

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE UMA UNIDADE EM
ESCALA REAL PARA TRATAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL
EMPREGANDO A FILTRAÇÃO RÁPIDA POR MEIO DE FILTRO
DE PRESSÃO E AMIDO NATURAL DE MILHO COMO
COAGULANTE PRIMÁRIO**

MARCELA FERREIRA MURAKAMI

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana.

Orientação: Prof. Dr. Rodrigo Braga Moruzzi

São Carlos
2011

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

M972ad

Murakami, Marcela Ferreira.

Avaliação do desempenho de uma unidade em escala real para tratamento de água pluvial empregando a filtração rápida por meio de filtro de pressão e amido natural de milho como coagulante primário / Marcela Ferreira Murakami. -- São Carlos : UFSCar, 2011.

81 f.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2010.

1. Águas pluviais. 2. Aproveitamento de água pluvial. 3. Economia. 4. Filtração da água. 5. Água – captação. I. Título.

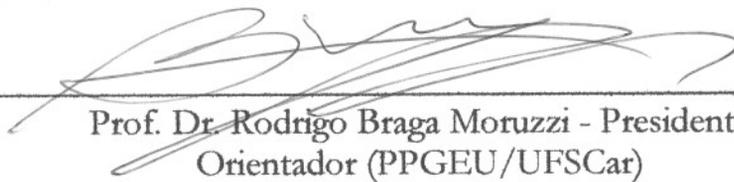
CDD: 628.1 (20^a)



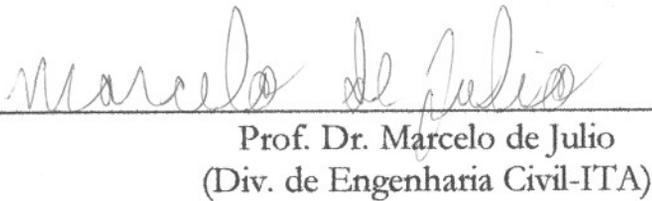
FOLHA DE APROVAÇÃO

MARCELA FERREIRA MURAKAMI

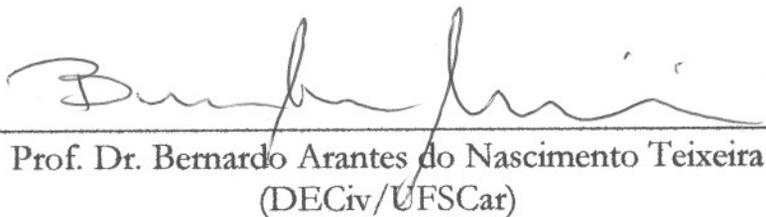
Dissertação defendida e aprovada em 23/08/2010
pela Comissão Julgadora



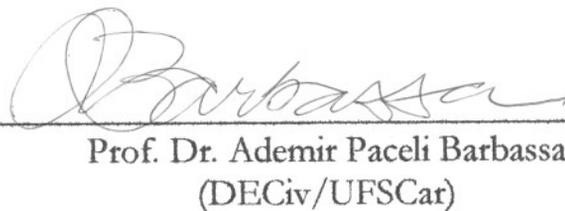
Prof. Dr. Rodrigo Braga Moruzzi - Presidente
Orientador (PPGEU/UFSCar)



Prof. Dr. Marcelo de Julio
(Div. de Engenharia Civil-ITA)



Prof. Dr. Bernardo Arantes do Nascimento Teixeira
(DECiv/UFSCar)



Prof. Dr. Ademir Paceli Barbassa
(DECiv/UFSCar)



Prof. Dr. Ricardo Siloto da Silva
Presidente da CPGEU

Para meu pai,
Por meu filho.

AGRADECIMENTOS

Durante o período de elaboração e execução desse trabalho muita coisa aconteceu. Desabamento literal (sim, a estação desabou!), desabamento pessoal. Concluir esse mestrado significa, para mim, muito mais do que adquirir um título. Significa superação. Por isso, peço licença para poder agradecer do meu jeito, incluindo todos que me auxiliaram nesse tempo, não só profissionalmente, mas pessoalmente também.

Agradeço primeiramente a Deus, por ajudar-me somente quando para meu bem e não quando por minha vontade. Embora por vezes minha fé se abale, sei que é assim que tem que ser.

Agradeço à minha mãe, por ajudar-me na criação de meu filho, e ao meu pai, por ser tão forte, mesmo diante de uma doença tão repentina, cruel e sem explicação. Cresci mais nesses dois anos do que nos outros vinte e tantos de minha vida!

Agradeço à minha irmã Márcia e ao meu cunhado Rodrigo. Vocês foram a mãozinha essencial em muitos momentos. Obrigada por amarem tanto o meu menino! Marcos e Lara, também, obrigada. Vó, um beijo! Nina, que saudade!!

Um agradecimento especial à dona Sonia, ex-sogra, mas eterna segunda mãe. Sua ajuda com o Vinícius foi importantíssima para que as vinte e quatro horas do dia fossem (quase sempre) suficientes. Meninas-Máira também: Cássia, Carina, Carô e Camila: muito obrigada!

Agradeço a todo apoio, incentivo e dedicação de meu orientador, Prof. Dr. Rodrigo Braga Moruzzi. Seu profissionalismo é admirável e inspirador.

Agradeço, também, ao meu coorientador, prof. Dr. Ademir Pacelli Barbassa, pela orientação no início do projeto e auxílio no desenvolvimento do estudo.

Agradeço a ajuda do professor Dr. Bernardo Teixeira, cujas observações contribuíram para o desenvolvimento dessa dissertação. Agradeço ao professor Dr. Marcelo de Julio, por aceitar ser parte da banca examinadora e contribuir para a melhoria deste trabalho.

Agradeço ao diretor do CEA da UNESP de Rio Claro, Dr. Roberto Naves Domingos, pelo apoio técnico e material. Obrigada Fran e Eleni, por ajudarem-me sempre que necessitei. Meu agradecimento ao CEAPLA da UNESP, também, pelo material cedido.

Agradeço ao PPGEU e a CAPES, pela oportunidade de realizar esse mestrado. Aos alunos de minha turma, pelo alto astral contagiante e às amigas de sala, Poli e Karla. Sucesso para vocês!

Meu "muito obrigada" à amiga Josy, pelos anos de cumplicidade, agora renascidos com o contato quase que diário. Um agradecimento especial às minhas queridas amigas do quarteto: Lari, Natasha e Thaís. A terapia virtual foi essencial rs. Amo vocês!

Agradeço a meu amigo superMarco... Você é um querido! Obrigada Simone, Lu e Érica. Não me esquecerei de vocês nunca. Warlen e tio Zé, queridos. Vocês são especiais.

Obrigada aos meus colegas de trabalho do IBGE. Acredito que parte desse entusiasmo que sinto é devido à equipe que tenho comigo.

Por fim, agradeço a meu filho Vinícius, por ele entender tão bem quando não era possível eu estar com ele... Acredite que é por você, meu lindo, que eu busco crescer mais e mais, dia a dia.

"A vida é muito curta para ser pequena."
(Benjamin Disraeli)

RESUMO

O presente trabalho objetivou investigar o desempenho de um sistema experimental de tratamento de água pluvial visando uso não potável, prescindindo o descarte da primeira chuva na expectativa de controlar a qualidade da água pluvial captada e minimizar o volume descartado. Para tal, utilizou-se uma estação de captação e tratamento de águas pluviais após passagem por telhado construída em escala real. Foram realizados ensaios de filtração direta com emprego de filtro de pressão e aplicação de solução de amido natural de milho como coagulante primário. Para avaliação do desempenho do sistema, foram analisadas a eficiência na remoção de impurezas ao longo das carreiras de filtração e a produção efetiva do sistema. Os resultados obtidos indicaram que com o emprego do sistema foi possível reduzir o descarte da primeira chuva, embora não tenha adequado plenamente as precipitações estudadas ao padrão de qualidade preconizado pela NBR 15527/07, sugerindo a necessidade da continuidade dos trabalhos. O tratamento investigado possibilitou redução no valor de descarte da primeira chuva equivalente a 1,7 L (ou 85%) por metro quadrado de área de captação. Em termos de residuais de cor aparente e turbidez, as reduções médias obtidas foram de 30 e 54%, respectivamente. Adicionalmente, comparando-se o custo de operação do sistema de tratamento empregado com a tarifa de água tratada cobrada pela concessionária local, obteve-se uma economia equivalente a, aproximadamente, R\$ 0,99/m³ (ou 90%). Por fim, foram discutidas alternativas para melhoria do sistema experimental investigado.

Palavras-chave: água pluvial · captação · tratamento · aproveitamento · economia

ABSTRACT

This study aimed to investigate the performance of an experimental rainwater treatment system for non-potable uses without the first-flush discharge, thus intending to control the quality of captured rainwater and to minimize the rainwater by-pass caused by the first-flush strategy. A full-scale direct filtration unit was operated and a solution of natural corn starch was used as the primary coagulant. The color, turbidity e coliform efficiencies of the unit was analyzed based on filtration loads and the net water production was estimated. The results indicated that the system was able to reduce the discharge of the first rain batch, although it was not fully adequate in terms of removal efficiency, suggesting that more studies are needed. The reduction of volume was equivalent to 1.7 mm in absolute terms (or 85%). The apparent color and turbidity removal was around 30 and 54% average, respectively. Additionally, the rainwater production cost for harvesting was R\$ 0,99/m³ (or 90%) cheaper than the drinking water public source.

Keywords: rainwater · catchment · treatment · utilization · economy

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.	Esquema simplificado dos principais constituintes de um sistema de aproveitamento de águas pluviais.....	22
FIGURA 2.	Separador de grosseiros utilizado em sistemas de aproveitamento de águas pluviais.....	23
FIGURA 3.	Exemplos de reservatórios de descarte.....	24
FIGURA 4.	Dispositivo de descarte da água de lavagem do telhado utilizado na Austrália.....	24
FIGURA 5.	Ilustração do processo de coagulação e floculação.....	29
FIGURA 6.	Tipos de glucose presentes na estrutura molecular do amido.....	32
FIGURA 7.	Evolução dos grânulos de amido de milho durante aquecimento de solução a 5% a, respectivamente, 30° C, 70° C e 90° C.....	33
FIGURA 8.	Média das chuvas mensais do município de Rio Claro nos anos entre 1937 e 2003.....	34
FIGURA 9.	(A) Imagem de satellite do CEA da UNESP de Rio Claro-SP. (B) Fotografia do desnível existente entre o anfiteatro do CEA e o local de instalação da estação. (C) Fotografia da área escavada para montagem e instalação da estação experimental de captação e tratamento de águas pluviais.....	35
FIGURA 10.	Esquema simplificado dos componentes da estação experimental de captação e armazenamento de águas pluviais utilizado no desenvolvimento do presente estudo. Sem escala.....	36
FIGURA 11.	Caixa de passagem (A), de desvio (B) e gradeada (C) utilizadas.....	38
FIGURA 12.	Fotografia dos reservatórios utilizados na estação experimental de captação e tratamento de águas pluviais. À esquerda, reservatório utilizado para acumulação temporária da água pluvial coletada (Reservatório de Acumulação). À direita, reservatório utilizado para o armazenamento da água pluvial já tratada (Reservatório de Armazenamento).....	38
FIGURA 13.	Fotografia das bombas utilizadas na estação experimental de captação e tratamento de águas pluviais. À esquerda, Bomba 1, utilizada para homogeneização da água pluvial contida no Reservatório de Acumulação. À direita, Bomba 2, utilizada para encaminhamento da água pluvial até o filtro de pressão.....	39

FIGURA 14.	Fotografia do filtro de pressão utilizado no presente estudo.....	39
FIGURA 15.	Ensaio granulométrico realizado no Laboratório de Mecânica dos Solos da UFSCar para caracterização do meio filtrante utilizado no trabalho. Em (A), amostra do meio filtrante. Em (B), peneirador utilizado. Em (C), pesagem da amostra.....	40
FIGURA 16.	Fotografia da caixa de limpeza utilizada na estação experimental de captação e tratamento de águas pluviais.....	40
FIGURA 17.	Esquema simplificado do sistema de desvio utilizado no presentes estudo. Sem escala.....	41
FIGURA 18.	Processo de homogeneização da água pluvial antes da etapa de tratamento. Sem escala.....	43
FIGURA 19.	Esquema simplificado da etapa de filtração da água pluvial contida no Reservatório de Acumulação e da retirada de amostras de água pluvial filtrada. Sem escala.....	43
FIGURA 20.	À esquerda, esquema dos componentes do Jartest. À direita, fotografia do equipamento utilizado.....	44
FIGURA 21.	Volumes adicionados aos dosadores e correspondentes concentrações de solução de amido natural de milho. Sem escala.....	44
FIGURA 22.	Filtração em laboratório. À esquerda, conjunto béquer-funil-papel filtro. À direita, detalhe do papel filtro dobrado.....	45
FIGURA 23.	Esquema simplificado da etapa de limpeza do filtro de pressão utilizado no presente estudo. Sem escala.....	47
FIGURA 24.	Curva granulométrica do meio filtrante utilizado no presente estudo.....	50
FIGURA 25.	Cor aparente e turbidez das precipitações brutas estudadas.....	52
FIGURA 26.	Relação entre turbidez e cor aparente das precipitações estudadas com ajuste linear.....	52
FIGURA 27.	Cor aparente obtida nas amostras coletadas durante os ensaios de filtração, nas dezoito precipitações estudadas.....	55
FIGURA 28.	Turbidez obtida nas amostras coletadas durante os ensaios de filtração, nas dezoito precipitações estudadas.....	55
FIGURA 29.	Comparação entre as médias obtidas em cada tempo de filtração para os parâmetros cor aparente e turbidez.....	56
FIGURA 30.	Resultados de variação de cor aparente nos ensaios de filtração em escala plena.....	58

FIGURA 31.	Resultados de variação de turbidez nos ensaios de filtração em escala plena.....	58
FIGURA 32.	Concentração de coliformes totais antes e após a etapa de filtração.....	59
FIGURA 33.	Concentração de <i>E. coli</i> antes e após a etapa de filtração.....	60
FIGURA 34.	Variação da cor aparente durante a etapa de lavagem do filtro de pressão.....	62
FIGURA 35.	Variação da turbidez durante a etapa de lavagem do filtro de pressão....	62
FIGURA 36.	Cor aparente e turbidez durante a etapa de limpeza do filtro de pressão.	63

LISTA DE TABELAS

TABELA 1.	Parâmetros de qualidade de águas pluviais para usos não potáveis segundo a NBR 15527/07.....	27
TABELA 2.	Média dos resultados obtidos por Bastos (2007) e May (2009) no tratamento de águas pluviais.....	31
TABELA 3.	Parâmetros físico-químicos e microbiológicos analisados nas amostras de água pluvial antes e após a filtração em escala real.....	47
TABELA 4.	Resultado do ensaio granulométrico do meio filtrante.....	50
TABELA 5.	Principais características das precipitações captadas e tratadas no presente estudo.....	51
TABELA 6.	Variação da cor aparente durante os ensaios de filtração em escala real.....	54
TABELA 7.	Variação da turbidez durante os ensaios de filtração em escala real...	54
TABELA 8.	Resultados obtidos em escala real para o parâmetro cor aparente.....	57
TABELA 9.	Resultados obtidos em escala real para o parâmetro turbidez.....	57
TABELA 10.	Concentração de coliformes totais nas amostras de água pluvial antes e após a filtração em escala real.....	59
TABELA 11.	Concentração de <i>E. coli</i> nas amostras de água pluvial antes e após a filtração em escala real.....	60
TABELA 12.	Variação da cor aparente durante a etapa de lavagem do filtro de pressão.....	61
TABELA 13.	Variação da turbidez durante a etapa de lavagem do filtro de pressão.....	62
TABELA 14.	Produção efetiva do sistema.....	64

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional das Águas
CEA	Centro de Estudos Ambientais
CEAPLA	Centro de Análise e Planejamento
EUA	Estados Unidos da América
FEENA	Floresta Estadual Edmundo Navarro de Andrade
pH	Potencial hidrogeniônico
SIGRH	Sistemas de Informações para o Gerenciamento de Recursos Hídricos
UFSCar	Universidade Federal de São Carlos
UNESP	Universidade Estadual de São Paulo
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas
USP	Universidade de São Paulo
UV	Ultravioleta

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	15
2 OBJETIVOS.....	17
2.1 OBJETIVO PRINCIPAL.....	17
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
3.1 A ESCASSEZ HÍDRICA E A BUSCA DE FONTES ALTERNATIVAS.....	18
3.2 O APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS.....	20
3.3 SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS.....	22
3.4 A QUALIDADE DA ÁGUA PLUVIAL E A IMPORTÂNCIA DE SEU TRATAMENTO.....	25
3.5 TRATAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS.....	28
3.6 AMIDO NATURAL DE MILHO COMO AUXILIAR DE TRATAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS.....	32
4 MATERIAL DE MÉTODOS.....	34
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	34
4.2 ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DE CAPTAÇÃO E TRATAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS – CONSTITUINTES.....	36
4.2.1 Superfícies de captação.....	36
4.2.2 Calhas coletoras e condutores verticais e horizontais.....	37
4.2.3 Caixas de passagem, caixa de desvio e caixa gradeada.....	37
4.2.4 Reservatórios.....	38
4.2.5 Bombas.....	39
4.2.6 Filtro de pressão.....	39
4.2.7 Caixa de limpeza.....	40
4.3 ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DE CAPTAÇÃO E TRATAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS – ENSAIOS.....	41
4.3.1 Etapa de captação.....	41
4.3.2 Etapa de tratamento.....	42
4.3.2.1 <i>Ensaio laboratoriais.....</i>	43
4.3.2.2 <i>Preparo das soluções de amido natural de milho.....</i>	45
4.3.3 Etapa da limpeza do filtro de pressão.....	46
4.4 CARACTERIZAÇÕES FÍSICO-QUÍMICAS E MICROBIOLÓGICAS.....	47
4.5 CÁLCULO DA PRODUÇÃO EFETIVA E CUSTO DE OPERAÇÃO DO SISTEMA.....	48

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	50
5.1 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DO MEIO FILTRANTE.....	50
5.2 ANÁLISE DAS PRECIPITAÇÕES COLETADAS.....	51
5.3 ENSAIOS NA ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DE CAPTAÇÃO E TRATAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS.....	53
5.3.1 Amostras coletadas durante a filtração em escala real.....	53
5.3.2 Amostras coletadas antes e após a filtração em escala real.....	56
5.3.3 Amostras coletadas durante a etapa de limpeza do filtro de pressão.....	61
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	67
7 CONCLUSÃO.....	69

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APÊNDICE A

APÊNDICE B

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Manchetes envolvendo a temática hídrica fazem-se cada vez mais presentes nos noticiários, em âmbito nacional e internacional. Antagônicos, os problemas de escassez e inundações muitas vezes atingem uma mesma localidade, constituindo-se uma das grandes contradições do paradigma de desenvolvimento das cidades.

Nesse contexto, a busca de fontes alternativas de abastecimento apresenta-se como foco de discussões políticas e científicas, sendo o reúso e o aproveitamento exemplos de opções para ampliação da oferta hídrica.

No Brasil, várias são as cidades e estados que possuem legislação referente às águas pluviais. Algumas leis instituem somente a retenção, mas parte delas engloba, também, o aproveitamento em fins não potáveis. Em Curitiba, por exemplo, a Lei Municipal nº 10795 de 18 de setembro de 2003 institui medidas para captação de água pluvial nas novas edificações, para utilização em atividades que não requeiram o uso de água tratada como, por exemplo: rega de jardins e hortas, lavagem de veículos, vidros, calçadas e pisos. Já no estado de São Paulo, a implantação de sistemas para captação e retenção de águas pluviais coletadas por telhados, coberturas, terraços e pavimentos descobertos, em lotes edificadas ou não, com área impermeabilizada superior a 500 m², tornou-se obrigatória desde janeiro de 2007, por meio da Lei Estadual nº 12.526.

