. **Reuse of laundry greywater as affected by its interaction with saturated soil.** Austrália, 2008. Artigo. Disponível em: <<http://www.directscience.com>> Acesso em: 01/12/2010.

NAVACHI, J. A. **Reutilização dos Efluentes Tratados: Caso de uma Lavanderia Industrial.** 2002, 95 f. Tese (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade Regional de Blumenau, Blumenau.

QUEVEDO, C. M. G. **As atividades do homem e a evolução da dinâmica do fósforo no meio ambiente.** 2009. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, São Paulo.

RODRIGUES, M. R. **A Escassez de Água para Abastecimento Público e seus Reflexos Socioeconômicos no Município de Itu – SP.** 2008, 149 f. Dissertação (Pós-graduação em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, p. 17. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br>> Acesso em: 27/10/2010

São Paulo (Estado). Secretaria do Meio Ambiente. **A Produção Mais Limpa e o Consumo Sustentável na América Latina e Caribe.** 2004, 108 p. Publicação das Nações Unidas. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Tecnologia/producao_limpa/documentos.asp> . Acesso em: 28/09/2010.

SEBRAE/PE. **Histórias de Sucesso: indústria: têxtil e confecções: madeira e móvel.** Brasília: SEBRAE, 2006. Disponível em: <<http://www.casosdesucesso.sebrae.com.br/include/arquivo.aspx/236.pdf>> Acesso em: 08/11/2010.

SHIKLOMANOV, I. A. **World Water Resources. A New Appraisal and Assessment for the 21st century,** United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. Paris, 1998. Disponível em: <<http://www.unesco.org/new/en/unesco/resources/online-materials/publications/unesdoc-database/>>. Acesso em: 28/10/2010.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO – SNIS. **Diagnósticos dos serviços de água e esgoto** (2008). Disponível em: <<http://www.snis.gov.br>> Acesso em: 18/01/2011

SOUZA, J. T.; HAANDEL, A.; LIMA, E. P. C.; HENRIQUE, I. N. **Utilização de wetland construído no pós-tratamento de esgotos domésticos pré-tratados em reator UASB.** Rio de Janeiro. Artigo. 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522004000400004> Acesso em: 30/11/2010.

TELLES, D. D.; COSTA, R. H. **Reúso da água: conceitos, teorias e práticas.** São Paulo: Blucher, 2007. 311 p.

TOMAZ, P. **Previsão de Consumo de Água.** São Paulo: Navegar, 2000. 250 p.

TOMAZ, P. **Economia de água para empresas e residências: Um estudo atualizado sobre o uso racional da água.** São Paulo: Navegar, 2001. 112 p.

UNESCO. **Água para todos, Água para la vida. Informes de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo.** 2004, 36 p.

USEPA – United States Environmental Protection Agency. **Manual Constructed wetlands treatment of municipal wastewater.** Setembro, 2000. National Risk Management Research Laboratory Office of Research and Development U.S. EPA, Cincinnati, Ohio.

VIANA, P. Z. **Biorreator com membrana aplicado ao tratamento de esgotos domésticos: avaliação do desempenho de módulos de membranas com circulação externa.** Julho de 2004, p. 39. Tese (mestrado em engenharia civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.

8 ANEXOS

8.1 Resultados das análises laboratoriais das amostras

A seguir, estão apresentadas tabelas e figuras com os resultados de todas as análises para a caracterização dos efluentes realizadas durante este trabalho.

Tabela 33. Resultados das análises de Cor.

Análise	Cor						UC		
	1	2	3	4	5	6	Máximo	Mínimo	Média
Data da coleta	10/fev	17/fev	22/fev	15/mar	05/abr	14/abr			
Lavagem	-	722	1532	720	2050	968	2050	720	1198
1º Enxágue	-	420	236	306	341	276	420	236	316
2º Enxágue	-	90		445	502	466	502	90	376
Montante	-	187	156	624	122	108	624	108	239
Jusante	-	146	192	499	115	98	499	98	210