Em termos normativos, em março de 2008 passou a vigorar, em todo Brasil, a norma NBR 15527/07. Elaborada pela Associação Brasileira de Normas Técnica (ABNT) e intitulada: “Água de Chuva - Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos”, a norma traz recomendações que devem ser seguidas por todos os projetos que tenham como escopo o aproveitamento de águas pluviais escoadas em coberturas, em áreas urbanas, para fins não potáveis.

A literatura científica recebe, a cada ano, contribuições com pesquisas abordando o aproveitamento de águas pluviais e temáticas relacionadas. Uma busca rápida realizada em alguns bancos de artigos e teses (Scirus, Scielo, *Google Scholar*, bibliotecas da USP, UNESP e UNICAMP), em agosto de 2009, indicou crescimento de publicações nessa temática, demonstrando a relevância do assunto. Antes do ano de 1980, o número de documentos encontrados relacionados à temática “aproveitamento de águas pluviais” foi inferior a cinco. Entre 1980 e 1989, cerca de 20. Nos anos seguintes, entre 1990 e 1999, o número de resultados encontrados subiu para 26, chegando a 104 entre os anos de 2000 e 2009. Embora o interesse

pelo assunto seja crescente, poucos são os trabalhos que discutem o tratamento de águas pluviais para aproveitamento, sendo esse fato o maior incentivo para a realização do presente trabalho.

Na busca de fontes alternativas de abastecimento, o aproveitamento de águas pluviais surge com prática potencialmente capaz de suprir a demanda hídrica de usos menos nobres e, assim, liberar a água de melhor qualidade para usos que assim a necessitam. Indiretamente, a acumulação de águas pluviais pode ocasionar, em determinadas situações, uma melhor distribuição da carga imposta aos sistemas de drenagem urbana, prevenindo picos de enchentes e inundações.

Os sistemas de aproveitamento de águas pluviais baseiam-se na coleta das precipitações escoadas sobre áreas impermeáveis e no armazenamento dessas águas em reservatórios de acumulação, para uso imediato ou ao longo do tempo. Dependendo da tipologia, da relação entre a oferta e a demanda e do princípio norteador de cálculos dos reservatórios, a acumulação pode perdurar por todo o período de estiagem.

Embora na grande maioria dos casos o aproveitamento de águas pluviais não objetive fins potáveis, a qualidade das águas armazenadas não deve ser desconsiderada, pois a mesma pode acarretar danos aos constituintes do sistema de aproveitamento, como corrosão ou formação de incrustações, além de trazer risco à saúde dos usuários do sistema.

O descarte inicial da primeira chuva (*first flush*) é uma prática comumente empregada em casos de reservamento de águas pluviais e consiste na abstração dos milímetros iniciais (primeira chuva) antes da acumulação. Porém, dependendo da área de captação e dos milímetros que são estipulados para o descarte (a NBR 15527/07 preconiza entre 0,4 e 8,5 mm), grandes volumes de água deixam de ser captados e, conseqüentemente, aproveitados. Ademais, a variação temporal das chuvas, suas intensidades, a composição atmosférica, regime de ventos, etc. incorrem em grande variação da qualidade da chuva captada, tornando imprecisa a definição de valores adequados de descarte.

Assim, o presente estudo buscou investigar o desempenho de um sistema de tratamento prescindido do descarte da primeira chuva, na expectativa de controlar a qualidade da água pluvial captada e minimizar o volume descartado.

Para tal objetivo, utilizou-se uma estação experimental de captação e tratamento de águas pluviais após passagem por telhado, construída em escala real no município de Rio Claro-SP. Foram realizados ensaios de filtração direta com emprego de filtro de pressão e aplicação de solução de amido natural de milho como coagulante primário. Para avaliação do desempenho do sistema, foram analisadas a eficiência na remoção de impurezas ao longo das carreiras de filtração e a produtividade efetiva do sistema.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO PRINCIPAL

O presente trabalho teve como objetivo principal avaliar o desempenho de uma unidade de tratamento de água pluvial em escala real utilizando a filtração rápida por meio de filtro de pressão e amido natural de milho como coagulante primário.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Foram objetivos específicos do presente trabalho: (i) investigar o desempenho da unidade de tratamento para diferentes precipitações; (ii) investigar o tempo de lavagem do filtro utilizado; e (iii) calcular a produção efetiva do sistema.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 A ESCASSEZ HÍDRICA E A BUSCA DE FONTES ALTERNATIVAS

A importância da água é irrefutável. Indispensável para o surgimento e a manutenção da vida em nosso planeta, o recurso é, também, essencial para o desenvolvimento de diversas atividades humanas apresentando, por esta razão, valores econômicos, sociais e culturais.

A grave situação de escassez hídrica encontrada em todo mundo se agrava na medida em que são constatadas demandas cada vez maiores, com limitado suprimento. O crescimento econômico desordenado, a ocupação não apropriada do solo, a expansão industrial e as atividades agrícolas são citados por Jaques (2005) e Oliveira (2008) como fatores para o aumento do consumo de água. Já o descarte de esgotamentos sanitários e efluentes industriais sem nenhum tratamento, bem como a disposição inapropriada de resíduos são referidos por Fernandez e Garridos (2002) como agentes de degradação dos recursos hídricos.

Em muitos países, a disponibilidade per capita de água já é inferior àquela necessária para permitir o cultivo de alimentos e o abastecimento local da população. De acordo com Santos (2002), o crescimento da população nos próximos 25 anos requererá um aumento de 17% na demanda de água para a irrigação e 70% para o abastecimento urbano, o que, associado aos demais usos, deverá representar um acréscimo de 40% na demanda total. O mesmo autor cita que projeções da Organização das Nações Unidas, ONU, para 2025, estimam uma proporção de dois terços da população mundial enfrentando problemas referentes à falta de água, sendo este índice aumentado para três quartos até 2050. Cheng-Li (2000) acredita que devido à crescente demanda e, por consequência, à crescente escassez do recurso, as próximas guerras ocorrerão por questões referentes à água.

O Brasil, apesar de possuir um quinto de toda reserva global de água doce, também apresenta regiões com problemas de falta d'água. Tal escassez deve-se à distribuição desigual e desproporcional do recurso, abundante em regiões pouco povoadas e insuficiente em grandes centros populacionais (TOMAZ, 2005). Nas regiões mais industrializadas do país, com elevado grau de urbanização e alta densidade demográfica, a água tornou-se um fator limitante, afetando o desenvolvimento econômico e a qualidade de vida.

A escassez de recursos hídricos faz aumentar outro índice: o de pessoas contaminadas por água de má qualidade. Com a diminuição da água própria para o consumo, a população acaba utilizando águas contaminadas para suprir suas necessidades básicas, o que ocasiona um aumento na disseminação de doenças como: esquistossomose, cólera e diarreia (PINTO & HERMES, 2006).

Esses fatores têm levado à busca incessante de recursos hídricos complementares, os quais geralmente vêm de bacias vizinhas, acarretando, como consequência direta, aumentos consideráveis de custos, além de problemas legais e político-institucionais associados (MANCUSO *et al.*, 2003).

No contexto de mitigar tal problemática, a substituição de fontes mostra-se como uma medida de menor custo, capaz de satisfazer demandas menos restritivas, disponibilizando águas de melhor qualidade para usos mais nobres, como o abastecimento doméstico. Como exemplo de substituição de fontes tem-se o aproveitamento de águas pluviais, medida que vem despontando como alternativa diante da necessidade de se garantir um abastecimento de qualidade e em quantidade suficiente à população.

3.2 O APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS

Embora aparentemente inovadora, a utilização de água pluvial pelo homem é uma prática antiga, utilizada por muito tempo em diversas regiões do planeta, que só entrou em desuso na medida em que novos e mais modernos sistemas de abastecimento foram disponibilizados (WERNECK, 2006).

Diversos estudos discorrem sobre o histórico do aproveitamento de águas pluviais pelo homem, sendo a Pedra Moabita, sugestão do rei Mesha para a construção de um reservatório de coleta em cada moradia, no Oriente Médio, em 850 a.C., citada como a inscrição mais antiga conhecida (TOMAZ, 2005; MAY, 2009).

Mas a prática de armazenar precipitações para uso vem de antes. De acordo com Oliveira (2008), já em 2750 a.C., na Mesopotâmia, utilizava-se água pluvial. Segundo o mesmo autor, no palácio de Knossos, na Ilha de Creta, em 2000 a.C., a água advinda das chuvas era aproveitada para fins sanitários. Oliveira (2008) também descreve que ao sul do México, no século X, os Maias realizavam agricultura baseada na coleta de águas pluviais. As

peessoas viviam nas encostas e sua água era fornecida por cisternas com capacidade para de 20 a 45 mil litros.

Atualmente, visando mitigar os problemas de abastecimento e, em alguns casos, atentando-se ao controle de cheias, a coleta e utilização de águas pluviais voltou a ser praticada em diversas localidades (JAQUES, 2005). Tomaz (2005) descreve que nas últimas duas décadas, o aproveitamento das águas pluviais, historicamente representado por galerias, canais e áreas de retenção, passou a ser feito, principalmente, pela captação direta da água escoada pelos telhados. Villarreal e Andrew (2004) citam que tais coberturas representam uma importante porcentagem das áreas impermeáveis nas cidades e, por isso, oferecem uma significativa infra-estrutura para a captação de águas pluviais.

Dentre as vantagens e benefícios gerados pelo armazenamento de águas pluviais, May (2009) destaca a proximidade entre a fonte e o ponto de uso do recurso, o que elimina caros e complexos sistemas de distribuição. Para Sickermann (2002), a gestão das águas pluviais economiza água tratada e energia elétrica. Segundo Hermann e Shimida (1999), a economia de água potável em uma casa devido ao aproveitamento de águas pluviais pode variar entre 30 e 60%, dependendo da demanda e da área de telhado. Em seus estudos, Coombes *et al.* (1999) e Fewkes (1999), encontraram reduções de cerca de 60%.

Segundo Campos (2004), as vantagens de aproveitar águas pluviais incluem: fácil manutenção, baixos custos de operação e manutenção do sistema, qualidade relativamente boa da água (principalmente quando a captação é realizada no telhado), baixo impacto ambiental e flexibilidade das tecnologias disponíveis. Como desvantagens, o autor cita a limitação do suprimento, dependente da quantidade de precipitação e da área de telhado; custo inicial elevado, principalmente quando comparado a outras fontes de abastecimento, implantação não atrativa a políticas públicas e possibilidade de rejeição cultural.

A água pluvial pode ser destinada aos mais diversos fins, para uso doméstico, industrial e agrícola.

Em usos domésticos, a água pluvial geralmente é utilizada em descargas de vasos sanitários, lavagem de veículos, pisos e irrigação de jardins (CIPRIANO, 2004).

Nas áreas rurais, o uso de água pluvial na irrigação de culturas contribui para o abrandamento da demanda hídrica imposta pelo setor - aproximadamente 70% do total (BERNARDI, 2003). Além disso, o recurso armazenado pode ser utilizado pelas moradias em atividades cotidianas e, quando tratada adequadamente, tornar-se potável (JAQUES, 2005).

Em função da elevada demanda exigida e das grandes áreas de coleta, Werneck (2006) menciona que são nas indústrias que o aproveitamento de água pluvial encontra seu

maior potencial de utilização. Nessas áreas, o recurso pode ser empregado no resfriamento de telhados e máquinas, na climatização interna, em lava jatos de caminhões, carros e ônibus, e na limpeza geral (TORDO, 2004).

Os propósitos, conhecimentos e tecnologias de aproveitamento de água pluvial variam muito de localidade para localidade. De acordo com Oliveira (2006), as técnicas de uso são mais disseminadas em países desenvolvidos, principalmente devido a fatores econômicos.

No Japão, por exemplo, existem numerosos estádios e ginásios com áreas de captação da ordem de milhares de metros quadrados, que utilizam águas pluviais em descarga de vasos sanitários e no sistema de ar condicionado (INAMINE, 2000; TOMAZ, 1998). Em Berlim, na Alemanha, além de ser empregada em descarga de vasos sanitários, a água pluvial coletada em praças e grandes edifícios recompõem a paisagem urbana e alimenta lagos artificiais, contribuindo para a melhoria do micro clima local. Leidl (2008) descreve que o governo alemão oferece incentivos financeiros para o desenvolvimento de projetos ligados ao aproveitamento de águas pluviais.

Na Holanda, a água pluvial é coletada para evitar o transbordamento de canais que rodeiam o país, situado abaixo do nível do mar. A água armazenada é utilizada na irrigação de lavouras e no abastecimento de fontes ornamentais (MAY, 2009). Nos EUA, as águas pluviais destinam-se à descarga de vasos sanitários, lavagem de veículos, resfriamento evaporativo, irrigação de jardins e hortas (GELT, 2002; MOFFA, 1996).

Em países em desenvolvimento, as técnicas de aproveitamento de águas pluviais apresentam muitos problemas, a maioria referentes à falta de conhecimento e às dificuldades de difusão de informações sobre as práticas aplicadas com sucesso (MAY, 2004).

Vieira e Coiado (2005) citam que no Brasil os erros mais frequentes decorrem da falta de uma legislação adequada, da incompatibilidade das técnicas de captação com as estratégias tradicionais de produção e da falta de treinamento de mão-de-obra para as atividades relacionadas. Oliveira (2008) destaca que apesar das dificuldades, algumas iniciativas vêm sendo desenvolvidas com êxito em nosso país como, por exemplo, o Programa Um Milhão de Cisternas, que foi criado pelo Governo Federal em 2003 com o objetivo de suprir a demanda de água potável de municípios do semi-árido e, atualmente, já beneficia cerca de cinco milhões de pessoas (MAY, 2009).

O manual de conservação e reuso de água em edificações da Agência Nacional das Águas (ANA, 2005) afirma que a escolha de fontes alternativas de abastecimento de água deve considerar não somente os custos envolvidos na aquisição, mas também a necessidade

de se ter garantida a qualidade necessária a cada uso específico, resguardando a saúde dos usuários. Ainda segundo o manual:

“O uso negligente de fontes alternativas de água ou a falta de gestão dos sistemas alternativos podem colocar em risco o consumidor e as atividades nas quais a água é utilizada, pelo uso inconsciente de água com padrões de qualidade inadequados”.

3.3 SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS

Os sistemas de aproveitamento de águas pluviais baseiam-se na coleta das precipitações escoadas sobre áreas impermeáveis e no armazenamento dessas águas em reservatórios de acumulação, para uso imediato ou ao longo do tempo (MURAKAMI E MORUZZI, 2008). De modo geral, os principais componentes dos sistemas de aproveitamento de águas pluviais são: superfície de captação, calhas coletoras, condutores verticais e horizontais; telas ou grades para a remoção de materiais grosseiros; reservatório de descarte e reservatório de armazenamento. Dependendo do uso que será dado à água coletada deve-se incluir, como componente dos sistemas, o tratamento das mesmas, podendo tal tratamento ser realizado por meio da filtração e/ou da desinfecção (GONÇALVES, 2006). A Figura 1 traz um esquema simplificado dos principais constituintes de um sistema de aproveitamento de águas pluviais.

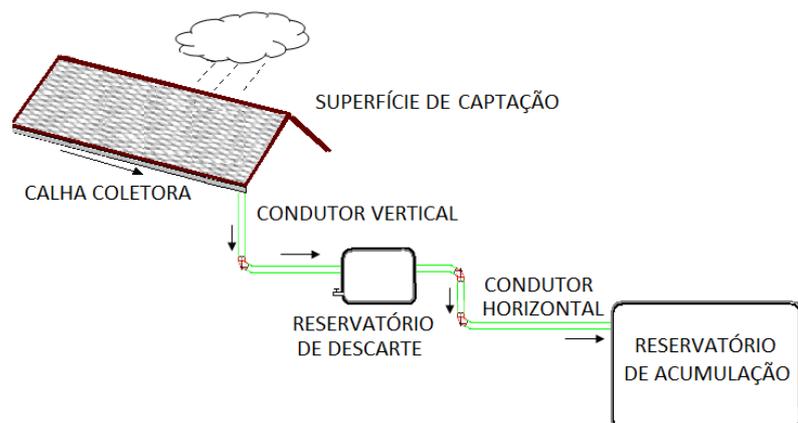


Figura 1: Esquema simplificado de funcionamento de um sistema de aproveitamento de águas pluviais. Modificado de May (2009). Sem escala.

Superfícies de captação são áreas impermeáveis utilizadas para interceptar precipitações. De acordo com Tomaz (2005), as superfícies mais empregadas em sistemas de

aproveitamento de águas pluviais são os telhados de edifícios, podendo, em algumas situações, utilizar-se também: pátios, calçadas e estacionamentos (MAY, 2009).

Abaixo dos telhados apresentam-se as calhas coletoras, componente para onde a precipitação interceptada pelos telhados escoar. Conectados às calhas coletoras encontram-se os condutores verticais e, a esses, os condutores horizontais, ambos responsáveis por conduzir a água pluvial coletada até o sistema de armazenamento.

Para evitar o entupimento dos condutores e, também, para não carrear materiais grosseiros presentes nas superfícies de captação (folhas, gravetos, etc.) para dentro dos reservatórios de armazenamento, May (2009) sugere que os sistemas de aproveitamento de águas pluviais apresentem grades ou telas na entrada das calhas coletoras.

Como alternativa às grades e telas existe, no mercado, um equipamento capaz de remover os materiais grosseiros da água pluvial advinda dos telhados antes da mesma chegar ao reservatório de armazenamento (Figura 2). Embora denominado filtro, o equipamento em questão atua apenas como um separador grosseiro, não sendo capaz de remover sujeiras de menor tamanho, nem tampouco colóides, finos ou microrganismos. Dessa forma, acredita-se que a nomenclatura utilizada não é correta e atenta-se ao fato de que a utilização de tal equipamento não deve ser encarada como tratamento de águas pluviais.



Figura 2: Separador de grosseiros utilizado em sistemas de aproveitamento de águas pluviais. Fonte: modificado de May (2004).

O reservatório de descarte, elemento projetado para desviar os milímetros iniciais da precipitação captada (*first flush*), geralmente é produzido com o mesmo material empregado na construção do reservatório de acumulação, o qual pode ser apoiado, enterrado ou elevado (MAY, 2009). Na Figura 3 apresentam-se exemplos de reservatórios de descarte. À esquerda da figura, tem-se a utilização de um tonel como reservatório; à direita, um exemplo de reservatórios de descarte e armazenamento de mesmo material.

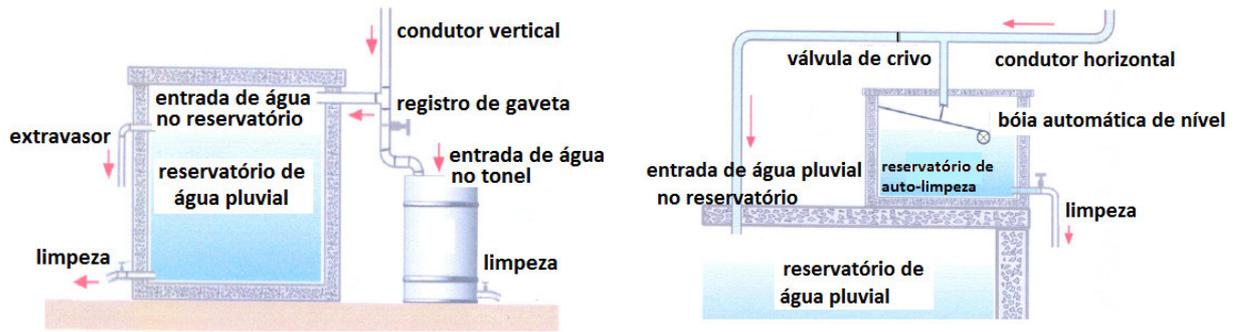


Figura 3: Exemplos de reservatórios de descarte.
Fonte: modificado de Dacach (1990).

Na Figura 4 tem-se uma ilustração de um dispositivo de descarte utilizado na Austrália. Nesse caso, os grosseiros devem ser retidos antes de entrar nas calhas coletoras. A água pluvial é direcionada ao dispositivo de descarte e somente quando este se encontra cheio é que ocorre o direcionamento da água para o reservatório de armazenamento. Marks (2001) aconselha o uso do dispositivo em sistemas com pequena área de captação.