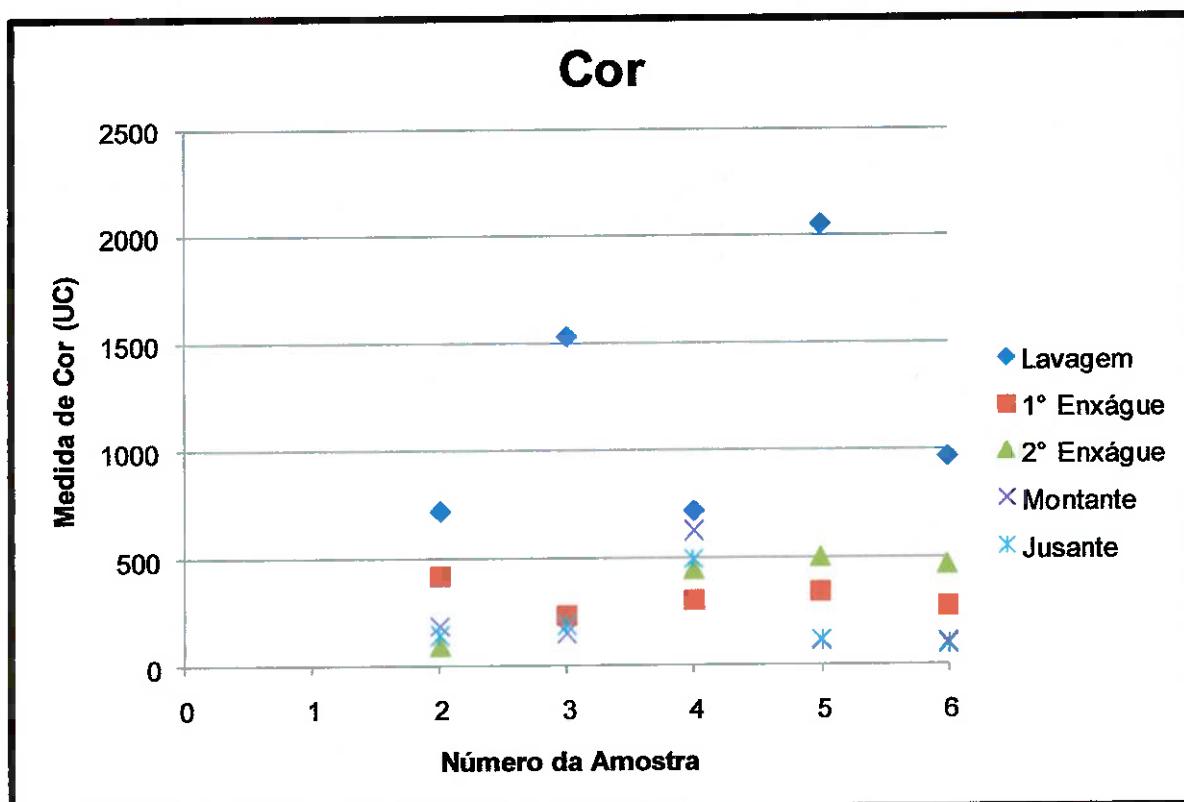


Figura 25: Gráfico com os resultados das análises de Cor.

Tabela 34: Resultados das análises de turbidez.

Análise	Turbidez						Máximo	Mínimo	Média
	1	2	3	4	5	6			
Data da coleta	10/fev	17/fev	22/fev	15/mar	05/abr	14/abr			
Lavagem	-	22,40	61,10	103,00	433,00	126,00	433,00	22,40	149,10
1° Enxágue	-	16,30	9,47	31,70	47,40	36,20	47,40	9,47	28,21
2° Enxague	-	4,60	-	76,10	73,90	68,10	76,10	4,60	55,68
Montante	-	1,86	3,01	50,60	10,60	8,11	50,60	1,86	14,84
Jusante	-	2,34	9,16	40,30	8,99	7,66	40,30	2,34	13,69

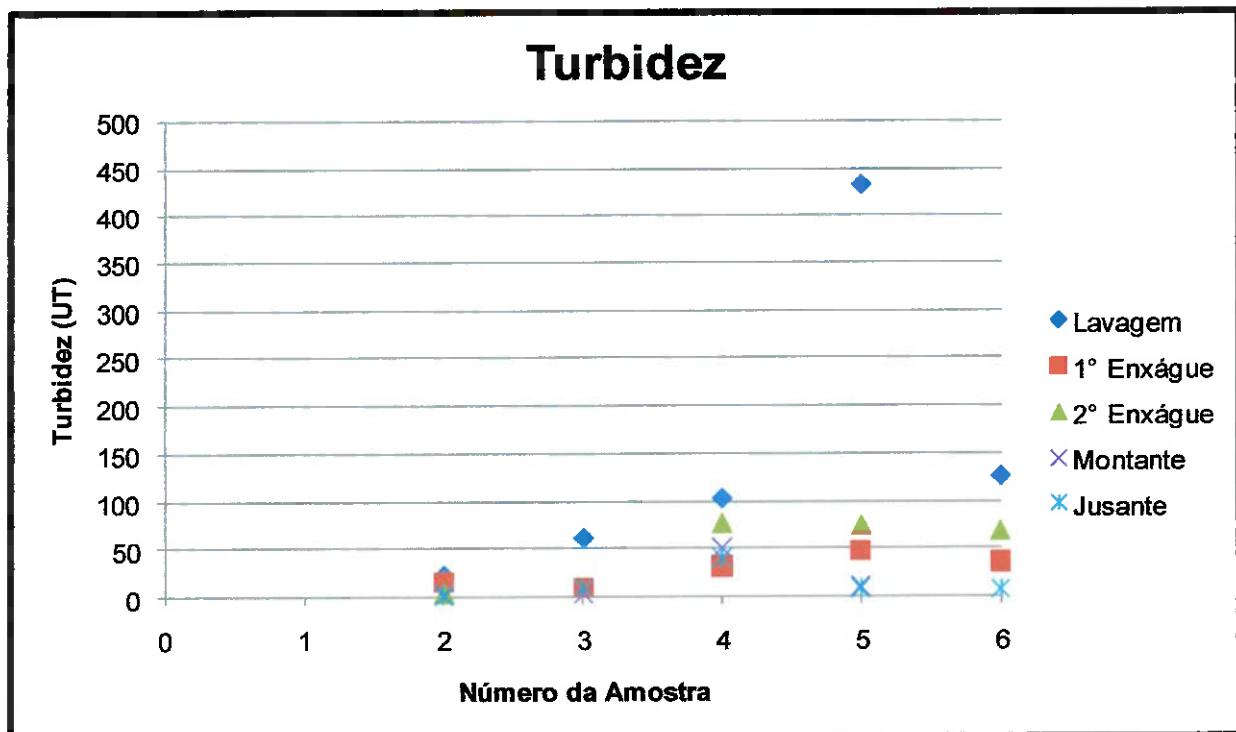
**Figura 26: Gráfico com os resultados das análises de turbidez.**

Tabela 35: Resultados das análises de pH.