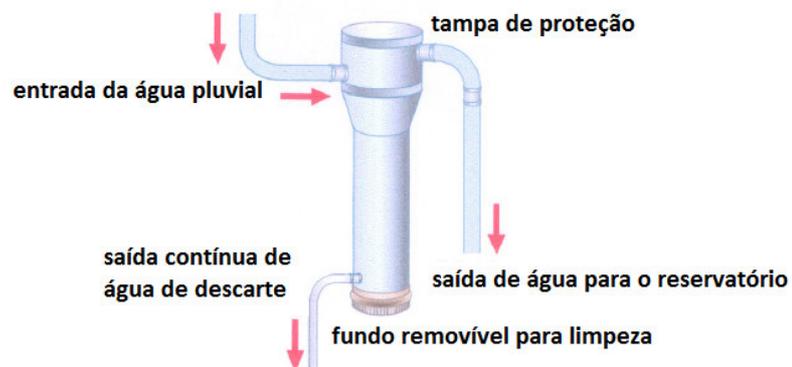


Figura 4: Dispositivo de descarte da água de lavagem do telhado utilizado na Austrália.
Fonte: modificado de May (2006).

Além do descarte inicial, existem outras medidas que podem ser tomadas para preservar a qualidade da água pluvial coletada. Tomaz (2005) recomenda que não haja entrada de luz solar no reservatório de armazenamento (evitando, assim, o crescimento de algas). Já May (2009) cita que a necessidade da manutenção de limpeza anual do reservatório (para remoção do lodo acumulado no fundo do mesmo); adição de um dispositivo no fundo do reservatório de acumulação (para evitar a turbulência da água) e a não conexão da rede de água potável com a de águas pluviais, a fim de se evitar possíveis contaminações.

3.4 QUALIDADE DA ÁGUA PLUVIAL E IMPORTÂNCIA DE SEU TRATAMENTO

A atmosfera é uma mistura de gases na qual estão presentes partículas sólidas e líquidas em suspensão (DINGMAN, 1993). Segundo Carvalho (2004), a água pluvial é resultado da combinação entre as gotículas que formam as nuvens e as substâncias que a elas se incorporam durante a precipitação. Gonçalves (2006) relata que a qualidade do ar influi diretamente na composição físico-química das precipitações.

Águas pluviais geralmente apresentam um pH naturalmente ácido, decorrente da formação de ácido carbônico (H_2CO_3) a partir do gás carbônico (CO_2) atmosférico. Em regiões com elevada carga poluidora, o pH da água pluvial pode apresentar-se extremamente baixo (a chamada chuva ácida), devido à presença de ácidos mais fortes, como o sulfúrico (H_2SO_4) e nítrico (H_2NO_3), formados a partir do dióxido de enxofre (SO_2) e de óxidos nitrogenados (NO_x) presentes na atmosfera.

Além dos gases atmosféricos, Oliveira (2008) cita que outros elementos podem agregar-se às águas pluviais antes que elas atinjam o solo como, por exemplo, íons de origem marinha (tais como Cl^- , Na^+ , Mg^{2+} e K^+) e minerais de origem pedológica, como Ca e Si (CARVALHO, 2004).

Da mesma maneira que carrega consigo as partículas e solutos presentes no ar quando precipita, a água pluvial escoada sobre superfícies apresenta, em sua composição, os detritos presentes nos locais por onde passou, sendo a concentração desses, na maioria das vezes, proporcional ao período de estiagem (GONÇALVES, 2006).

Águas pluviais escoadas sobre pátios, calçadas e estacionamentos, que usualmente possuem qualidade inferior em relação às coletadas após passagem por telhados, apresentam, além de folhas, galhos, poeiras e fezes de pássaros, detritos advindos da circulação de pessoas, animais e veículos, como óleos e graxas, por exemplo (MAY, 2009).

Oliveira (2008) cita que dependendo do material com o qual o telhado é feito, a qualidade da água pluvial coletada pode ser melhor ou pior. Sob o ponto de vista microbiológico, Brunet (2001) discorre que o metal é o material mais adequado na construção de telhados, pois quando exposto ao Sol se aquece, fazendo com que certos patógenos não sobrevivam. Tomaz (2003) cita que a ordem de melhores materiais para construção de telhados, quanto ao aspecto bacteriológico, é: metal, fibrocimento, plástico e cerâmica. Segundo Tordo (2004) os microrganismos contidos em águas pluviais podem degradar a qualidade da água armazenada, com o desenvolvimento de odores e sabores desagradáveis e

produção de biofilmes; além de representar um risco à saúde dos usuários (BURBARELLI, 2004).

Diversos autores (MAY, 2004; ANNECCHINI, 2005; GONÇALVES, 2006) destacam que são nos milímetros iniciais de precipitação que se encontram os valores mais significativos de concentração de poluentes e, assim, aconselham a abstração dessa primeira chuva.

Embora o descarte inicial já tenha sido investigado em inúmeros trabalhos, não há uma regra geral que determine o quanto de água deve ser eliminada, assim como não há uma orientação que defina se essa abstração deve ser baseada em um volume fixo, na altura ou na intensidade da chuva precipitada (MARTINSON, 2005). A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), através da norma ABNT NBR15527/07, define que o dispositivo de descarte dos sistemas de aproveitamento de água pluvial deve ser dimensionado em valores que variam de 0,4 a 8,5 mm e que, na falta de dados, tal volume seja, no mínimo, de 2 mm de precipitação.

Autores como Gonçalves (2006), May (2009) e Tomaz (2003) descrevem que a qualidade das águas pluviais não deve ser considerada apenas antes e após a passagem por telhado, mas também dentro da cisterna ou reservatório de armazenamento. Nesses termos, Cipriano (2004) analisou a diferença qualitativa de precipitações coletadas na cidade de Blumenau (SC) em três momentos distintos: antes de atingir a superfície de captação (chuva direta), dentro do reservatório de autolimpeza (primeiros 20 litros precipitados) e dentro do reservatório de detenção (restante da precipitação). Os resultados encontrados pelo autor demonstraram que a contaminação presente na superfície de captação alterou a qualidade da água captada, principalmente nos milímetros iniciais da precipitação. A condutividade elétrica, por exemplo, passou de 5,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para 21,17 $\mu\text{S}/\text{cm}$. A cor aparente aumentou de 16,8 uH para 30,1 uH e a turbidez de 1,9 uT para 4,0 uT. Os resultados mais expressivos observados foram encontrados nos parâmetros microbiológicos, sendo que a concentração de *E. coli* passou de 18,2 NMP/100mL para 913,3 NMP/100mL.

Jaques (2005) avaliou a qualidade físico-química e microbiológica de águas pluviais coletadas no município de Florianópolis (SC), antes da passagem por superfície de captação, após a passagem por telhados de amianto e cerâmico (início da precipitação) e dentro do reservatório de armazenamento (após passagem por telhado de zinco, com remoção de grosseiros e dosagem de cloro). Os resultados obtidos pelo autor demonstram que a superfície de captação exerce influência sobre a qualidade da água pluvial coletada, assim como a forma de armazenamento. Em termos de pH, por exemplo, a chuva atmosférica

apresentou valor 5,5; as advindas dos telhados de amianto e cerâmica os valores de 7,2 e 6,4; respectivamente, e a cisterna de armazenamento, 5,1. A cor aparente, por sua vez, apresentou leitura 10 uH na chuva atmosférica, 58,8 uH na água captada em telha de amianto, 35,6 uH na captada em telha cerâmica e 5,0 uH na armazenada dentro da cisterna.

Visto que a qualidade das águas pluviais pode ser influenciada por inúmeros fatores, tais como: superfície de captação, local e forma de armazenamento, o estabelecimento de padrões mínimos de qualidade é de suma importância na busca de se garantir um aproveitamento seguro dessas águas, tanto em termos de garantia de saúde dos usuários quanto em termos de integridades dos constituintes dos sistemas de aproveitamento.

Di Bernardo (2005) ressalta a importância de se saber a diferença entre critérios e padrões de qualidade de águas. Enquanto critérios representam requisitos científicos, com caráter de proposta, sugestões ou tentativas a serem testadas quanto a sua exequibilidade, os padrões consistem nos critérios transformados em lei sendo, portanto, inapeláveis.

Para aproveitamento de águas pluviais em fins não potáveis a NBR 15527/07 estabelece os padrões para o monitoramento mensal de turbidez, cor aparente, pH e cloro residual, além do monitoramento semestral de coliformes totais e termotolerantes, conforme pode ser observado na Tabela 1. Nos casos de uso de águas pluviais em fins potáveis, os parâmetros físico-químicos e microbiológicos a serem atendidos devem obedecer a Portaria nº 518 do Ministério da Saúde. Para a adequação da água pluvial bruta aos valores estabelecidos pelas normas e Portarias pertinentes, muitas vezes é necessário realizar o tratamento das mesmas.

Tabela 1 - Parâmetros de qualidade de águas pluviais para usos não potáveis segundo a NBR 15527/07

<i>Parâmetro</i>	<i>Análise</i>	<i>Valor</i>
Coliformes totais	Semestral	Ausência em 100 mL
Coliformes termotolerantes	Semestral	Ausência em 100 mL
Cloro residual	Mensal	0,5 a 3,0 mg/L
Turbidez	Mensal	< 2,0 uT
		Para usos menos restritivos: < 5,0 uT
Cor aparente	Mensal	< 15 uH
pH	Mensal	Ajuste entre 6,0 e 8,0, no caso de tubulação de aço carbono ou galvanizado.

Nota: Para lavagem de roupas deve ser feita análise anual de *Cryptosporidium parvum*
 Fonte: NBR 15527/07

Murakami e Moruzzi (2008) analisaram as variações temporais da qualidade microbiológica de uma precipitação captada após passagem por telhado e armazenada ao longo de um período de seis meses, em amostras cloradas e não cloradas. Os resultados obtidos pelos autores indicaram a existência de uma variação na concentração de bactérias heterotróficas na faixa entre 10 e 100 UFC/100mL, mesmo nas amostras em que foram mantidos os residuais de cloro preconizados pela NBR 15527/07. Tais resultados demonstraram que embora não faça parte dos parâmetros recomendados pela NBR 15527/07, o monitoramento da concentração de bactérias heterotróficas na água para fins não potáveis é uma ação importante, visto que elevadas concentrações de tais microrganismos podem indicar a deterioração da qualidade dessa água.

3.5 TRATAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS

De acordo com o manual de qualidade de água e tratamento da *American Water Works Association* (AWWA, 1990), a escolha do esquema de tratamento de água depende, dentre outros fatores, da qualidade da água bruta e da qualidade a que se deseja chegar.

Segundo Richter e Azevedo Netto (1991), águas brutas apresentam uma variedade de impurezas, em diversas faixas de tamanho, incluindo: microrganismos, substâncias húmicas, colóides, materiais em suspensão, dentre outros. Por apresentarem-se com carga superficial negativa, tais impurezas não conseguem aproximar-se no meio aquoso. Di Bernardo (2005) cita que para remover as impurezas contidas na água é preciso alterar as forças catiônicas do meio, o que é feito, principalmente, a partir da adição de íons de cargas contrárias às das partículas, caracterizando o fenômeno conhecido por coagulação.

A coagulação geralmente é realizada por sais de alumínio e de ferro e resulta de dois fenômenos: o primeiro, essencialmente químico, consiste nas reações do coagulante com a água e na formação de espécies hidrolisadas com carga positiva; o segundo, fundamentalmente físico, consiste no transporte das espécies hidrolisadas para que haja contato entre as impurezas, que se chocam e se aglomeram, formando partículas maiores, denominadas flocos, que podem ser removidas por sedimentação, flotação ou filtração rápida (DI BERNARDO, 2005).

Para aumentar o tamanho e a densidade dos flocos, podem ser empregados outros produtos, sintéticos ou naturais, denominados auxiliares de floculação, que possibilitam a obtenção de água tratada com melhor qualidade e permitem, em certos casos, a redução das dosagens de coagulantes. Na Figura 5 tem-se uma ilustração dos processos de coagulação e floculação descritos.

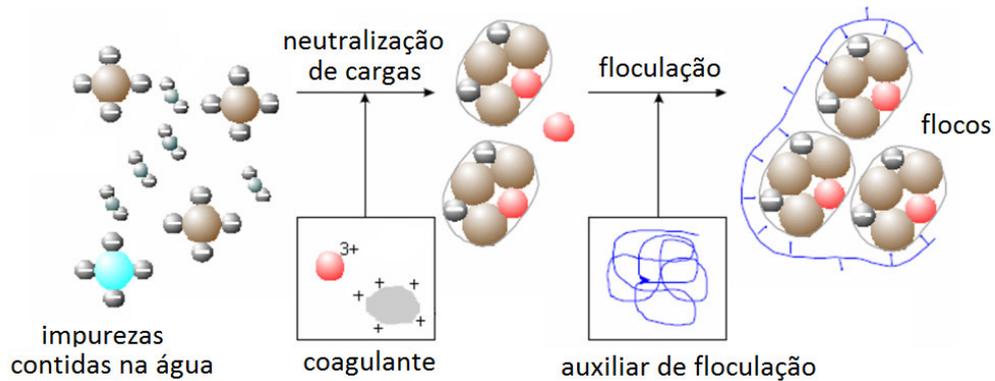


Figura 5: processo de coagulação e floculação para tratamento de águas.

De modo geral, após a floculação, outro processo de tratamento, denominado sedimentação, é empregado. Segundo Di Bernardo (1993), sedimentação é o fenômeno físico em que partículas em suspensão apresentam movimento descendente em meio líquido de menor massa específica, devido à ação da gravidade.

Já o processo de filtração consiste na remoção de partículas suspensas e coloidais presentes na água através de sua passagem por um material granular, denominado meio filtrante (DI BERNARDO, 1993). De acordo com Richter e Azevedo Netto (1991), quando a velocidade com que a água atravessa o leito filtrante é baixa, o filtro é denominado filtro lento. Quando é elevada, é denominado filtro rápido.

Na filtração rápida descendente com ação de profundidade, as impurezas são retidas ao longo do meio filtrante. Para Richter e Azevedo Netto (1991), tal filtração pode ser entendida como o resultado de uma sucessão de estágios relativos à colmatação das subcamadas que compõe o meio filtrante. A primeira subcamada retém partículas até o momento em que as forças de cisalhamento, em razão do escoamento, superam as forças que mantêm as partículas aderidas aos grãos do meio filtrante, arrastando-as para a subcamada subsequente e assim por diante até aparecerem na água filtrada, ocasionando o fenômeno conhecido como transpasse. Os mesmos autores citam que os mecanismos responsáveis pela remoção de partículas durante a filtração com ação de profundidade são complexos e

influenciados principalmente por características físicas e químicas das partículas, da água e do meio filtrante, da taxa de filtração e do método de operação dos filtros.

Independente da condição de filtração, após certo tempo de funcionamento, há necessidade da lavagem do filtro, o que geralmente é feito por meio da introdução de água no sentido ascensional com velocidade relativamente alta para promover expansão do meio granular com liberação das impurezas (Di Bernardo, 2005).

De acordo com Richter e Azevedo Netto (1991), o material granular usado em filtros de água deve apresentar grãos com tamanhos e variação de tamanhos dentro de determinados padrões, sendo essa determinação de tamanhos dos grãos (análise granulométrica) feita a partir da passagem de uma amostra seca e representativa do material granular através de uma série de peneiras com aberturas conhecidas.

Geralmente utiliza-se 1000g de material para a realização do ensaio granulométrico, colocando-se esse material na peneira de maior tamanho, localizada na parte superior, sob a qual se encontram, sucessivamente, as peneiras de menor abertura. Por meio de dispositivo vibratório o material granular é distribuído nas peneiras, pesando-se, em seguida, as quantidades retidas em cada uma delas. Posteriormente calculam-se as porcentagens dessas quantidades para a construção de uma curva de distribuição granulométrica. A partir dessa curva definem-se parâmetros que caracterizam o meio filtrante (Di Bernardo, 1993).

Segundo Richter e Azevedo Netto (1991), o coeficiente de uniformidade (U) tem muita importância na filtração, pois está intimamente relacionado à penetração de impurezas ao longo do meio filtrante. Ele é calculado através da relação entre os tamanhos dos grãos correspondentes às porcentagens de 60% e 10%. Quanto menor o valor de U, mais uniforme será o material granular e, portanto, mais profunda resultará a penetração de impurezas e mais longa será a duração da carreira de filtração.

Gonçalves (2006) descreve que para usos não-potáveis, os tratamentos mais empregados em águas pluviais são compostos de unidades de sedimentação simples, filtração simples e desinfecção, com cloro ou radiação ultravioleta. Fonte internacional, o manual texano de armazenamento de águas pluviais (TEXAS WATER DEVELOPMENT BOARD, 2005) indica a filtração em fibra ou carvão ativado, além da ozonização ou aplicação de UV.

Libânio (2005) descreve que a filtração é essencial para retirar, da água, partículas que ocasionam turbidez. De acordo com o autor, o excesso de turbidez reduz a eficácia da desinfecção da água, o que impede a inativação dos microrganismos patogênicos nela presentes.

Como técnica de desinfecção, a adição de cloro sob a forma de hipoclorito de sódio apresenta-se como a mais usual metodologia para tratamento de águas pluviais. Como alternativas, a NBR 15527/07 cita a utilização de raio UV ou ozônio no processo de desinfecção.

Bastos (2007) estudou o tratamento de precipitações coletadas após passagem por telhado por meio da filtração em filtros lentos (taxa de filtração 8 m³/m².dia). Os resultados obtidos em seus ensaios demonstraram eficiência na remoção de sólidos em suspensão, coliformes totais, termotolerantes e *E. coli*. Em um trabalho recente, May (2009) utilizou de um sistema de filtração com filtro rápido de pressão (taxa de filtração de 872 m³/m².dia) com escoamento descendente e um sistema de desinfecção com hipoclorito de sódio para o tratamento de precipitações coletadas após passagem por telhado. Os resultados por ela obtidos indicam que, apesar das medidas empregadas, nem todos os parâmetros enquadraram-se nos padrões definidos pela NBR 15527/07. Na Tabela 2 encontra-se a comparação dos resultados obtidos por Bastos (2007) e May (2009).

Tabela 2 – Média dos resultados obtidos por Bastos (2007) e May (2009) no tratamento de águas pluviais

Parâmetro	Bastos (2007)		May (2009)	
	Águas pluviais sem tratamento	Águas pluviais com tratamento	Águas pluviais sem tratamento	Águas pluviais com tratamento
Cor Aparente (uC)	14,4	2,3	21,6	12
Turbidez (UT)	0,8	0,05	3,3	2
Coliformes termotolerantes (NMP/100mL)	2717	109	220	70
Coliformes Totais (NMP/100mL)	7601	3162	3x10 ³	1x10 ¹
<i>E. coli</i>	193.6	8,1	-	-

Murakami & Moruzzi (2008) cloraram amostras de precipitação durante um período de seis meses, monitorando as concentrações de coliformes termotolerantes e os residuais de cloro. Os resultados obtidos pelos autores demonstraram que enquanto a concentração de cloro residual manteve-se dentro do preconizado pela NBR 15527/07, a ausência de coliformes termotolerantes foi mantida. Porém, com a interrupção do tratamento, tais microorganismos voltaram a estar presentes na água armazenada, demonstrando a importância da manutenção do residual de cloro.

3.6 AMIDO NATURAL DE MILHO COMO AUXILIAR NO TRATAMENTO DE ÁGUAS

Encontrado em abundância no reino vegetal, o amido constitui-se da maior reserva de carboidratos das plantas, podendo ser extraído de sua fonte com relativa facilidade.

De acordo com Di Bernardo (2000), o amido pode ser considerado uma condensação polimérica da glucose, não uniforme, possuindo duas macromoléculas: uma de cadeia linear, denominada amilose, e uma ramificada, denominada amilopectina. A Figura 6 traz um esquema simplificado das frações presentes na molécula de amido.