Análise	pH						Máximo	Mínimo	Média
	1	2	3	4	5	6			
Data da coleta	10/fev	17/fev	22/fev	15/mar	05/abr	14/abr			
Lavagem	9,34	9,81	10,15	9,93	9,95	9,90	10,15	9,34	9,85
1º Enxágue	7,90	7,22	8,24	8,84	7,32	8,43	8,84	7,22	7,99
2º Enxague	6,59	6,43	-	7,49	7,74	7,75	7,75	6,43	7,20
Montante	6,45	6,54	6,32	6,68	6,40	6,43	6,68	6,32	6,47
Jusante	6,17	6,41	6,31	6,45	6,21	6,21	6,45	6,17	6,29

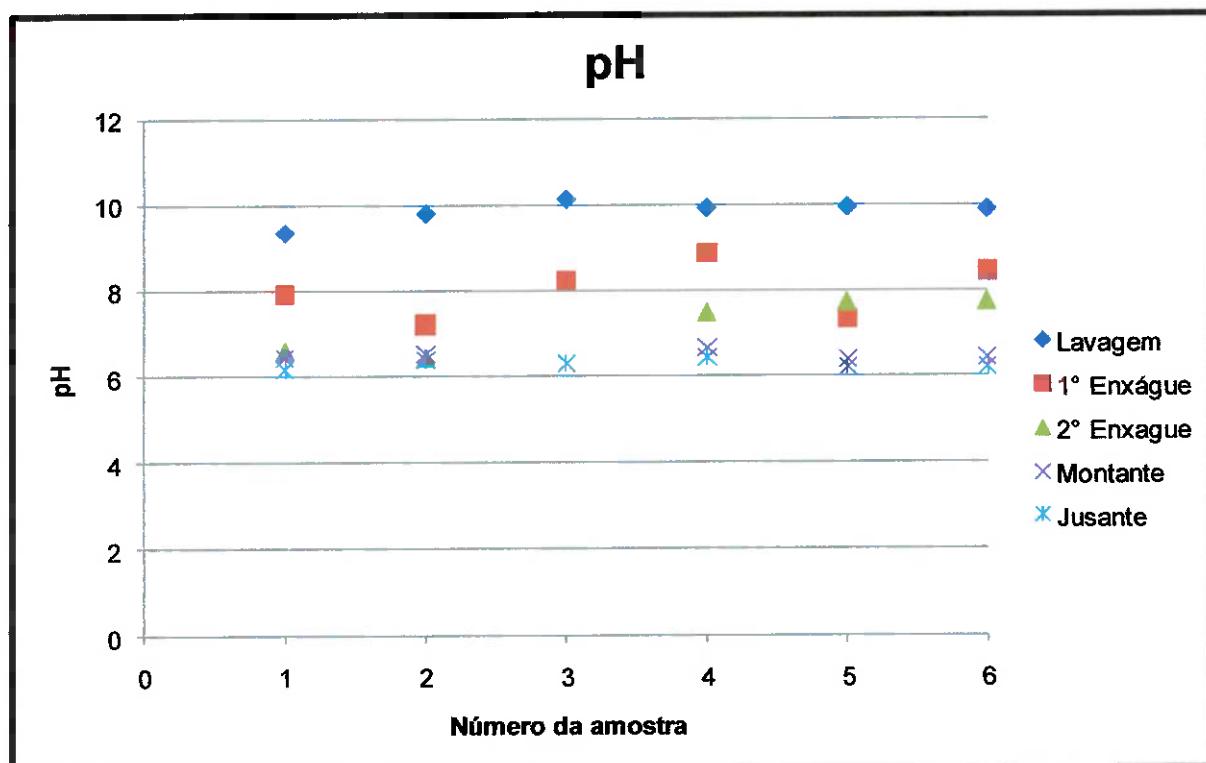
**Figura 27: Gráfico com os resultados das análises de pH.**

Tabela 36: Resultados das análises de COT.

Análise	COT						Máximo	Mínimo	Média
	1	2	3	4	5	6			
Data da coleta	10/fev	17/fev	22/fev	15/mar	05/abr	14/abr			
Lavagem	-	24,26	31,73	17,36	104,60	36,40	104,60	17,36	42,87
1º Enxágue	-	28,37	13,52	20,01	24,72	21,85	28,37	13,52	21,69
2º Enxague	-	3,54	-	27,68	20,90	11,05	27,68	3,54	15,79
Montante	-	4,89	6,03	4,18	3,24	3,75	6,03	3,25	4,42
Jusante	-	5,46	8,28	3,47	7,83	4,26	8,28	3,47	5,86