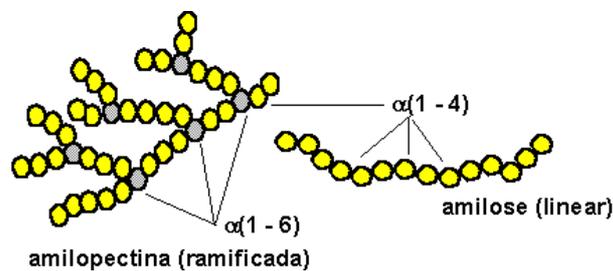


Figura 6: Tipos de glucose presentes na estrutura molecular de amido.
(Fonte: www.geocities.com)

Di Bernardo (2005) cita que tanto polímeros sintéticos quanto polímeros naturais têm sido usados como auxiliares no tratamento de água, nos processos de coagulação, floculação e/ou filtração. Grossl *et al.* (2009) descrevem que os polímeros naturais apresentam a vantagem de não representarem nenhum risco à saúde da população, ao contrário de alguns polímeros sintéticos, como os à base de acrilamidas, que podem eventualmente ser liberados na água tratada, em caso de ocorrência de falhas na operação da estação de tratamento.

No processo de coagulação, o uso de polímeros permite, em muitas situações, reduzir consideravelmente a dosagem de coagulante, quando este é um sal de alumínio ou de ferro. Como auxiliares de floculação, os polímeros são empregados com o objetivo de aumentar a velocidade de sedimentação dos flocos, reduzir a ação das forças de cisalhamento durante a veiculação da água floculada e diminuir a dosagem de coagulante primário. Como auxiliares de filtração, os polímeros reduzem a possibilidade de ocorrência do transpasse e concorrem para que sejam usadas taxas de filtração maiores que as tradicionais (DI BERNARDO, 2005).

Segundo Campos e Bernardo (1988), as moléculas de amido encontram-se envoltas em uma membrana, tornando-se insolúveis em meio líquido com temperatura

inferior a 50° C. Os mesmos autores citam que a ruptura de tal membrana pode ser conseguida mediante aquecimento ou adição de soda cáustica em uma solução concentrada do amido a ser tratado.

A ruptura da estrutura do grão de amido, na presença de água quente, se desenvolve em três fases distintas. Durante a primeira fase, ocorre apenas um endurecimento limitado dos grãos e a viscosidade da suspensão aumenta de maneira sensível. O grão conserva sua aparência e, depois de seco, não é possível notar grande alteração (CAMPOS e BERNARDO, 1988). Quando se ultrapassa uma temperatura próxima a 65°C, inicia-se a segunda fase do intumescimento: o grão de amido aumenta seu volume em muitas vezes, a viscosidade da suspensão aumenta de forma significativa e o grão perde sua estrutura original (CAMPOS & BERNARDO, 1988). Durante a terceira fase, que ocorre em temperaturas ainda mais elevadas, os fenômenos observados durante a segunda fase do intumescimento ocorrem de forma mais acentuada. Nesse momento, o amido granular é convertido de cristalino a disperso e amorfo, por meio de um processo denominado solvatação, no qual as partículas pequenas da água atuam como plastificantes, separando e abrindo as cadeias do amido. Na Figura 7 têm-se imagens da evolução dos grânulos de amido de milho durante o processo de aquecimento de uma solução a 5%.

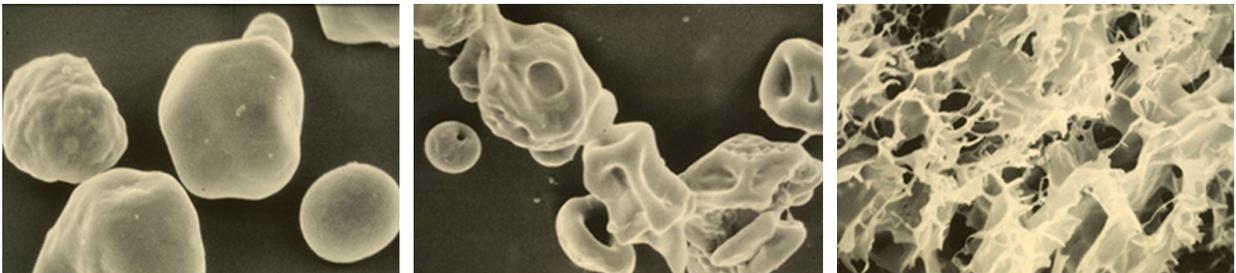


Figura 7: Evolução dos grânulos de amido de milho durante aquecimento de solução a 5% a, respectivamente, 30° C; 70° C e 90° C. Fotografias tiradas em microscópio ótico com aumento de 2000x. Sem escala.

Fonte: <<http://www.public.istate.edu/~pkeeling/funcn1.htm>>.

Nakada (2008) realizou ensaios laboratoriais simulando ciclos de filtração rápida utilizando amido natural de milho como auxiliar de coagulação. Os resultados obtidos pela autora demonstraram melhor eficiência do processo na redução de turbidez (melhor resultado de 8,8 UT para 0,6 UT – dosagem de 8,0 mg/L) e cor aparente (de 34 uH para 3,0 uH – dosagem de 5,5 mg/L) após cinco ciclos de filtragem.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Rio Claro localiza-se a 173 km noroeste da capital do estado de São Paulo. Com área de 500 km², possui clima local considerado tropical alternadamente seco e úmido, com temperatura média anual de 22°C e ventos dominantes provenientes do quadrante Sul e Sudeste. Em relação à distribuição anual de chuvas, Rio Claro apresenta um período chuvoso de outubro a março, com 55 a 60 dias de chuva, e um período seco, entre abril e setembro, com 15 a 20 dias de chuva. A Figura 8 apresenta a distribuição das chuvas médias mensais de Rio Claro entre os anos de 1937 e 2003. Os valores expressos foram calculados a partir de informações disponíveis no Banco de Dados Pluviométricos do Sistema de Informações para o Gerenciamento de Recursos Hídricos (SIGRH) do Estado de São Paulo.

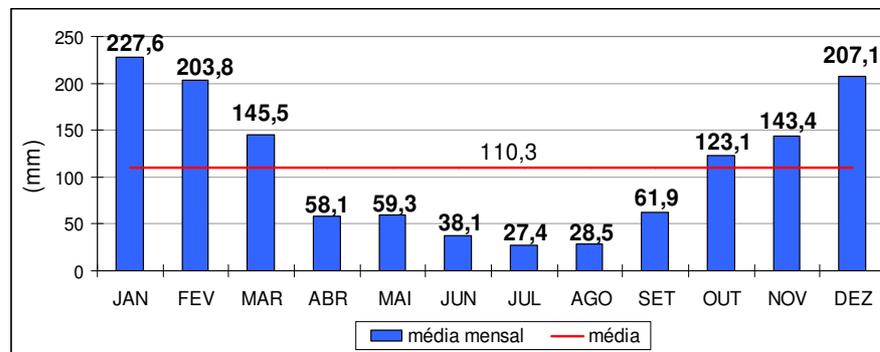


Figura 8: Média das chuvas mensais do município de Rio Claro nos anos entre 1937 e 2003.

Fonte: www.sigrh.sp.gov.br.

Na Zona Norte de Rio Claro encontra-se instalado o Distrito Industrial da cidade, uma área produtora de, principalmente: fibra de vidro, tubos e conexões de PVC e produtos químicos leves. À Leste, encontra-se a Floresta Estadual Edmundo Navarro de Andrade (FEENA), com uma área de aproximadamente 2300 hectares, composta por vegetação nativa e áreas reflorestadas com eucalipto. À Sudeste, em conjunto com as cidades de Santa Gertrudes e Cordeirópolis, tem-se um importante polo cerâmico da região.

A estação experimental de captação e tratamento de água pluvial utilizada no presente estudo encontra-se instalada na região Leste de Rio Claro, próxima à FEENA, em

área pertencente ao Centro de Estudos Ambientais (CEA) da Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho” (UNESP), campus de Rio Claro.

Para montagem e instalação da estação, utilizou-se uma área de aproximadamente 30 m², localizada ao lado do anfiteatro do CEA. O local em questão foi escolhido visando aproveitar o já existente sistema de coleta e direcionamento de águas pluviais instalado e, também, porque a área adjacente ao prédio encontrava-se em cota mais baixa, sendo assim necessária apenas força gravitacional para o encaminhamento das precipitações coletadas até a estação.

A Figura 9 apresenta uma imagem de satélite do CEA da UNESP de Rio Claro, com indicação das localizações do anfiteatro e da área de instalação da estação experimental de captação e tratamento de águas pluviais (A). Na mesma figura, em (B), tem-se uma fotografia do desnível existente entre o anfiteatro do CEA e o local de instalação da estação e, em (C), uma fotografia da área escavada para instalação da estação.

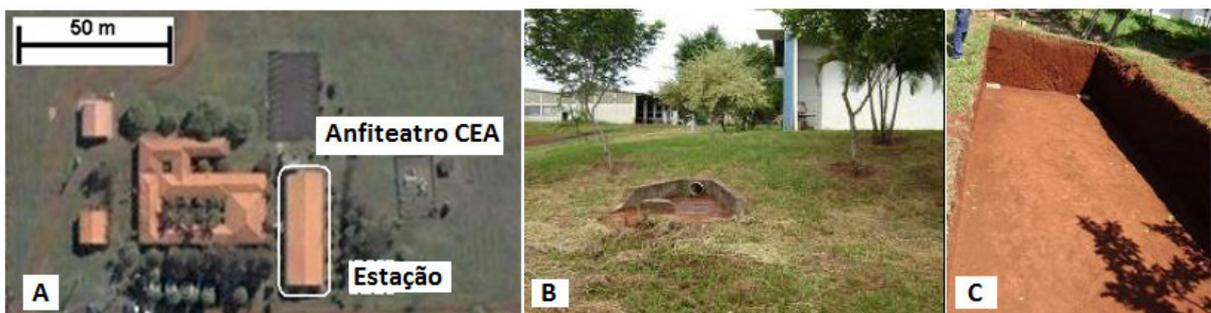


Figura 9: (A) imagem de satélite do CEA da UNESP de Rio Claro. (B) fotografia do desnível existente entre o anfiteatro do CEA e o local de instalação da estação. (C) fotografia da área escavada para montagem e instalação da estação de captação e tratamento de águas pluviais.

Fonte da Figura A: site *Google Maps*.

4.2 ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DE CAPTAÇÃO E TRATAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS - CONSTITUINTES

A estação experimental de captação e tratamento de águas pluviais utilizadas no presente estudo era composta por: superfícies de captação, calha coletora, condutores verticais e horizontais, caixas de passagem, caixa de desvio, reservatórios de acumulação e armazenamento, bombas, filtro de pressão e caixa de limpeza. Na Figura 10 tem-se um esquema simplificado de cada um desses componentes.

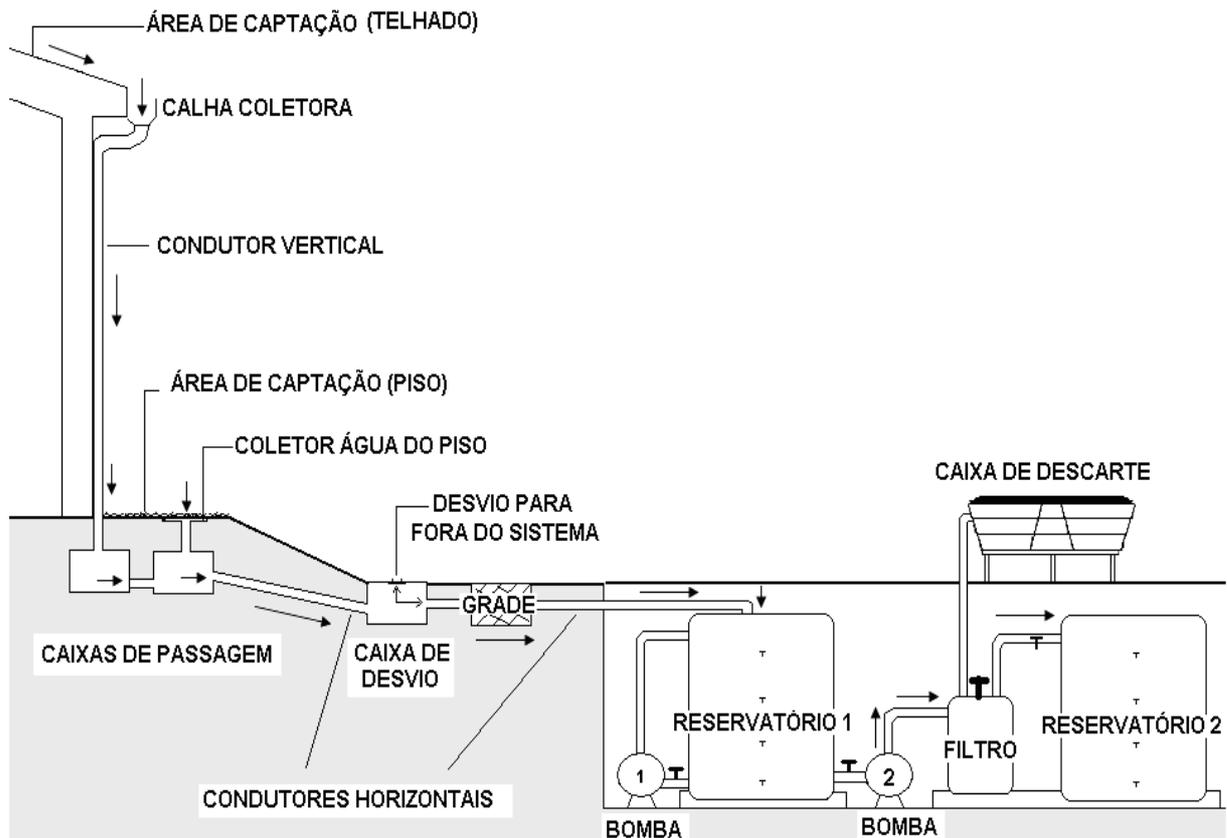


Figura 10: Esquema simplificado dos componentes da estação experimental de coleta e armazenamento de água pluvial utilizado no desenvolvimento do presente estudo. Sem escala.

4.2.1 Superfícies de Captação

Utilizadas para interceptar as águas pluviais, as superfícies de captação da estação utilizada no presente estudo eram duas: a cobertura (telhado) e o piso externo do anfiteatro do CEA.

Embora pisos não sejam recomendados como adequadas superfícies de captação, optou-se por manter a coleta em tal local nesse caso, visto que o prédio já possuía esse sistema de coleta instalado e, também, porque o volume de precipitação pelo piso escoado era extremamente inferior em relação ao volume advindo do telhado. O telhado do anfiteatro do CEA é composto por telhas cerâmicas e possui área de 370 m². O piso externo do prédio, por sua vez, é feito de concreto e tem área aproximada de 20 m².

4.2.2 Calhas coletoras e condutores verticais e horizontais

Empregadas para coletar a chuva escoada sobre o telhado, as calhas coletoras instaladas no anfiteatro do CEA eram compostas de material metálico e acompanhavam as laterais do prédio mencionado. Abaixo de cada calha coletora, conectavam-se condutores verticais feitos em PVC, responsáveis pela condução da água pluvial coletada do telhado até as caixas de passagem. Os condutores horizontais, também feitos em PVC, tinham como função encaminhar a água pluvial de uma caixa de passagem até outra, sucessivamente, até a caixa de desvio, conforme será descrito em 4.3.1.

4.2.3 Caixas de passagem, caixa de desvio e caixa gradeada

Em cada lateral do anfiteatro do CEA encontravam-se instaladas caixas de passagem (Figura 11A), nas quais os condutores verticais ligados às calhas coletoras conectavam-se. Tais caixas de passagem tinham como função receber e encaminhar a água pluvial advinda do telhado. No caso da lateral esquerda do prédio, tais caixas tinham a função, também, de agregar a chuva escoada pelo piso externo do prédio (coletores de piso).

Ao final das caixas de passagem encontrava-se a caixa de desvio (Figura 11B). Em tal caixa, a existência de um desvio em “Y” possibilitava o encaminhamento, ou não, da água pluvial coletada para a estação de captação e tratamento. Nos casos de encaminhamento da água pluvial coletada, a mesma passava por uma última caixa de passagem, essa possuidora de um gradeamento simplificado (caixa gradeada), cuja finalidade era impedir que materiais mais grosseiros, como folhas e gravetos, prosseguissem com a água pluvial até a estação de captação e tratamento (Figura 11C).



(A)



(B)



(C)

Figura 11: Caixa de passagem (A), de desvio (B) e gradeada (C) utilizada no desenvolvimento do estudo.

4.2.4 Reservatórios

Foram utilizados, na estação experimental de captação e tratamento de águas pluviais, dois reservatórios distintos: o primeiro para acumulação temporária da água pluvial coletada e, o segundo, para o armazenamento da água pluvial já tratada pelo sistema. Ambos os reservatórios possuíam capacidade para 3 m^3 e eram feitos de fibra de vidro. Devido às suas funções, os reservatórios foram chamados, respectivamente, no presente estudo, de Reservatório de Acumulação e Reservatório de Armazenamento (Figura 12).



Figura 12: Fotografia dos reservatórios utilizados na estação experimental de captação e tratamento de águas pluviais. À esquerda, reservatório utilizado para acumulação temporária da água pluvial coletada (Reservatório de Acumulação). À direita, reservatório utilizado para o armazenamento da água pluvial já tratada (Reservatório de Armazenamento).

4.2.5 Bombas

Eram constituintes, também, da estação experimental de captação e tratamento de águas pluviais utilizada no desenvolvimento do presente estudo, duas bombas (Figura 13).

A primeira delas (Bomba 1, Figura 10), tinha por função homogeneizar a água pluvial contida no Reservatório de Acumulação. Possuía vazão máxima de $4,8 \text{ m}^3/\text{h}$ e potência de $\frac{1}{4} \text{ cv}$. A segunda bomba (Bomba 2, Figura 10) era utilizada para bombear água pluvial até o filtro de pressão. Dependendo da abertura dos registros do sistema, a Bomba 2 poderia levar a água pluvial do Reservatório de Acumulação até o filtro e deste ao Reservatório de Armazenamento (posição filtrar), ou bombear a água pluvial já filtrada no sentido inverso de filtração, descartando a água pluvial utilizada no Reservatório de Limpeza (posição lavar). A Bomba 2 possuía vazão de $3,3 \text{ m}^3/\text{h}$ e potência de $\frac{1}{3} \text{ cv}$.



Figura 13: Fotografia das bombas utilizadas na estação captação e tratamento de águas pluviais. À esquerda, Bomba 1, utilizada para homogeneização da água pluvial contida no Reservatório de Acumulação. À direita, Bomba 2, utilizada para encaminhamento da água pluvial até o filtro de pressão. Sem escala.

4.2.6 Filtro de pressão e meio filtrante

Para a filtração das águas pluviais, utilizou-se um filtro rápido de pressão de escoamento descendente da marca MARK, modelo F28R com as dimensões: 71 cm de altura e 28 cm de diâmetro.

Segundo especificações do manual de instruções do produto, o filtro utilizado apresenta uma taxa de filtração nominal de $1440 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$ e área filtrante de $0,06 \text{ m}^2$. Visando garantir um tempo médio de filtração de 60 minutos, empregou-se uma taxa efetiva média de filtração de $1200 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$. Na Figura 14 tem-se uma fotografia do filtro de pressão utilizado no trabalho.



Figura 14: Fotografia do filtro de pressão utilizado no trabalho. Sem escala.

Como meio filtrante a ser utilizado no filtro de pressão, optou-se por uma camada única de areia. Essa escolha foi feita baseando-se no fato de que esse material é o mais usual em filtros de pressão do tipo utilizado, além de ser de fácil aquisição.

A quantidade de areia colocada no filtro de pressão (25 kg) foi definida a partir do indicado no manual de instruções do produto. A areia utilizada como meio filtrante foi adquirida da empresa “Teo Tokus Indústria e Comércio Ltda”, como “areia especial para filtro de piscina”.