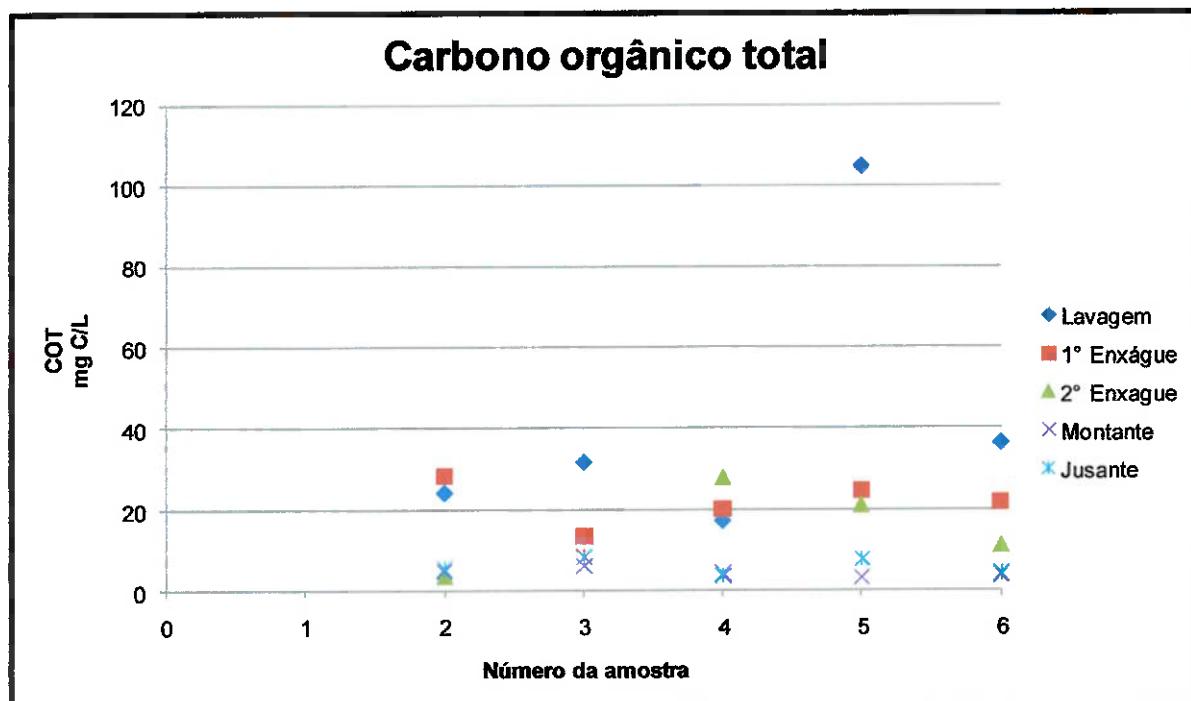
**Figura 28: Gráfico com os resultados das análises de COT.**

Tabela 37: Resultados das análises de DQO.

Análise	DQO						Máximo	Mínimo	Média
	1	2	3	4	5	6			
Data da coleta	10/fev	17/fev	22/fev	15/mar	05/abr	14/abr			
Lavagem	2500	-	2200	1100	3500	1933	3500	1100	2247
1º Enxágue	264	-	200	240	316	250	316	200	254
2º Enxague	220	-	-	400	240	204	400	204	266
Montante	-	-	-	68	12	16,8	68	12	32
Jusante	-	-	-	20	30,8	17,6	31	18	23

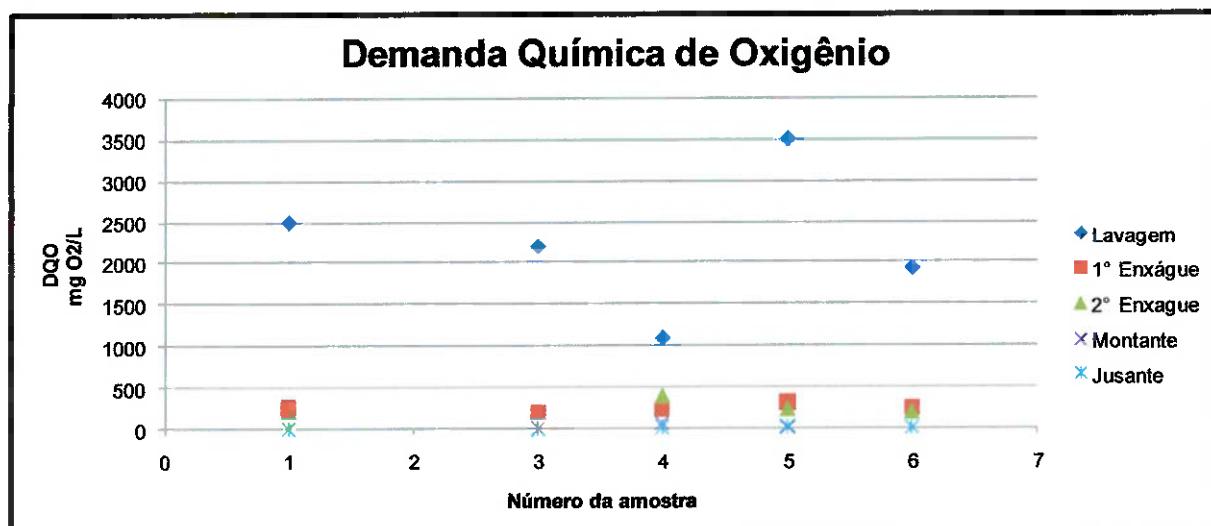
**Figura 29: Gráfico com os resultados das análises de DQO.**

Tabela 38: Resultados das análises de DBO.

Análise	DBO						Máximo	Mínimo	Média
	1	2	3	4	5	6			
Data da coleta	10/fev	17/fev	22/fev	15/mar	05/abr	14/abr			
Lavagem	414	-	647	250	944	-	944	250	564
1º Enxágue	63	-	73	41	50	-	73	41	57
2º Enxágue	56	-	-	73	70	-	73	56	66
Montante	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Jusante	-	-	-	-	-	-	-	-	-

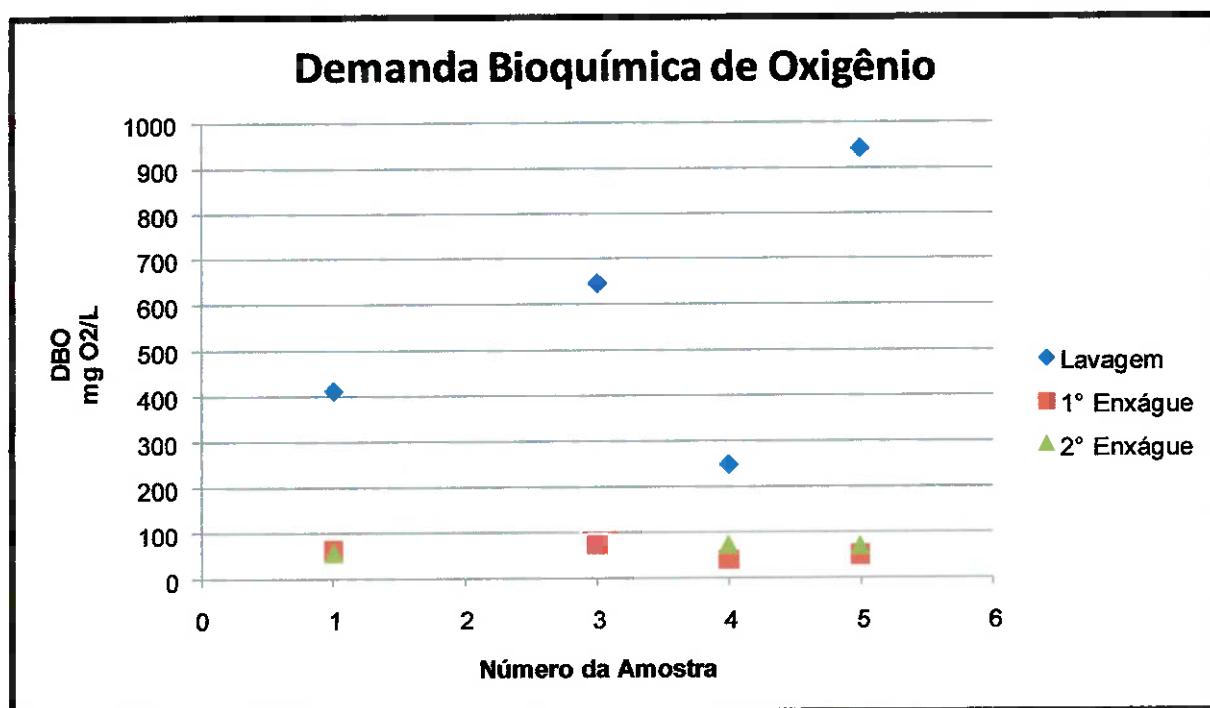
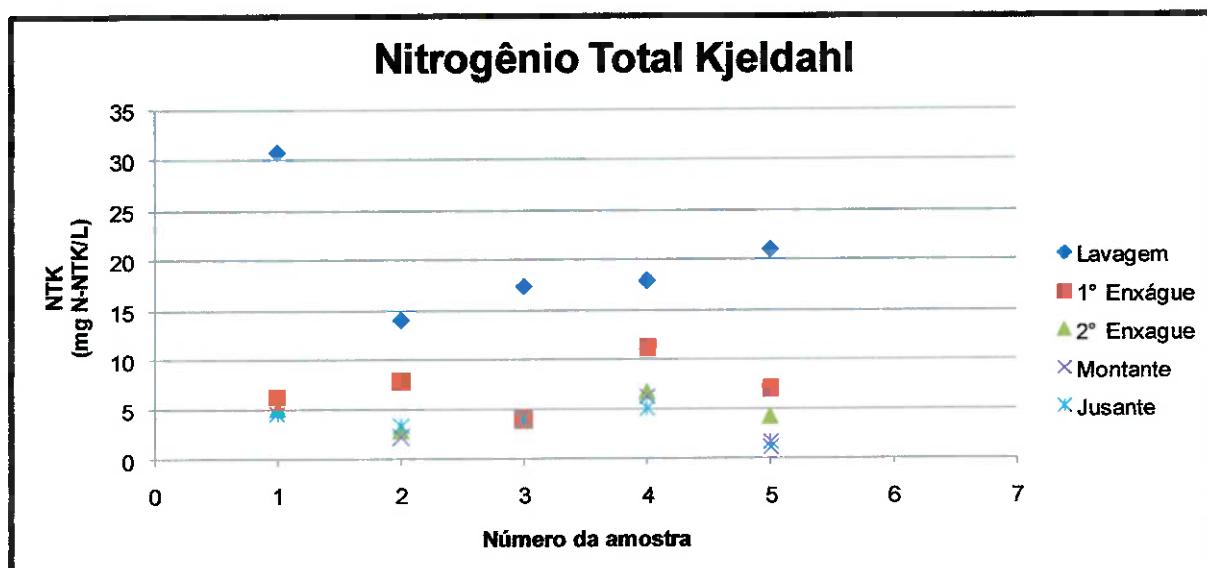
**Figura 30: Gráfico com os resultados das análises de DBO.**

Tabela 39: Resultados das análises de NTK.

Análise	NTK						Máximo	Mínimo	Média
	1	2	3	4	5	6			
Data da coleta	10/fev	17/fev	22/fev	15/mar	05/abr	14/abr			
Lavagem	30,8	14	17,4	17,9	21	-	30,8	14,0	20,2
1º Enxágue	6,16	7,84	3,9	11,2	7	-	11,2	3,9	7,2
2º Enxague	5,04	2,8	-	6,7	4,2	-	6,7	2,8	4,7
Montante	4,48	2,24	3,9	6,2	1,12	-	6,2	1,1	3,6
Jusante	4,48	3,36	3,9	5,0	1,68	-	5,0	1,7	3,7

**Figura 31: Gráfico com os resultados das análises de NTK.****Tabela 40: Resultados para análise de N amoniacal e cálculo de N orgânico.**

Análise	N amoniacal		N orgânico (NTK - N amoniacal)	
	mg N-NH3/L	2	mg N-Norg/L	2
Data da coleta	17/fev		17/fev	
Lavagem	5,0		9,0	
1º Enxágue	0,0		7,8	
2º Enxague	0,0		2,8	
Montante	1,7		0,6	
Jusante	1,4		2,0	

Tabela 41: Resultados das análises de Fósforo total.