Para caracterizar o meio filtrante, realizou-se, no Laboratório de Mecânica dos Solos da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), uma análise granulométrica do material adquirido (Figura 15). No ensaio, uma amostra de material seco foi pesada e colocada em um peneirador composto por peneiras de número 16, 40, 60, 100 e 200 por cerca de 10 minutos. Após esse período, o montante contido em cada peneira foi pesado para determinação da granulometria e do coeficiente de uniformidade do material estudado. Os resultados obtidos encontram-se em 5.1.

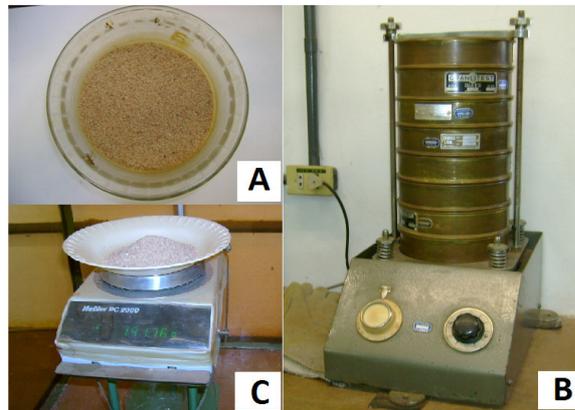


Figura 15: Ensaio granulométrico realizado no Laboratório de Mecânica dos Solos da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) para caracterização do meio filtrante utilizado no trabalho. Em (A), amostra do meio filtrante. Em (B), peneirador utilizado no ensaio. Em (C), pesagem da amostra. Sem escala.

4.2.7 Caixa de Limpeza

Com capacidade para 500 litros e feita de plástico polietileno, a caixa de limpeza utilizada no presente trabalho (Figura 16) tinha como função receber a água pluvial descartada durante o processo de lavagem do filtro de pressão.



Figura 16: Fotografia da caixa de limpeza utilizada na estação de captação e tratamento de águas pluviais.

4.3 ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DE CAPTAÇÃO E TRATAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS – ENSAIOS.

4.3.1 Etapa de captação

A água pluvial interceptada pelo telhado escoava até as calhas coletoras e era conduzida, por meio dos condutores horizontais e verticais, até as caixas de passagem instaladas sob o piso externo do prédio. Nessas caixas, ocorria a junção da água pluvial escoada pelo telhado e da água pluvial escoada sobre o piso externo (coletores de piso).

Das caixas de passagem, a água pluvial seguia para a caixa de desvio. Nos casos em que se optava pelo não armazenamento da água pluvial coletada, mantinha-se o desvio aberto. A água pluvial era direcionada para fora do sistema, até uma área gramada, onde ocorria sua infiltração. Nos casos em que se optava pelo armazenamento da água pluvial coletada, mantinha-se o desvio fechado. Assim, a água coletada seguia até a caixa de passagem gradeada e, dessa, até a estação de captação e tratamento de águas pluviais.

Por não possuir nenhum sistema automático que encerrava o processo de encaminhamento de água pluvial ao sistema, muitas vezes ocorria transbordamento do Reservatório de Acumulação. A Figura 17 apresenta um esquema simplificado do sistema existente na caixa de desvio.

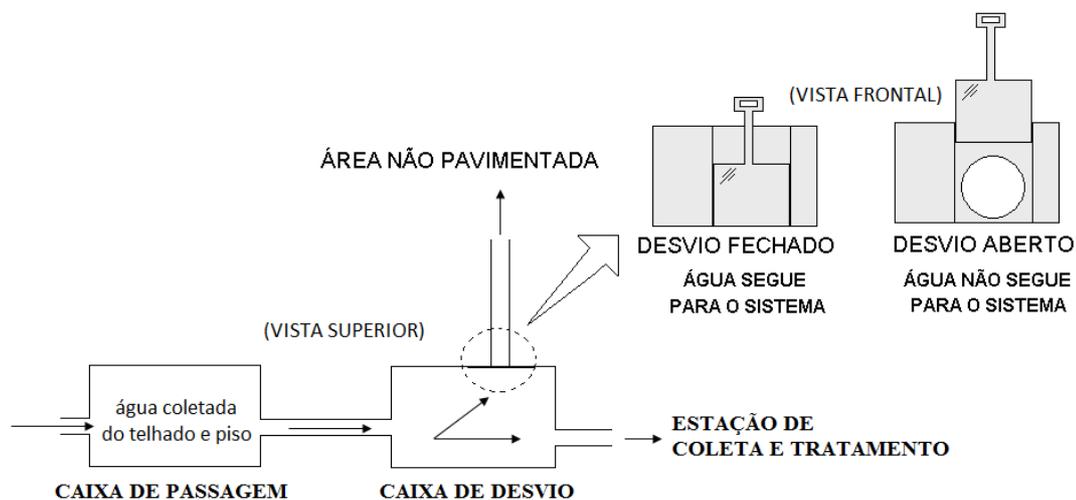


Figura 17: Esquema simplificado do sistema de desvio utilizado no estudo. Sem escala.

4.3.2 Etapa do tratamento

Para análise do desempenho da unidade de filtração em escala real foram avaliadas a eficiência da remoção de impurezas ao longo da carreira de filtração e a produção efetiva do sistema.

Antes de se realizar o tratamento das precipitações em escala real (estação experimental) era necessário obter a dosagem adequada de solução de amido natural de milho a ser utilizada. Assim, eram realizados ensaios laboratoriais prévios a cada precipitação captada. A metodologia de tais ensaios e da preparação das soluções de amido natural de milho encontram-se em 4.3.2.1 e 4.3.2.2, respectivamente.

Na etapa de tratamento em escala real, primeiramente, homogeneizava-se a água pluvial contida no Reservatório de Acumulação. Tal procedimento era realizado por cerca de 10 minutos com o auxílio da Bomba 1, que conduzia a água da parte inferior reservatório até a parte superior do mesmo, conforme esquematizado na Figura 18.

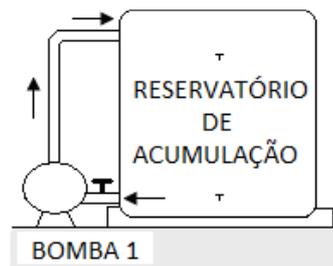


Figura 18: Processo de homogeneização da água pluvial antes do processo de tratamento. Sem escala.

Após a homogeneização, retiravam-se duas amostras de 20 litros cada da água pluvial contida no Reservatório de Acumulação, para a realização de ensaio laboratorial (4.3.2.1) e caracterização físico-química e microbiológica da mesma (4.4). As amostras eram retiradas através de 4 torneiras instaladas ao longo do reservatório buscando-se, com isso, uma melhor amostragem da água pluvial ali contida. Somente após o ensaio laboratorial prosseguia-se o ensaio em escala plena.

Adiciona-se, à água pluvial contida no Reservatório de Acumulação, dois litros de solução de amido natural de milho, preparada conforme 4.3.2.2.

A mistura água pluvial mais solução de amido natural de milho era homogeneizada por 30 minutos, conforme ilustrado na Figura 18.

Após esse processo, configurava-se o filtro de pressão na posição “filtrar” e ligava-se a Bomba 2. A água pluvial contida no Reservatório de Acumulação passava, então, pelo Filtro e era conduzida, deste, até o Reservatório de Armazenamento.

De uma torneira instalada na tubulação entre o Filtro e o Reservatório de Armazenamento, 8 amostras de 100 mL da água pluvial já filtrada eram coletadas nos intervalos: 0'; 5'; 10'; 15'; 20'; 30'; 45' e 60' e eram reservadas para futura análise (4.4). Essa etapa do estudo tinha por objetivo investigar se ocorria saturação do meio filtrante e conseqüente transpasse.

Durante todo o processo de filtração coletava-se, também, dessa torneira, em um balde previamente limpo e desinfetado, uma amostra de cerca de 20 litros de água filtrada, que era reservada e posteriormente analisada (4.4).

A Figura 19 apresenta um esquema simplificado do processo de filtração e retirada das amostras de água pluvial filtrada.

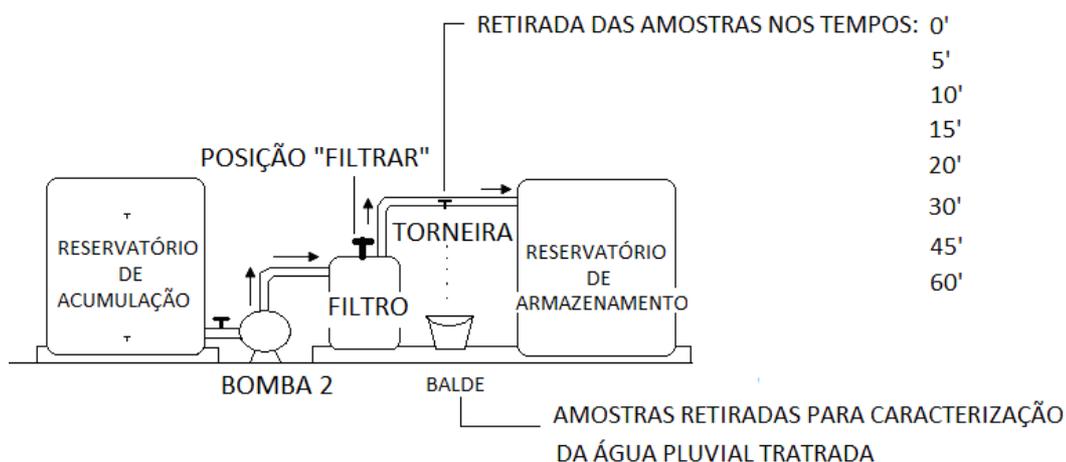


Figura 19: Esquema simplificado do processo de filtração da água pluvial contida no Reservatório de Acumulação e da retirada de amostras de água pluvial filtrada. Sem escala.

4.3.2.1 Ensaios laboratoriais

Os ensaios laboratoriais eram realizados em uma unidade para ensaios de coagulação-floculação, por meio de um equipamento denominado Jarteste (Figura 20). Para cada precipitação captada realizava-se um ensaio laboratorial correspondente.

O Jarteste utilizado no presente estudo era composto por seis jarros de acrílico incolor com capacidade para dois litros cada, nos quais inseriam-se seis paletas giratórias

metálicas. O ajuste de rotação das paletas era realizado em um mostrador digital. O Jarteste empregado possuía também, dispositivos de aplicação e coleta simultânea de amostras.

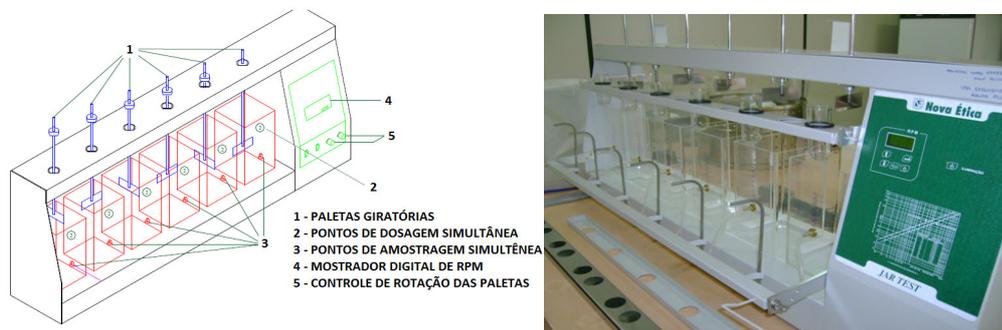


Figura 20: À esquerda, esquema dos componentes do Jarteste. À direita, fotografia do equipamento utilizado. Sem escala.

Os ensaios laboratoriais ocorriam da seguinte maneira: as amostras de água pluvial retiradas do Reservatório de Acumulação eram colocadas dentro dos jarros do Jarteste. Em seguida, adicionava-se, a cada um seis dosadores do Jarteste, volume variável de solução de amido natural de milho com concentração de 2g/L, iniciando-se com 1 mL e aumentando-se de mL em mL. Tais volumes, quando adicionados às amostras de água pluvial contidas nos jarros do Jarteste, correspondiam a dosagens de solução de amido natural de milho entre 1 mg/L e 6 mg/L, respectivamente, conforme esquematizado na Figura 21.

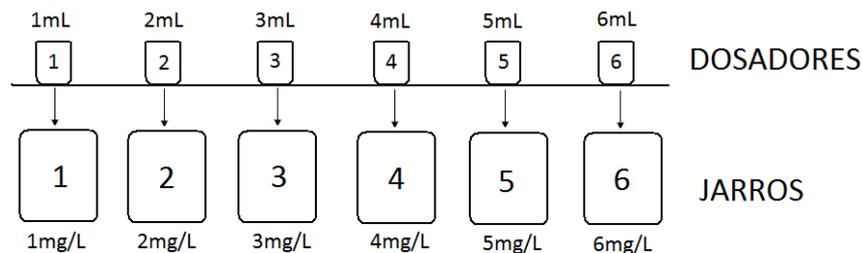


Figura 21: Volumes adicionados aos dosadores e correspondentes concentrações de solução de amido natural de milho. Sem escala.

Quando todos os dosadores continham sua respectiva quantidade de solução de amido natural de milho, ligava-se o Jarteste, imprimindo às paletas uma rotação constante de 45 rpm. Então, invertiam-se simultaneamente os dosadores sobre os jarros do Jarteste, mantendo as amostras de água pluvial acrescidas de solução de amido natural de milho em agitação constante por meia hora. Findado o período de agitação, coletavam-se, simultaneamente, amostras de 100 mL de cada um dos jarros. Tais amostras eram submetidas, em seguida, a um processo de filtração laboratorial.

Para essa etapa, montava-se um sistema de filtração composto por béqueres, funis plásticos e papéis filtro (Figura 22). O papel filtro utilizado possuía porosidade entre 2 e $3\mu\text{m}$, gramatura de 84g/m^2 e diâmetro de 125 mm. Ele era dobrado de forma a se encaixar no funil plástico. Cada amostra de água pluvial mais solução de amido natural de milho era filtrada em um respectivo conjunto “béquer-funil-papel filtro”.



Figura 22: Filtração em laboratório. À esquerda, conjunto béquer-funil-papel filtro. À direita, detalhe do papel filtro dobrado. Sem escala.

Após o processo de filtração, os parâmetros cor aparente e turbidez de cada uma das amostras eram medidos e comparados ao valor de cor aparente e turbidez encontrado na água pluvial bruta (não filtrada e sem adição de solução de amido natural de milho).

A amostra filtrada que obtivesse o melhor resultado, ou seja, maior redução nos valores de cor aparente e turbidez tinha a concentração de amido natural de milho escolhida para utilização em escala plena (estação de captação e tratamento). Quando as amostras apresentavam resultados próximos e inconclusivos, realizava-se um segundo ensaio em Jarreste, adicionando-se volumes de solução de amido natural de milho entre 7 e 12 mL (dosagens equivalentes entre 7 e 12 mg/L). O processo de filtração, análise e comparação de resultados mantinha-se o mesmo.

4.3.2.2 Preparo das soluções de amido natural de milho

Foram preparadas, para cada precipitação coletada, duas soluções de amido natural de milho: uma para ensaio laboratorial e outra para ensaio em escala plena.

Para utilização em laboratório, a solução de amido natural de milho possuía sempre a mesma concentração: 2 g/L. Em sua preparação, dissolvia-se, em um béquer de

vidro de 250 mL, 0,2g de amido natural de milho (marca Maisena) em 100 mL de água destilada. Aquecia-se, então, em uma chapa aquecedora elétrica, a mistura preparada, mantendo-a em leve agitação e em ponto de fervura por 10 minutos. Após esse processo, a solução era deixada em repouso, para esfriar, até a temperatura ambiente.

Já para os ensaios em escala plena (estação de captação e tratamento), a quantidade de amido natural de milho a ser utilizada variava conforme os resultados obtidos nos ensaios laboratoriais. Verificando-se qual era a concentração de solução que ocasionava maiores reduções de cor aparente e turbidez, determinava-se a quantidade de amido natural de milho correspondente para reproduzir igual concentração em um volume de 3 m³ de água pluvial.

Dissolvia-se, então, em um erlenmeyer de vidro de 2L, a quantidade determinada de amido natural de milho (marca Maisena) em 2 litros de água destilada. A mistura era aquecida, na chapa aquecedora, e mantida em agitação leve e ponto de fervura por 10 minutos. Em seguida era deixada em repouso até esfriar.

4.3.3 Etapa da limpeza do filtro de pressão

Após o processo de filtração, realizava-se a limpeza do filtro de pressão, com o objetivo de mantê-lo com as mesmas condições iniciais a cada utilização.

O procedimento de limpeza ocorria da seguinte maneira: primeiramente configurava-se o Filtro na posição “lavar”. Em seguida, ligava-se a Bomba 2. Com isso, a água contida no Reservatório de Armazenamento (água pluvial filtrada) era bombeada no sentido inverso de filtração, limpando o filtro e sendo direcionada até a Caixa de Descarte.

Visando-se estudar qual era a produção efetiva do sistema, coletavam-se, a começar no tempo zero e encerrar-se no décimo minuto, de minuto em minuto, amostras da água que chegava à Caixa de Descarte (Figura 23). Com a verificação da cor aparente e turbidez dessas amostras, determinava-se o tempo necessário para que tais parâmetros tornassem-se constantes. A partir da vazão de chegada da água pluvial na Caixa de descarte podia-se, mais tarde, calcular o volume de água pluvial gasto para limpeza do sistema de filtração.

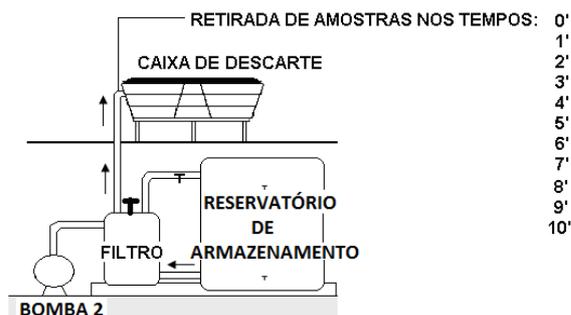


Figura 23: Esquema simplificado do processo de limpeza do filtro de pressão utilizado no presente trabalho. Sem escala.

4.4 CARACTERIZAÇÕES FÍSICO-QUÍMICAS E MICROBIOLÓGICAS

Todas as análises laboratoriais efetuadas durante o presente estudo foram realizadas nos Laboratórios de Química e Microbiologia do CEA da UNESP de Rio Claro, seguindo metodologia estabelecida pelo *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater 21th*.

Como descrito em 4.3.2.1, as análises realizadas nas amostras dos ensaios laboratoriais eram cor aparente e turbidez. Esses mesmos parâmetros eram analisados nas amostras de água pluvial coletadas durante o intervalo de filtração e limpeza do filtro de pressão. Para caracterização da água pluvial antes e após o processo de filtração em escala plena foram analisados os parâmetros: cor aparente, turbidez, pH, condutividade elétrica, alcalinidade, dureza total, sulfato, sólidos totais dissolvidos, sólidos sedimentáveis, nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato, DBO_{20,5}, Coliformes Totais, *E. Coli*, apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Parâmetros físico-químicos e microbiológicos analisadas nas amostras de água pluvial antes e após a filtração em escala plena.

Parâmetro	Unidade	Parâmetro	Unidade
pH	-	Nitrito	mg/L
Condutividade Elétrica	μS/cm	Nitrato	mg/L
Alcalinidade	mg/L	DBO _{20,5}	mg/L
Dureza total	mg/L	Cor Aparente	uH
Sulfato	mg/L	Turbidez	uT
Sólidos Totais Dissolvidos	mg/L	Coliformes Totais	NMP/100mL
Sólidos Sedimentáveis	mg/L	<i>E. Coli</i>	NMP/100mL
Nitrogênio Amoniacal	mg/L		

4.5 ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO EFETIVA E DO CUSTO DO SISTEMA

A produção efetiva do sistema foi encontrada a partir dos cálculos de volume de água pluvial gasto na limpeza do filtro de pressão e volume de água pluvial potencialmente captável (água que poderia ter sido captada considerando-se o volume de reserva como não sendo fator limitante).