Análise	Fósforo total						Máximo	Mínimo	Média		
	Concentração (mg/L)										
Data da coleta	1 10/fev	2 17/fev	3 22/fev	4 15/mar	5 05/abr	6 14/abr					
Lavagem	-	-	2,51	-	0,94	0,65	2,51	0,65	1,37		
1º Enxágue	-	-	0,10	-	0,31	0,34	0,34	0,10	0,25		
2º Enxágue	-	-	-	-	0,23	0,19	0,23	0,19	0,21		
Montante	-	-	0,03	-	0,30	0,28	0,30	0,03	0,20		
Jusante	-	-	0,01	-	0,20	0,43	0,43	0,01	0,21		

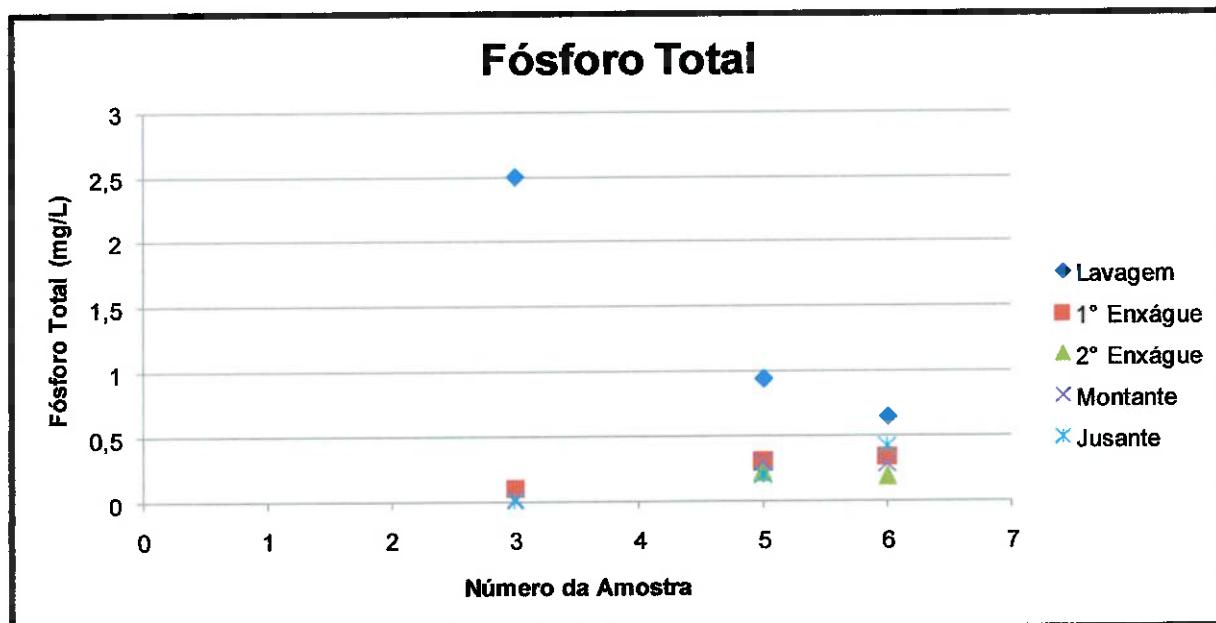
**Figura 32: Gráfico com os resultados das análises de Fósforo total.**

Tabela 42: Resultados das análises de Ortofosfato.

Análise	Ortofosfato						Máximo	Mínimo	Média
	1	2	3	4	5	6			
Data da coleta	10/fev	17/fev	22/fev	15/mar	05/abr	14/abr			
Lavagem	-	1,31	-	0,16	0,55	0,14	1,31	0,14	0,54
1° Enxágue	-	0,24	0,0	0,02	0,16	0,10	0,24	0,0	0,10
2° Enxague	-	0,01	-	0,11	0,09	0,07	0,11	0,01	0,07
Montante	-	0,04	0,02	0,01	0,05	0,08	0,08	0,01	0,05
Jusante	-	0,04	0,03	0,01	0,05	0,07	0,07	0,01	0,04

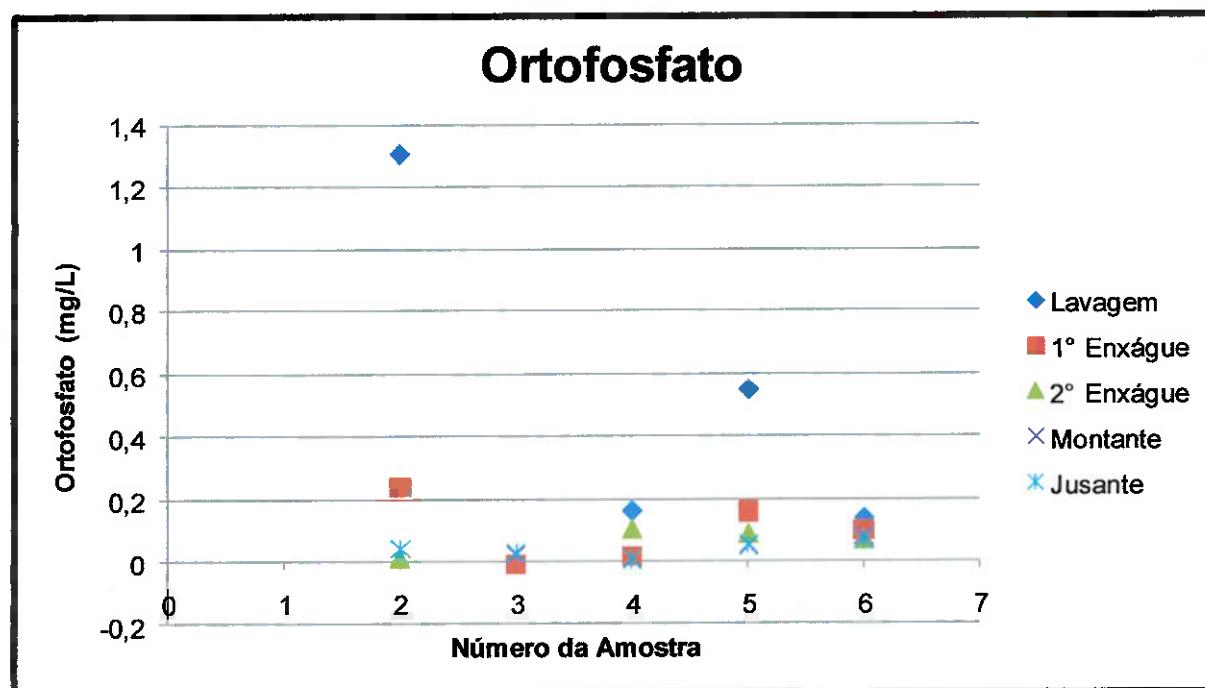
**Figura 33: Gráfico com os resultados das análises de Ortofosfato.**

Tabela 43: Resultados das análises de Coliformes totais.

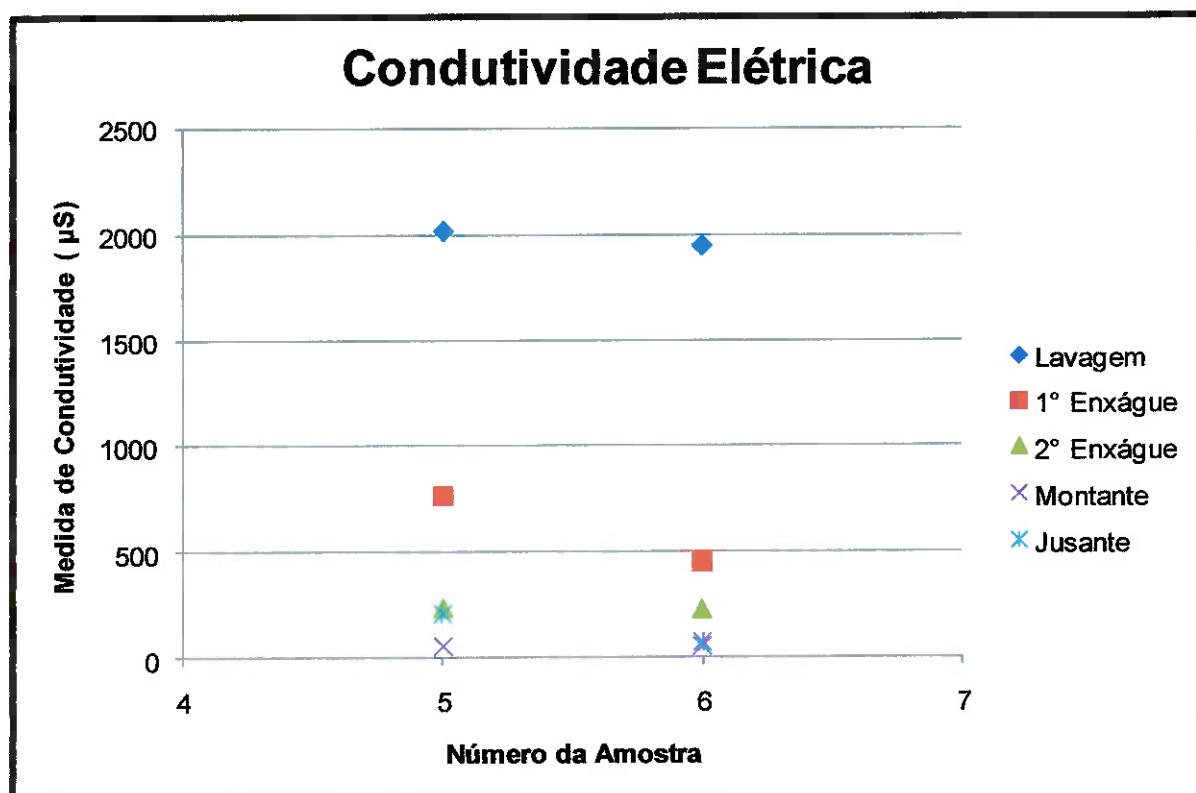
Análise	Coliformes totais						14/abr	Média		
	UFC/100mL									
	1	2	3	4	5	6				
Data da coleta	10/fev	17/fev	22/fev	15/mar	05/abr					
Lavagem	$6,6 \times 10^2$	-	< 10	>10 ³	-	100 X 1	>10 ³ >10 ³	>10 ³		
1º Enxágue	>10 ³	-	>10 ³	>10 ³	-	10 X 1	0,0 0,0	0,0		
2º Enxague	>10 ³	-	-	0,0	-	10 X 1	6,3 x 10 ² 71,7	2,3 x 10 ²		
Montante	>10 ³	-	>10 ³	>10 ³	-	10 X 1	>10 ³ >10 ³	>10 ³		
Jusante	>10 ³	-	>10 ³	>10 ³	-	10 X 1	>10 ³ >10 ³	$1,41 \times 10^5$ $1,4 \times 10^5$		

Tabela 44: Resultados das análises de E. Coli.