Para o cálculo do volume de água pluvial necessário para realizar a limpeza do filtro de pressão, anotou-se a vazão da água utilizada para a limpeza do filtro em cada um dos ensaios. Posteriormente, empregando um determinado tempo de limpeza, chegou-se ao valor de volume gasto para a limpeza do filtro de pressão. Como a abertura total dos registros das tubulações acarretava arraste de meio filtrante, optou-se por uma abertura parcial dos mesmos. Como a abertura de registros não era realizada sempre na mesma medida, as vazões resultantes foram diferentes em casa ensaio.

O cálculo do volume de água potencialmente captável foi feito a partir da fórmula 1, abaixo, extraída da norma NBR 15527/07:

$$V = P \times A \times C \times \eta \text{ fator de captação} \quad (1)$$

Onde:

V é o volume diário de água pluvial aproveitável, em litros;

P é a precipitação diária, em milímetros;

A é a área de captação em metros quadrados;

C é o coeficiente de escoamento superficial da cobertura (no caso: 0,9); e

η fator de captação é a eficiência do sistema de captação, levando em conta o descarte do escoamento inicial. Como, no caso, não houve descarte da primeira chuva, utilizou-se o $\eta = 1$.

Como tais valores encontrados, fez-se o cálculo da produção efetiva do sistema subtraindo-se do volume de água potencialmente captável o volume de água utilizada na limpeza do filtro de pressão.

A eficiência do sistema de filtração empregado foi calculada a partir da equação 2:

$$\eta = 1 - \frac{\text{residual}}{\text{inicial}} \quad (2)$$

Onde:

η = eficiência do sistema

residual = valor do parâmetro analisado após o processo de filtração

inicial = valor do parâmetro analisado antes do processo de filtração.

Para calcular o custo do tratamento utilizado no presente trabalho, inicialmente calculou-se o consumo, em kWh, das duas bombas utilizadas no processo de filtração empregado. Esse cálculo foi feito levando-se em conta a potência das bombas e o tempo de uso de cada uma delas.

Em seguida, multiplicou-se o consumo energético obtido pelo valor de kWh cobrado para usos residenciais. Esse valor de custo foi obtido em contato com a empresa Elektro de Rio Claro-SP em julho de 2010.

Para efeito de comparação, buscou-se saber o valor de cobrança de água tratada no município para a faixa de consumo entre 0 e 10 m³. Esse valor de cobrança foi obtido no site do Departamento Autônomo de Água e Esgoto de Rio Claro –SP.

Adicionalmente, a partir do volume de água pluvial gasto para efetuar a limpeza do filtro de pressão, calculou-se o *first flush* correspondente a essa quantidade de água descartada, levando-se em conta a área de captação. Comparando-se os resultados de redução residuais obtidos no presente estudo com os obtidos por Murakami (2007), pôde-se calcular, de forma expedita, a quantidade de água pluvial que deixou de ser eliminada devia à melhoria de qualidade ocasionada pelo tratamento empregado.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DO MEIO FILTRANTE

Conforme metodologia descrita em 4.2.6, o meio filtrante utilizado no presente estudo foi submetido a uma análise granulométrica para sua caracterização.

Os resultados obtidos no ensaio encontram-se expostos na Tabela 4, que apresenta o número e a abertura das peneiras utilizadas e o peso e correspondente porcentagem do material retido em cada peneira. Na Figura 16 tem-se a curva granulométrica do meio filtrante.

Embora os resultados obtidos não sejam suficientes para o cálculo do coeficiente de uniformidade, pode-se assumir que a areia utilizada possuía granulometria de 0,42 mm.

Tabela 4 - Resultado do ensaio granulométrico do meio filtrante.

Número	Peneira		Material Retido (g)	Material Retido (%)
	Abertura (mm)			
16	1,200		13,24	6,91
40	0,420		178,18	92,97
60	0,250		0,15	0,08
100	0,150		0,06	0,03
200	0,075		0,01	0,01
TOTAL			191,74	100

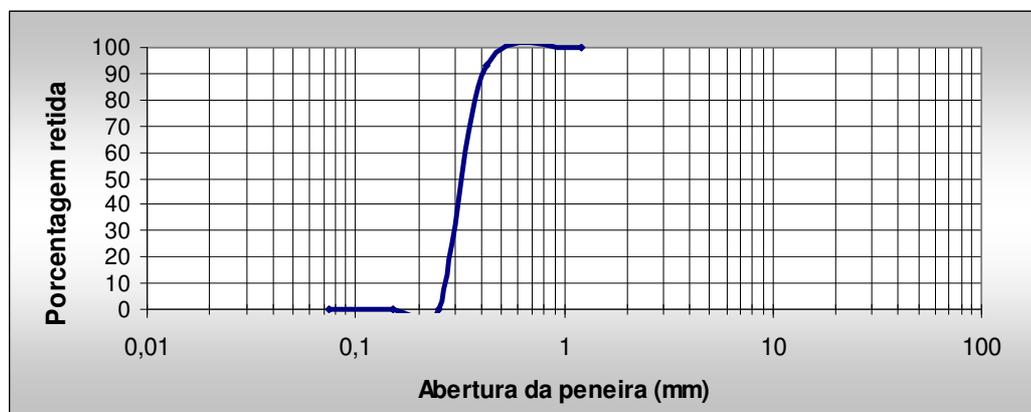


Figura 24: Curva granulométrica do meio filtrante utilizado no presente estudo.

5.2 ANÁLISE DAS PRECIPITAÇÕES COLETADAS

Foram coletadas, para desenvolvimento do presente estudo, dezoito precipitações, ocorridas entre os meses de novembro de 2009 e janeiro de 2010. Por se tratar de um período chuvoso, o tempo de estiagem entre uma coleta e outra foi curto, variando entre zero e três dias. A altura média de precipitação registrada foi 33,2 mm, sendo a menor de 10,3 mm (em 16/11/2009) e a maior de 119,7 mm (ocorrida em 29/12/2009). As intensidades máximas de precipitação variaram entre 0,8 mm/10 min. (em 29/11/2009) e 18,8 mm/10min (em 07/01/2010), apresentando uma média de 7,2 mm em dez minutos de precipitação.

Os parâmetros citados podem ser observados na Tabela 5 que apresenta, também, os valores de cor aparente e turbidez encontrados nas precipitações estudadas.

Tabela 5 - Principais características das precipitações captadas e tratadas durante o estudo.

Chuva	Data	Tempo de Estiagem (dias) *	Volume precipitado (mm) *	Intensidade	Cor aparente (uH)	Turbidez (UT)
				de precipitação máxima (mm/10min) *		
1	08/11/2009	0	29,6	9,4	41	5,9
2	16/11/2009	3	10,3	2,4	142	12,5
3	24/11/2009	1	20,4	5,6	21	5,0
4	27/11/2009	1	41,3	9,3	97	38,5
5	29/11/2009	0	13,0	0,8	78	14,8
6	03/12/2009	3	33,0	9,2	120	37,5
7	08/12/2009	0	15,6	0,9	41	6,0
8	12/12/2009	0	13,7	3,6	116	33,5
9	18/12/2009	2	24,4	3,7	34	12,8
10	29/12/2009	0	119,7	7,0	55	7,4
11	30/12/2009	0	33,7	4,9	53	10,0
12	07/01/2010	0	19,2	18,8	52	7,7
13	15/01/2010	2	38,0	18,7	55	10,9
14	19/01/2010	0	48,5	9,4	104	16,1
15	22/01/2010	0	27,8	6,5	114	20,2
16	24/01/2010	0	33,3	9,0	124	20,8
17	26/01/2010	0	30,4	4,2	92	19,0
18	29/01/2010	0	45,7	6,2	76	16,5

Nota: (*) - dados fornecidos pelo Centro de Análise e Planejamento (CEAPLA) da UNESP de Rio Claro.

Em relação à cor aparente das precipitações, observou-se uma variação entre 21 e 142 uH e média de 78,6 uH. Acredita-se que os elevados valores apresentados ocorreram devido às intensidades das precipitações e pelo fato de parte da coleta ser realizada em piso externo. Em relação à turbidez das precipitações coletadas, observou-se valores que variaram entre 5 e 38,5 uT, com média de 16,4 uT. Mais uma vez relacionou-se essa característica às intensidades das precipitações e ao local de coleta.

A Figura 25 ilustra os valores de cor aparente e turbidez encontrados nas precipitações estudadas enquanto que a Figura 26 apresenta a correlação entre os parâmetros citados. Para facilitar a visualização gráfica, as precipitações estudadas foram representadas nas figuras apresentadas nesse trabalho pelo número correspondente à sequência em que ocorreram, conforme estabelecido na Tabela 3.

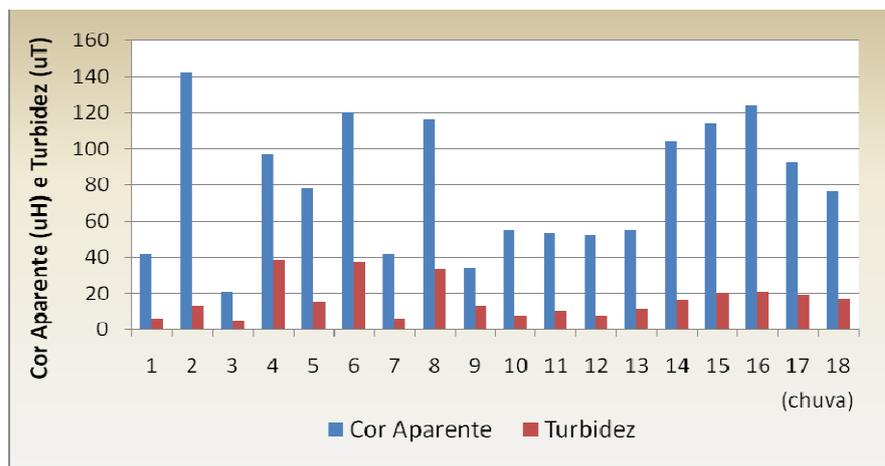


Figura 25: cor aparente e turbidez das precipitações estudadas.

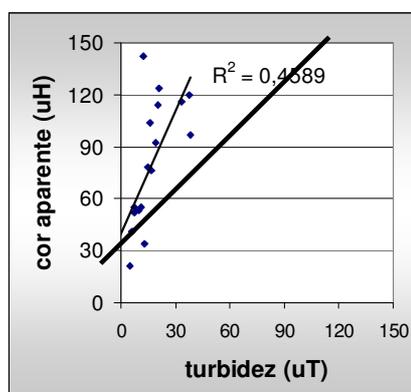


Figura 26: relação entre turbidez e cor aparente das precipitações estudadas com ajuste linear.

A partir da observação da Figura 26, verificou-se claramente a existência de uma correlação direta entre o crescimento da cor aparente e da turbidez (correlação de 0,68),

embora tal correlação não siga perfeitamente um ajuste linear (coeficiente de determinação de $R^2=0,45$). Supõe-se que esse comportamento decorra do curto período de estiagem, pois a variação de turbidez é menos acentuada quando comparada à variação da cor aparente (desvio padrão de 36,2 para cor aparente e de 10,5 para turbidez). Assim, verifica-se que a cor aparente é um importante parâmetro para caracterização de precipitações consecutivas (períodos chuvosos).

5.3 ENSAIOS NA ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DE CAPTAÇÃO E TRATAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS

Realizaram-se, na estação experimental de captação e tratamento de águas pluviais, dezoito ensaios de filtração, sendo os quinze primeiros com utilização de solução de amido natural de milho e os três restantes sem auxílio de nenhum produto. As dosagens utilizadas nos ensaios com utilização de solução de amido natural de milho foram determinadas com base nos ensaios laboratoriais, conforme descrito em 4.3. Os resultados de tais ensaios encontram-se no Apêndice A.

5.3.1 Amostras coletadas durante a filtração em escala plena

Conforme descrito, amostras de água pluvial foram coletadas nos tempos: 0'; 5'; 10'; 15'; 20'; 30'; 45' e 60' durante os ensaios de filtração em escala plena e tiveram analisados seus parâmetros: cor aparente e turbidez.

Os resultados obtidos no parâmetro cor aparente encontram-se apresentados na Tabela 6 e ilustrados na Figura 19, enquanto que os resultados obtidos no parâmetro turbidez encontram-se na Tabela 7 e na Figura 28.

Os valores extremos obtidos foram suprimidos nas Figuras 29 e 30, visando facilitar a visualização gráfica.

Tabela 6 - Variação da cor aparente durante os ensaios de filtração em escala plena.

Ensaio	Dosagem	Água pluvial bruta	Cor Aparente (uH)							
			Durante a filtração							
			0'	5'	10'	15'	20'	30'	45'	60'
1	6,0	41	396	12	9	7	5	6	7	8
2	2,0	142	158	132	132	149	135	134	143	136
3	3,0	21	66	21	16	16	17	17	16	16
4	6,0	97	77	50	56	49	53	48	53	50
5	5,0	78	65	46	44	42	41	42	41	42
6	12,0	120	304	40	36	37	39	42	40	43
7	6,0	41	63	33	46	33	36	34	34	32
8	6,0	116	146	56	55	51	53	52	52	52
9	11,0	34	62	30	28	28	27	28	29	29
10	11,0	55	168	42	41	42	43	43	44	45
11	4,0	53	152	45	45	45	45	45	45	48
12	7,0	52	73	50	46	43	43	43	46	44
13	11,0	55	52	35	36	39	35	34	35	38
14	1,0	104	141	87	71	62	59	63	64	68
15	7,0	114	66	57	54	49	54	50	52	48
16	0	124	99	113	102	115	118	95	109	110
17	0	92	66	53	54	55	50	50	56	48
18	0	76	110	64	60	61	59	58	61	61

Nota: nos ensaios 16, 17 e 18 não houve aplicação de solução de amido natural de milho, por isso a dosagem é referida como zero.

Tabela 7 - Variação da turbidez durante os ensaios de filtração em escala plena.

Ensaio	Dosagem	Água pluvial bruta	Turbidez (UT)							
			Durante a filtração							
			0'	5'	10'	15'	20'	30'	45'	60'
1	6,0	5,9	35,1	2,6	2,5	2,6	2,3	2,7	2,6	2,6
2	2,0	12,5	14,4	8,7	8,5	10,1	8,5	8,5	8,5	8,5
3	3,0	5,0	6,0	1,9	2,2	2,1	2,5	2,3	2,1	1,7
4	6,0	38,5	5,1	6,6	7,6	7,2	7,4	7,0	6,7	6,9
5	5,0	14,8	5,5	4,5	4,3	4,2	4,1	4,0	4,1	3,8
6	12,0	37,5	15,4	5,3	5,5	4,7	5,5	6,1	5,6	5,9
7	6,0	6,0	6,3	3,8	3,3	3,2	3,3	3,3	3,1	3,0
8	6,0	33,5	8,3	10,2	10,4	11,5	10,5	10,7	10,9	11,2
9	11,0	12,8	6,2	4,2	4,0	3,9	4,1	3,9	4,0	4,1
10	11,0	7,7	10,7	5,1	5,2	5,1	5,2	5,1	5,2	4,3
11	4,0	10,0	10,2	6,9	6,7	6,6	6,6	6,5	6,6	6,7
12	7,0	7,7	8,6	7,4	6,7	6,8	6,8	6,7	6,9	6,8
13	11,0	10,9	6,2	3,7	3,6	3,4	3,5	3,3	3,5	3,1
14	1,0	16,1	14,2	10,5	11,2	11,1	10,4	11,3	10,8	10,7
15	7,0	20,2	15,4	10,4	10,4	9,7	10,3	10,4	10,3	10,2
16	0	20,8	11,3	16,3	13,7	18,2	17,7	13,5	17,4	16,8
17	0	19,0	8,3	7,1	7,2	6,7	6,3	6,4	7,4	6,4
18	0	16,5	9,0	8,1	8,3	8,1	8,4	8,5	8,8	9,0

Nota: nos ensaios 16, 17 e 18 não houve aplicação de solução de amido natural de milho, por isso a dosagem é referida como zero.

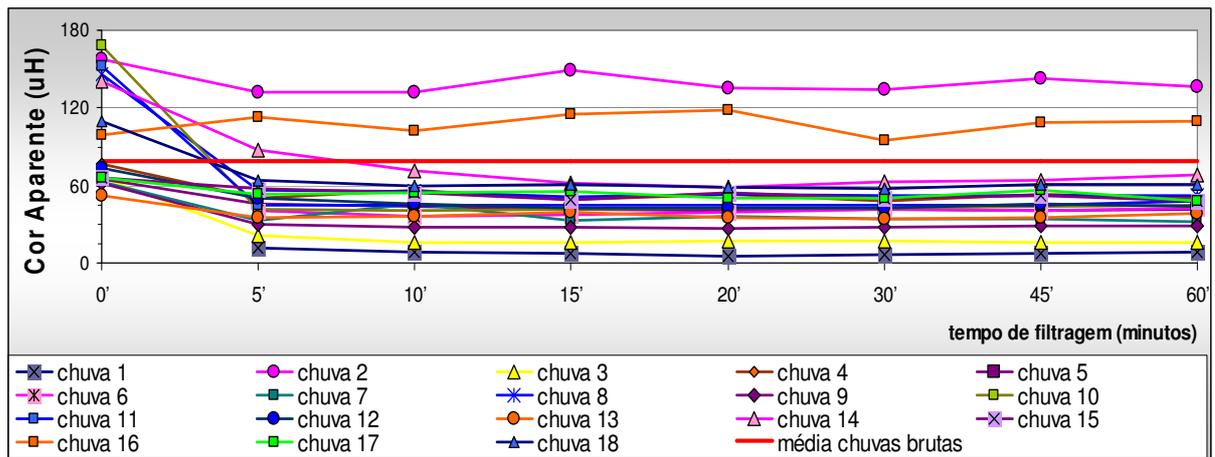


Figura 27: Cor aparente obtida nas amostras coletadas durante os ensaios de filtração, nas dezoito precipitações estudadas. Nota: média = 78,6 uH; desvio padrão = 36,16 uH.

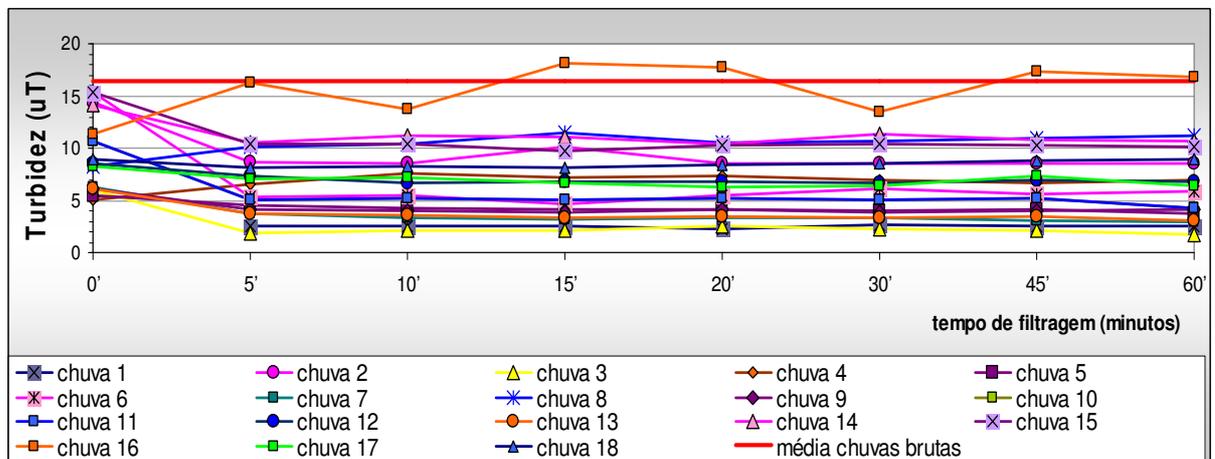


Figura 28: Turbidez obtida nas amostras coletadas durante os ensaios de filtração. Nota: média = 16,4 uT. Desvio padrão = 10,48 uT.