Análise	E.Coli						Diluição	Resultado	Média
	1	2	3	4	5	6			
Data da coleta	10/fev	17/fev	22/fev	15/mar	05/abr	14/abr			
Lavagem	16,0	-	< 10	>10 ³	-	100 X 1	5,2 x 10 ² 3,3 x 10 ²	3,8 x 10 ²	
1° Enxágue	11,0	-	4,3 x10 ²	40,0	-	10 X 1	0,0 0,0	0,0	
2° Enxague	6,6 x10 ²	-	-	< 100	-	10 X 1	10,0 2,0	4,0	
Montante	7,9 x10 ²	-	>10 ³	>10 ³	-	10 X 1	2,4 x 10 ⁴ >10 ³	2,2 x 10 ⁴	
Jusante	>10 ³	-	>10 ³	>10 ³	-	10 X 1	1,7 x 10 ⁴ >10 ³	3,0 x 10 ⁴	

Tabela 45: Resultados das análises de Condutividade Elétrica.

Análise	Condutividade Elétrica		
	5	6	μS/cm
Data da coleta	05/abr	14/abr	Média
Lavagem	2020	1952	1986
1º Enxágue	767	456	611,5
2º Enxague	236	227	231,5
Montante	58,1	56,5	57,3
Jusante	209	76,4	142,7

**Figura 34. Gráfico com os resultados das análises de Condutividade Elétrica.**

8.2 Tabelas da norma da ABNT NBR 7229/1993 para dimensionamento de tanques sépticos

A seguir estão apresentadas as tabelas presentes na norma da ABNT NBR 7229/93 que foram utilizadas no dimensionamento do Tanque Séptico deste estudo.

Tabela 46. Profundidade útil mínima e máxima, por faixa de volume útil.

Volume útil (m ³)	Profundidade útil mínima (m)	Profundidade útil máxima (m)
Até 6,0	1,20	2,20
De 6,0 a 10,0	1,50	2,50
Mais que 10,0	1,80	2,80

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) – NBR 7.229/93

Tabela 47. Contribuição diária de esgoto (C) e de lodo fresco (L_f) por tipo de prédio e de ocupante.

Prédio	Unidade	Contribuição de esgotos (C) e lodo fresco (L _f)		Unid.: L
1. Ocupantes permanentes				
- residência				
padrão alto	pessoa	160		1
padrão médio	pessoa	130		1
padrão baixo	pessoa	100		1
- hotel (exceto lavanderia e cozinha)	pessoa	100		1
- alojamento provisório	pessoa	80		1
2. Ocupantes temporários				
- fábrica em geral	pessoa	70	0,30	
- escritório	pessoa	50	0,20	
- edifícios públicos ou comerciais	pessoa	50	0,20	
- escolas (externatos) e locais de longa permanência	pessoa	50	0,20	
- bares	pessoa	6	0,10	
- restaurantes e similares	refeição	25	0,10	
- cinemas, teatros e locais de curta permanência				
- sanitários públicos ¹⁴	lugar	2	0,02	
	bacia sanitária	480	4,0	

¹⁴Apenas de acesso aberto ao público (estação rodoviária, ferroviária, logradouro público, estádio esportivo, etc.).

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) – NBR 7.229/93

Tabela 48. Período de detenção dos despejos, por faixa de contribuição diária.

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

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) – NBR 7.229/93

Tabela 49. Taxa de contribuição total de lodo (K), em dias, por intervalo entre limpezas e temperatura do mês mais frio.

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

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) – NBR 7.229/93

8.3 Tabela para dimensionamento de wetland

Tabela 50. Tabela extraída de modelo para dimensionamento de wetland.

Treatment Wetland Design Model						
Project Name	Wetland Abrigo Cotia					
Project Number						
User inputs indicated by white boxes.						
Pop-up notes indicated by red triangles.						
Reference: Kadlec, R.H., and R.L. Knight. 1996. Treatment Wetlands. Boca Raton: CRC Press, Inc.						
General Project Data						
Parameter	Value	Units				
Annual Average Daily Flow	0,7	m ³ /d	<input type="button" value="▼"/>			
Converted Flow	1	m ³ /d	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>		
Wastewater Temperature	20	°C	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	(Check One)	
Water Quality Characteristics						
Parameter	BOD	TSS	Organic N	NH ₄ -N	NO ₂ /N	TN
Influent Concentration, mg/l	100	100	7	1,7	3,3	12
Target Effluent Conc., mg/l	30	50	3,0	1,0	1,00	5,0
Max Month/Annual Factor	1,7	1,9	1,8	2,5	2,5	1,6
Design Target Conc., mg/L	17,6	26,3	1,7	0,4	0,4	3,1
Wetland Background Limit, mg/l	8,8	21,1	1,5	0	0	1,5
Reduction fraction to target	0,700	0,500	0,538	0,412	0,697	0,583
Reduction fraction to background	F _e = 1 - C _e /C _i = 0,912	F _b = 1 - C [*] /C _i = 0,789	0,769	1,000	1,000	0,875
Areal Rate Constant, 20°C, m/y	k ₂₀ = 34	Areal Rate Constant, m/y	1000	17	18	35
Temperature Factor	θ = 1,00	θ = 1,065	1,05	1,04	1,09	1,05
Areal Rate Constant, m/y	k _T = 34	Areal Rate Constant, m/y	1000	17	18	35