A partir dos resultados das Tabelas 6 e 7, pôde-se notar, na grande maioria dos ensaios, um aumento da cor aparente e turbidez das amostras no início do processo de filtração. Esse comportamento, característico do início de operação de sistemas de filtração, define o período de amadurecimento do meio filtrante e pode ser crítico em sistemas de operação intermitente, como o utilizado. Geralmente está associado às impurezas retidas e não removidas na lavagem, bem como a residuais de água de lavagem no interior da tubulação.

Observando-se a Figura 19, notou-se que a partir do quinto minuto de ensaio as amostras mantiveram um comportamento parecido e constante, indicando estabilidade na qualidade da água produzida. Comparando-se os resultados ao valor médio de cor aparente das chuvas brutas, percebeu-se que a maioria das precipitações tratadas ficou abaixo desse valor, o que indica melhoria da qualidade.

Em relação à turbidez, a partir dos resultados expostos na Tabela 5, pode-se notar, em quase todos os ensaios, um aumento da turbidez das amostras no início do processo

de filtração. A partir da observação gráfica, mais uma vez notou-se que as amostras mantiveram valores de turbidez e cor aparente com residuais constantes. Comparando-se ao valor médio de turbidez das chuvas brutas, percebe-se que a maioria das precipitações tratadas ficou abaixo desse valor, o que indica melhoria da qualidade.

A Figura 29 traz a comparação entre as médias obtidas em cada tempo de filtração, das dezoito precipitações, para os parâmetros cor aparente e turbidez. A partir do exposto na figura, pode-se perceber que ambos os parâmetros tiveram seu valor reduzido mais acentuadamente até o quinto minuto de filtração, permanecendo praticamente constantes durante todo o restante da etapa.

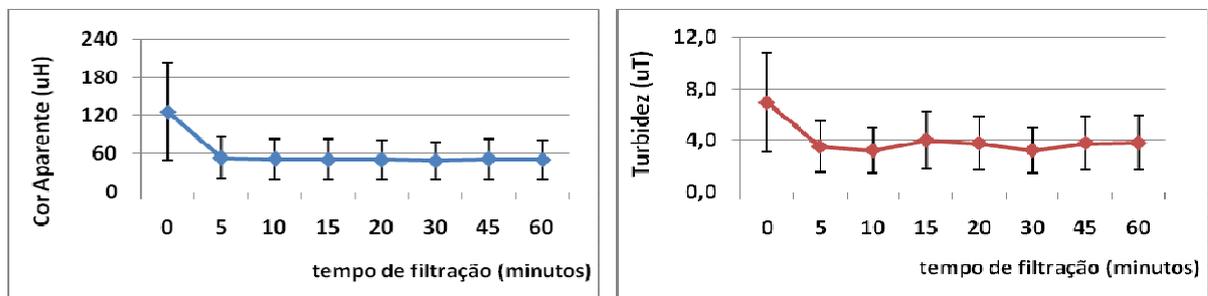


Figura 29: comparação entre as médias obtidas em cada tempo de filtração para os parâmetros cor aparente (à esquerda) e turbidez (à direita).

Nota: erro estimado pela razão do desvio padrão médio e média dos valores.

5.3.2 Amostras coletadas antes e depois da filtração em escala plena

Como descrito em 4.4, parâmetros físico-químicos e microbiológicos foram analisados nas amostras de água pluvial antes e após o ensaio de filtração em escala plena.

Os resultados obtidos nas amostras compostas, para os parâmetros cor aparente e turbidez, encontram-se nas Tabelas 8 e 9 e Figuras 30 e 31, enquanto que os valores encontrados nos parâmetros coliformes totais e *E. coli* podem ser observados nas Tabelas 10 e 11 e Figuras 32 e 33, respectivamente.

Os resultados obtidos nos demais parâmetros estudados encontram-se no Apêndice B. Para esses parâmetros não foi observada variação significativa, razão pela qual se optou por não apresentá-los no corpo desse texto.

Tabela 8 - Resultados obtidos em escala real para o parâmetro cor aparente.

Precipitação	pH de coagulação	Dosagem (mg/L)	Cor Aparente (uH)			
			Água pluvial bruta	Água pluvial tratada	Redução absoluta (uH)	Redução percentual (%)
1	4,7	6,0	41	16	25	61,0
2	6,0	2,0	142	135	7	4,90
3	7,2	3,0	21	17	4	19,0
4	5,1	6,0	97	51	46	47,4
5	4,8	5,0	78	47	31	39,7
6	5,2	12,0	120	69	51	42,5
7	6,1	6,0	41	36	5	12,2
8	6,6	6,0	116	69	47	40,5
9	6,5	11,0	34	28	6	17,6
10	6,1	11,0	55	45	10	18,2
11	5,7	4,0	53	45	8	15,1
12	5,8	7,0	52	45	7	13,5
13	5,9	11,0	55	36	19	34,5
14	6,8	1,0	104	68	36	34,6
15	6,0	7,0	114	55	59	51,8
16	5,8	0,0	124	108	16	12,9
17	6,8	0,0	92	55	37	40,2
18	7,3	0,0	76	61	15	19,7
		Média	78,6	54,8	23,8	30,3

Nota: nos ensaios 16, 17 e 18 não houve aplicação de solução de amido natural de milho, por isso a dosagem é referida como zero.

Tabela 9 – Resultados obtidos em escala real para o parâmetro turbidez.

Precipitação	pH de coagulação	Dosagem (mg.L ⁻¹)	Turbidez (uT)			
			Água pluvial bruta	Água pluvial tratada	Redução absoluta (uT)	Redução percentual (%)
1	4,7	6,0	5,9	2,5	3,4	57,6
2	6,0	2,0	12,5	8,8	3,7	29,6
3	7,2	3,0	5,0	2,1	2,9	58,0
4	5,1	6,0	38,5	9,9	28,6	74,3
5	4,8	5,0	14,8	5,9	8,9	60,1
6	5,2	12,0	37,5	15,4	22,1	58,9
7	6,1	6,0	6,0	5,4	0,6	10,0
8	6,6	6,0	33,5	11,6	21,9	65,4
9	6,5	11,0	12,8	4,6	8,2	64,1
10	6,1	11,0	7,7	4,7	3,0	39,0
11	5,7	4,0	10,0	6,9	3,1	31,0
12	5,8	7,0	7,7	6,9	0,8	10,4
13	5,9	11,0	10,9	3,4	7,5	68,8
14	6,8	1,0	16,1	11,4	4,7	29,2
15	6,0	7,0	20,2	5,9	14,3	70,8
16	5,8	0,0	20,8	15,6	5,2	25,0
17	6,8	0,0	19,0	7,0	12,0	63,2
18	7,3	0,0	16,5	8,5	8,0	48,5
		Média	16,4	7,6	8,8	53,7

Nota: nos ensaios 16, 17 e 18 não houve aplicação de solução de amido natural de milho, por isso a dosagem é referida como zero.

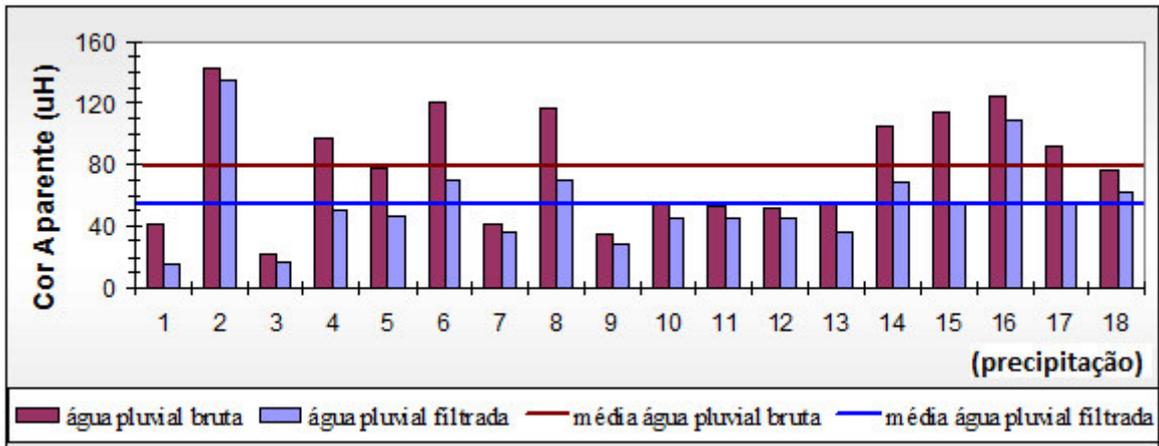


Figura 30: Resultados de variação de cor aparente nos ensaios de filtração em escala plena.

Nota 1: média água pluvial bruta = 78 uH. Desvio padrão = 36 uH.

Nota 2: média água pluvial filtrada = 54 uH. Desvio padrão = 29 uH

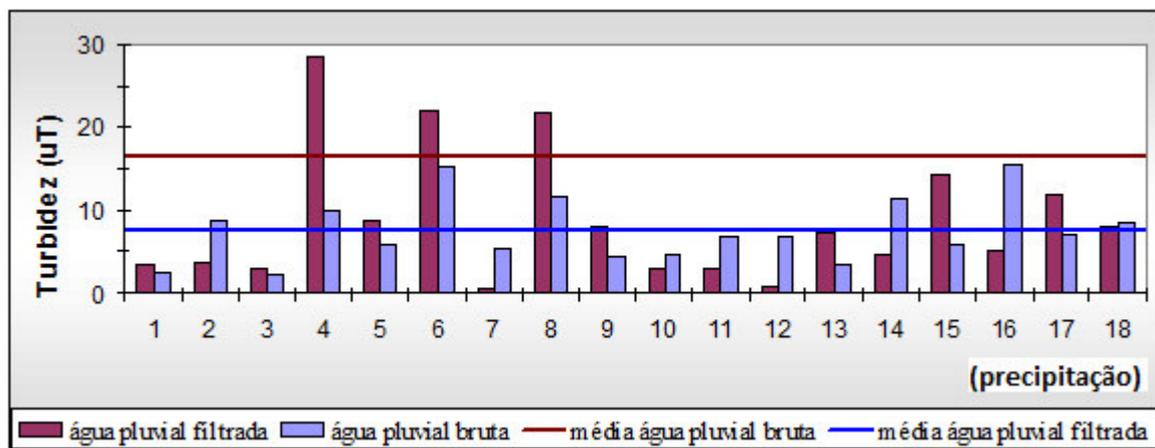


Figura 31: Resultados de variação de turbidez nos ensaios de filtração em escala plena.

Nota 1: média água pluvial bruta = 16 uT. Desvio padrão = 10 uT.

Nota 2: média água pluvial filtrada = 7 uT. Desvio padrão = 3 uT.

Analisando-se os resultados obtidos no parâmetro cor aparente, observou-se uma redução média de 24 uH, o que, em porcentagem, corresponde a cerca de 30%. Em termos de unidade, a maior redução encontrada ocorreu no 15º ensaio (chuva ocorrida em 22/01/2010; dosagem de solução de amido natural de milho: 7 mg/L), no qual a cor aparente passou de 114 uH para 55 uH (redução de 59 uH). A menor redução, por sua vez, foi observada no 3º ensaio (chuva ocorrida em 24/11/2009; dosagem de solução de amido natural de milho: 3 mg/L), no qual a cor aparente passou de 21 uH para 17 uH (redução de 4 uH).

Embora existentes, as reduções observadas não foram suficientes para enquadrar a água pluvial tratada dentro do limite permitido pela NBR 15527/07 (< 15uH), ficando a média observada (54,8 uH) acima desse valor.

Em relação aos resultados obtidos no parâmetro turbidez, observou-se uma redução média de 9 uT, o que, em porcentagem, corresponde a cerca de 54%. Em termos de

unidade, a maior redução encontrada ocorreu no 4º ensaio (chuva ocorrida em 26/11/2009; dosagem de solução de amido natural de milho: 6 mg/L), no qual a turbidez passou de 38,5 uT para 9,9 uT (redução de 28,6 uT). A menor redução, por sua vez, foi observada no 7º ensaio (chuva ocorrida em 08/12/2009; dosagem de solução de amido natural de milho: 6 mg/L), no qual a turbidez passou de 6,0 uT para 5,4 uT (redução de 0,6 uT).

No caso da turbidez, alguns ensaios resultaram em valores permitidos pela NBR 15527/07 para usos menos restritivos (< 5,0 uT), sendo a média encontrada (7,6 uT) não muito superior a esse máximo.

Tabela 10 – Concentração de Coliformes Totais nas amostras de água pluvial antes e após o processo de filtração.

Precipitação	Coliformes Totais (NMP/100mL)		
	Água pluvial bruta	Água pluvial filtrada	Diferença
1	> limite	> limite	-
2	> limite	> limite	-
3	> limite	2419,6	-
4	> limite	2419,6	-
5	> limite	2419,6	-
6	1413,6	410,6	1003,0
7	1203,3 x 10 ²	1119,9 x 10 ²	83,4 x 10 ²
8	410,6 x 10 ²	143,9 x 10 ²	266,7 x 10 ²
9	770,1x 10 ²	547,5x 10 ²	222,6 x 10 ²
10	2419,6 x 10 ²	1732,9 x 10 ²	686,7 x 10 ²
11	195,6 x 10 ²	148,3 x 10 ²	47,3 x 10 ²
12	2419,6 x 10 ²	1046,6 x 10 ²	1373,0 x 10 ²
13	2419,2 x 10 ²	1413,6 x 10 ²	1005,5 x 10 ²
14	816,4 x 10 ²	547,5x 10 ²	268,9 x 10 ²
15	1119,9 x 10 ²	920,8 x 10 ²	199,1 x 10 ²
16	1203,3 x 10 ²	1203,3 x 10 ²	0,0
17	1732,9 x 10 ²	1413,6 x 10 ²	319,3 x 10 ²
18	1203,3 x 10 ²	866,4 x 10 ²	336,9 x 10 ²

Notas: Os ensaios de 7 a 18 foram realizados com diluição 10⁻², por isso os resultados encontram-se expressos em multiplicados por 10². > limite = valor encontrado acima do limite de leitura do método.

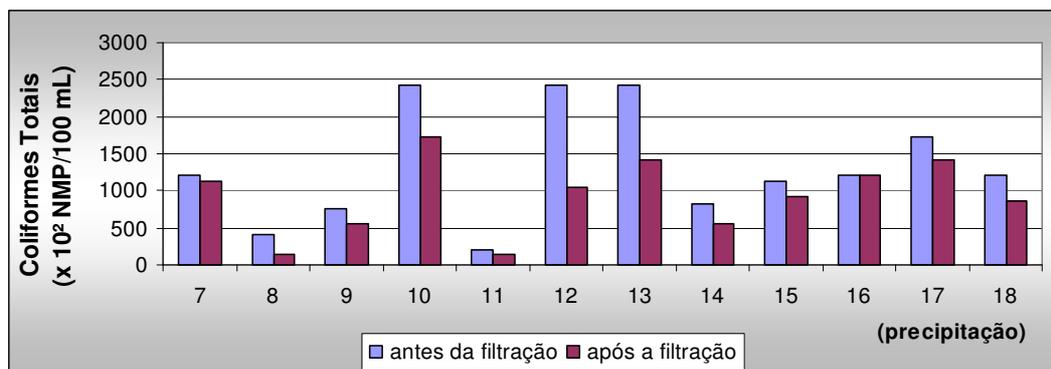


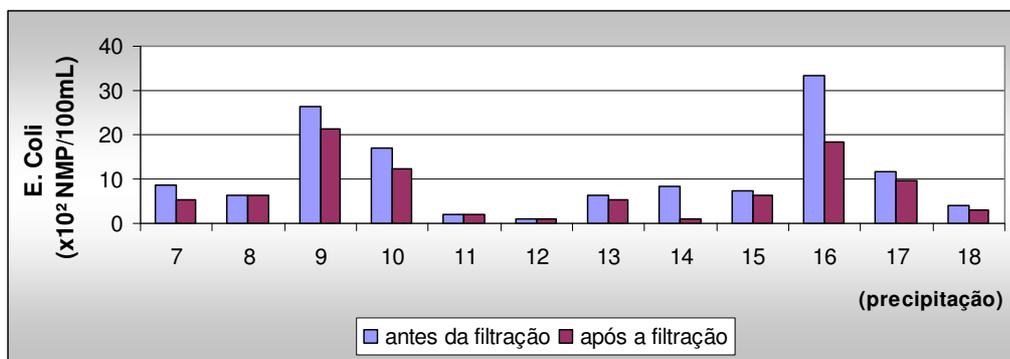
Figura 32: Coliformes totais antes e após o processo de filtração.

Nota: resultados a partir do 7º ensaio.

Tabela 11 – Concentração de *E. coli* nas amostras de água pluvial antes e após o processo de filtração

Precipitação	<i>E. coli</i> (NMP/100mL)		
	Água pluvial bruta	Água pluvial filtrada	Diferença
1	125,9	101,4	24,5
2	93,3	60,5	32,8
3	461,1	344,8	116,3
4	114,5	101,2	13,3
5	56,7	52,1	4,6
6	104,6	48,7	55,9
7	$8,6 \times 10^2$	$5,2 \times 10^2$	$3,4 \times 10^2$
8	$6,3 \times 10^2$	$6,3 \times 10^2$	0,0
9	$26,2 \times 10^2$	$21,3 \times 10^2$	$4,9 \times 10^2$
10	$17,1 \times 10^2$	$12,2 \times 10^2$	$4,9 \times 10^2$
11	$2,0 \times 10^2$	$2,0 \times 10^2$	0,0
12	$1,0 \times 10^2$	$1,0 \times 10^2$	0,0
13	$6,2 \times 10^2$	$5,2 \times 10^2$	$1,0 \times 10^2$
14	$8,4 \times 10^2$	$1,0 \times 10^2$	$7,4 \times 10^2$
15	$7,4 \times 10^2$	$6,3 \times 10^2$	$1,1 \times 10^2$
16	$33,2 \times 10^2$	$18,5 \times 10^2$	$14,7 \times 10^2$
17	$11,8 \times 10^2$	$9,8 \times 10^2$	$2,0 \times 10^2$
18	$4,1 \times 10^2$	$3,0 \times 10^2$	$1,1 \times 10^2$

Nota: Os ensaios de 7 a 18 foram realizados com diluição 10^{-2} , por isso os resultados encontram-se expressos em multiplicados por 10^2 .

**Figura 33:** Concentração de *E. coli* antes e após o processo de filtração.

Em relação à concentração de coliformes termotolerantes, a redução média encontrada nos ensaios foi de $4,0 \times 10^4$ NMP/100mL, sendo a maior redução a ocorrida no dia 07/01/2010 (concentração inicial = $2,4 \times 10^5$ NMP/100 mL; concentração final = $1,0 \times 10^5$ NMP/100 mL). A média de valores iniciais (água pluvial bruta) situou-se em $1,3 \times 10^5$ NMP/100mL enquanto que a média de valores pós filtração foi de cerca de $9,2 \times 10^4$ NMP/100mL. Embora represente uma redução de 30%, o valor final observado apresentou, em média, quatro dígitos, o que significa elevada concentração de coliformes termotolerantes.

Para o parâmetro *E. Coli*, a média de redução encontrada foi de 234,8 NMP/100mL, sendo a maior observada de $14,7 \times 10^2$ NMP/100mL (em 24/01/2010) e a menor nos dias 12/12/2009, 30/12/2009 e 07/01/2010, nos quais a concentração encontrada antes e após o processo foi a mesma. Acredita-se que essa situação ocorreu devido à diluição das amostras, sendo o mais indicado fazer as diluições para encontrar as concentrações de coliformes termotolerantes e manter o processo sem diluição para o parâmetro *E. Coli*.

A média de concentrações iniciais de *E. Coli* observada nos ensaios foi de 784,2 NMP/100mL e a de concentrações finais (após filtração) de 549,4 NMP/100mL. Mais uma vez, a concentração após o processo de tratamento manteve-se acima do preconizado pela ABNT 15527/07, sendo aconselhável a desinfecção da água pluvial antes de seu uso.

5.3.3 Amostras coletadas durante a limpeza do filtro de pressão

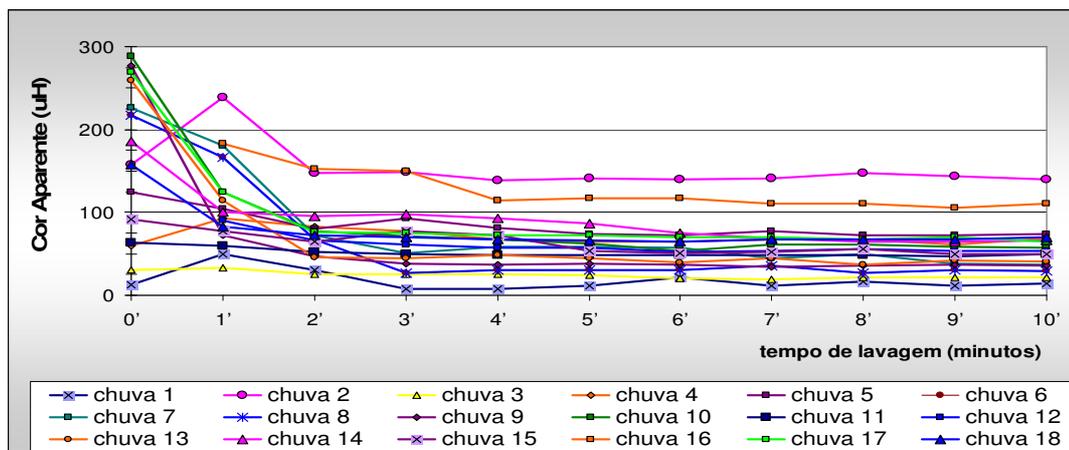
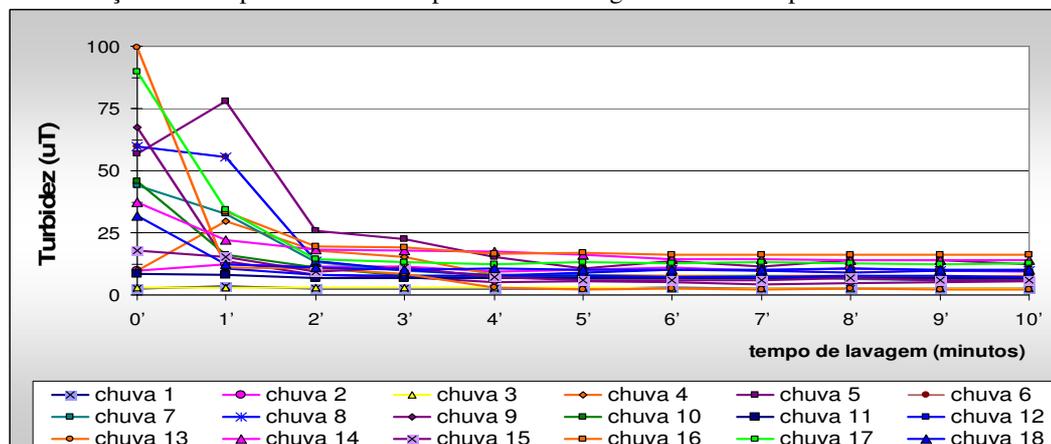
As variações dos parâmetros cor aparente e turbidez das amostras de água pluvial obtidas durante os processos de limpeza do filtro de pressão encontram-se nas Tabelas 9 e 10, e Figuras 26 e 27, respectivamente. Buscando-se gerar uma melhor visualização gráfica, suprimiu-se, nas figuras, os valores extremos verificados.

Tabela 12 - Variação da cor aparente durante a lavagem do filtro de pressão.

Ensaio	Água filtrada	Cor Aparente (uH)										
		Durante a lavagem do filtro de pressão										
		0'	1'	2'	3'	4'	5'	6'	7'	8'	9'	10'
1	38	13	49	31	8	8	12	22	11	16	12	14
2	135	157	239	148	149	139	141	140	141	147	144	140
3	17	30	33	26	25	26	24	20	19	21	21	21
4	51	60	93	83	77	67	65	65	68	67	61	69
5	47	124	104	80	93	81	74	73	78	72	73	74
6	69	217	166	67	27	30	31	31	36	27	31	29
7	36	226	181	73	51	59	59	57	45	49	38	37
8	69	217	166	67	27	30	31	31	36	27	31	29
9	28	277	72	47	38	37	38	37	34	35	37	35
10	45	289	124	78	71	67	62	54	61	61	58	57
11	45	63	60	52	50	48	48	48	48	48	47	49
12	45	498	90	66	61	57	57	52	54	56	54	54
13	36	259	115	46	44	48	44	40	44	37	42	41
14	68	185	100	95	98	93	87	75	69	65	65	66
15	55	92	77	65	78	72	54	51	52	56	50	50
16	108	458	183	153	150	115	117	117	110	111	106	110
17	55	270	124	76	75	72	72	70	70	68	70	65
18	61	157	82	73	70	67	66	65	67	67	68	70

Tabela 13 - Variação da turbidez durante a lavagem do filtro de pressão.

Ensaio	Água filtrada	Turbidez (UT)										
		Durante a lavagem do filtro de pressão										
		0'	1'	2'	3'	4'	5'	6'	7'	8'	9'	10'
1	2,5	2,7	3,4	2,6	2,7	2,6	2,6	2,8	2,7	2,7	2,7	2,6
2	8,8	9,6	12,4	11,6	11,3	9,5	10	11,2	9,9	10,4	9,9	9,3
3	2,1	3,0	3,1	2,8	2,8	2,8	2,8	2,5	2,5	2,6	2,5	2,6
4	9,9	9,8	29,8	18	15,1	8,0	8,0	7,7	7,7	7,5	7,1	7,7
5	5,9	56,9	77,9	26	22,3	15,1	10,7	13,5	11,3	14,0	13,9	12,4
6	15,4	59,8	55,3	13,7	10	7,5	8,9	10,0	9,6	9,0	9,7	9,7
7	5,4	44,0	32,8	13,0	9,9	7,9	8,2	7,2	7,5	6,4	6,1	6,4
8	11,6	59,8	55,3	13,7	10,0	7,5	8,9	10,0	9,6	9,0	9,7	9,7
9	4,6	67,2	13,7	8,0	7,2	4,9	5,4	4,9	4,4	4,5	4,9	5,3
10	4,7	45,9	16,0	11,1	7,5	7,8	7,6	6,7	7,1	6,8	6,9	6,3
11	6,9	8,4	8,0	6,9	6,7	6,6	6,8	6,7	6,6	6,7	6,7	6,6
12	6,9	150	10,8	8,0	7,7	7,8	7,5	7,3	7,3	7,5	7,5	7,4
13	3,4	99,4	11,0	10,7	8,5	3,1	2,2	2,5	2,2	2,4	2,2	2,3
14	11,4	37,4	21,9	18,1	17,6	17,5	15,9	14,6	14,2	13,9	13,9	14,1
15	5,9	17,7	15,2	9,4	10,9	7,0	5,9	6,0	6,0	6,7	6,0	6,1
16	15,6	129	33,6	19,5	19,2	16,7	17,1	16,2	16,0	16,0	15,9	16,0
17	7,0	90,0	34,4	14,6	13,3	12,3	13,3	12,8	13,0	12,7	12,4	12,7
18	8,5	31,8	12,2	11,0	10,0	10,4	10,3	10,1	10,3	10,4	10,3	10,2

**Figura 34:** variação da cor aparente durante o processo de lavagem do filtro de pressão.**Figura 35:** variação da turbidez durante o processo de lavagem do filtro de pressão.

Observando-se as Figuras 34 e 35, pôde-se notar um comportamento de redução semelhante em ambos os parâmetros, com os valores iniciais reduzindo-se, de modo geral, até o terceiro minuto de lavagem, mantendo-se constantes nos minutos seguintes. Em termos de cor aparente, a média de redução nos três minutos iniciais foi de 133 uH (diferença de cor aparente entre o primeiro e o terceiro minuto), o que, em porcentagem, equivale a 67%. Em termos de turbidez, a média de redução no mesmo período foi de 39 uT, equivalendo a 76% da média.

Em alguns casos, tanto para o parâmetro cor aparente quanto para o parâmetro turbidez, o valor de leitura no minuto zero foi superior ao encontrado na água pluvial filtrada (a utilizada na lavagem do filtro), indicando a remoção da sujeira contida no meio filtrante. A Figura 28 apresenta os valores médios obtidos nos dezoito ensaios realizados, demonstrando nitidamente que a remoção mais significativa da sujeira contida no meio filtrante ocorreu nos três minutos iniciais da lavagem do filtro.

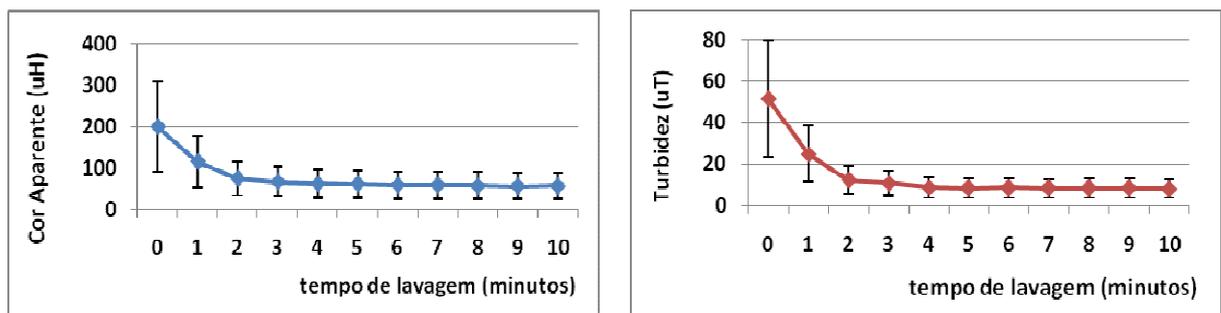


Figura 36: cor aparente (à esquerda) e turbidez (à direita) médias durante a limpeza do filtro de pressão.

Nota: erro estimado pela razão do desvio padrão médio e média dos valores.

Assumindo, então, que o tempo de 3 minutos foi representativo para a limpeza do meio filtrante, independentemente do volume filtrado de água (ou seja, da duração da carreira de filtração) e que o volume de reserva não seria fator limitante (extravazão igual a zero), calculou-se a produção efetiva do sistema para cada ensaio realizado.

A Tabela 14 apresenta os valores de volume de água utilizada na limpeza do filtro de pressão, o volume potencialmente captável e a produção efetiva do sistema.

Todos os cálculos foram efetuados conforme metodologia descrita em 3.3.

Tabela 14 – Estimativa da produção efetiva do sistema.

Precipitação	Volume precipitado (mm)	Volume potencialmente captável (m ³)	Vazão da limpeza do filtro (L/min.)	Volume gasto na limpeza do filtro (m ³)	Produção efetiva do sistema (m ³)
1	29,6	8,76	25,0	0,08	8,68
2	10,3	3,05	17,6	0,05	3
3	20,4	6,04	27,6	0,08	5,96
4	41,3	12,22	32,7	0,10	12,12
5	13,0	3,85	40,0	0,12	3,73
6	33,0	9,77	30,0	0,09	9,68
7	15,6	4,62	50,7	0,15	4,47
8	13,7	4,06	32,1	0,10	3,96
9	24,4	7,22	34,6	0,10	7,12
10	119,7	35,43	40,7	0,12	35,31
11	33,7	9,98	41,3	0,12	9,86
12	19,2	5,68	66,0	0,20	5,48
13	38,0	11,25	69,7	0,21	11,04
14	48,5	14,36	33,7	0,10	14,26
15	27,8	8,23	27,3	0,08	8,15
16	33,3	9,86	58,1	0,17	9,69
17	30,4	9,00	68,9	0,21	8,79
18	45,7	13,53	44,4	0,13	13,4
Média	33,2	9,83	41,1	0,12	9,71

Como pode-se observar, o volume médio gasto para a limpeza do filtro de pressão utilizado no tratamento da água pluvial nos ensaios apresentados foi de 120 litros, o que equivale, comparativamente em relação à área de coleta do sistema (370 m²) a um descarte de 0,32 mm. Efetuando-se tal correspondência ao menor e maior valor de volume de água pluvial gasto para a limpeza do filtro têm-se descartes equivalentes a 0,13 mm (para 50L) e 0,56mm (para 210L). Em todos os casos, o valor de descarte correspondente é inferior ao mínimo recomendado pela NBR 15527/07, que é 2 mm.

Embora a qualidade final da água pluvial tratada no presente estudo não tenha se adequado aos valores mínimos exigidos pela norma NBR 15527/07, a redução de cor aparente e turbidez gerada pelo tratamento foi, comparativamente, igual e superior às reduções dos mesmos parâmetros encontradas por Murakami (2007) em amostras de água pluvial coletadas com e sem o descarte inicial de 2 mm de precipitação. Enquanto para o processo de filtração a redução média de cor aparente ficou em torno de 30% (de 78,6 uH para 54,8 uH, ou seja, 23,8 uH); para o processo de descarte ficou na casa dos 34% (de 26 uH para 17 uH, ou seja, 9 uH). Em relação ao parâmetro turbidez, a redução média observada no

processo de filtração foi de 54% (de 16,4 uT para 7,6 uT, ou seja, 8,8 uT), enquanto que a redução encontrada no processo de descarte foi de 2% (de 3,32 uT para 3,25 uT).

Assim, indaga-se se o processo de descarte é o procedimento necessário em termos de redução dos valores iniciais de cor aparente e turbidez. No exemplo citado, as reduções obtidas no descarte de 2 mm foram semelhantes e inferiores ao tratamento cuja produção efetiva correspondia a um descarte médio de 0,3 mm, ou seja, 1,7 mm menor. Para a área de coleta empregada (370 m²), essa redução de descarte corresponde a uma não captação de mais de 550 litros de água pluvial por milímetro de chuva precipitada. Para áreas de coleta de grande extensão tem-se que esse volume de água não aproveitado é maior ainda.

Buscando-se aproximar os valores despendidos para tratar a água pluvial captada, primeiramente calculando-se em termos do coagulante primário utilizado, determinou-se que foram gastos, aproximadamente, 300 gramas de amido de milho para tratar 45 m³ de água (15 ensaios de filtração). Assim, considerando-se que o pacote de amido de milho com 500 gramas custe, em média, R\$ 4,50, tem-se que para os quinze ensaios realizados no desenvolvimento do presente estudo gastou-se R\$ 2,70. Dividindo-se esse valor pelo volume de água tratada, tem-se que o custo de amido de milho por metro cúbico de água tratada foi de R\$ 0,06/m³.

Calculando-se o custo em relação ao consumo elétrico, tem-se que o tempo de uso de energia elétrica foi de 30 minutos para a homogeneização da água com a solução de amido natural de milho e de 63 minutos para o tratamento da água pluvial e limpeza do filtro de pressão (60 minutos de filtração e 3 minutos de limpeza do filtro). Considerando-se as potências das bombas equivalentes a aproximadamente 185W e 245W, respectivamente, tem-se que para os tempos e usos requeridos, o consumo de energia elétrica equivale a 0,35 kWh (0,09 kWh para homogeneização da água e 0,26 kWh para filtração da água e limpeza do filtro). Considerando o custo do kWh residencial de R\$ 0,3358, tem-se, para o procedimento efetuado, um custo de R\$ 0,12 para tratamento de 3m³ de água (R\$ 0,04/m³). Assim, o custo para tratar a água pluvial armazenada foi de cerca de R\$ 0,10/ m³.

Em comparação ao custo da água tratada (sem incluir a taxa de esgoto), tem-se que para faixa de consumo de 0 a 10 m³, o valor estipulado é de R\$ 10,89 (no mínimo R\$ 1,09/m³). Assim, para o volume de água estudado no presente trabalho, a diferença de custo foi de R\$ 0,99/ m³, equivalendo a uma economia de mais de 90%.

Salienta-se que tais custos são expeditos e foram estimados com base em valores médios. Para um estudo mais aprofundado, faz-se necessária a obtenção de um

histórico confiável e representativo de dados, bem como uma análise econômica mais abrangente, considerando investimentos e custos de implantação do sistema.

Analisando a operacionalidade do sistema, acredita-se que a necessidade de um reservatório de retenção (para armazenamento temporário da água pluvial coletada) seja um complicador em situações onde o espaço físico é limitado. Além do mais, os reservatórios costumam ser o item mais dispendioso dos sistemas de aproveitamento de águas pluviais, sendo a utilização de um reservatório somente para acumulação temporária um aspecto menos favorável da alternativa. Pode-se, contudo, eliminar a necessidade desse primeiro reservatório, fazendo com que a água coletada seja armazenada num único reservatório, ligado ao filtro de pressão. Nesse caso, a filtração seria realizada em ciclo contínuo, com recirculação da água.

Outro aspecto questionável ocorre em relação à forma como a solução de amido natural de milho entrou em contato com a água pluvial coletada. Em laboratório, a agitação foi constante e feita de forma que o coagulante primário atingisse toda a água existente no jarro acrílico. Já no caso em escala real, o procedimento de homogeneização foi feito de forma rudimentar, o que provavelmente prejudicou o processo de coagulação/floculação. Ademais, acredita-se que a concentração da solução feita para uso em escala real foi muito elevada, podendo a quantidade de água utilizada (2 litros) não ter sido suficiente para permitir a gelatinização adequada da matéria-prima. Em uso laboratorial, a solução tinha a concentração fixa de 2g/L. Já em escala real, chegou a ter concentração nove vezes mais, 18g/L.

Analisando a solução de amido de milho, acredita-se que embora ela seja feita de uma matéria-prima barata, não há muita possibilidade desse coagulante primário ser utilizado em residências, por exemplo. Mesmo se houvesse uma dosagem de solução já definida como a mais adequada para qualquer qualidade de água pluvial bruta, a preparação da mesma seria um fator questionado por alguns consumidores, visto que a solução não poderia ficar armazenada por muito tempo após seu preparo.

Assim, acredita-se que a melhoria da qualidade da água pluvial tratada poderia ser obtida por meio da melhoria da floculação e/ou pelo emprego de outro coagulante.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Há tempos que a temática hídrica faz-se foco de estudos científicos e reuniões políticas. A crescente demanda pelo recurso, em conjunto à degradação de fontes superexploradas, acarretam uma escassez sentida em todas as regiões do planeta, trazendo prejuízos ao desenvolvimento das sociedades.

Nesse contexto, políticas de gerenciamento hídrico e busca de fontes alternativas de abastecimento apresentam-se como objetivos de discussões governamentais e literárias. Como exemplo de fonte alternativa de abastecimento, o aproveitamento de águas pluviais destaca-se como medida capaz de suprir a demanda hídrica de usos menos nobres e, assim, liberar água de melhor qualidade para usos que assim a necessitam.

Embora na grande maioria dos casos não seja utilizada para consumo humano direto, a qualidade das águas pluviais não deve ser desconsiderada, pois dependendo de sua composição físico-química e microbiológica pode acarretar danos aos constituintes do sistema de aproveitamento, bem como trazer risco à saúde de seus usuários.

Prática comumente empregada quando do reservamento de águas pluviais, o descarte da primeira chuva (*first flush*) tem por objetivo melhorar a qualidade da água pluvial coletada. Porém, dependendo da área de captação e dos milímetros que se estipula eliminar, grandes volumes de precipitação deixam de ser captados e, conseqüentemente, aproveitados. Assim, o presente estudo foi desenvolvido objetivando-se investigar a possibilidade de, a partir de um tratamento simplificado, gerar melhoria de qualidade em águas pluviais captadas sem o descarte da primeira chuva.

Os ensaios de tratamento em escala real empregados em dezoito precipitações distintas demonstraram que, embora não obtendo uma qualidade final condizente ao padrão estipulado pela norma NBR 15527/07, a filtração das águas acumuladas foi responsável por reduzir as concentrações de cor aparente e turbidez em 24 uH e 8,8 uT, respectivamente, o que corresponde, em porcentagem, a aproximadamente 30 e 54%. Em termos de coliformes termotolerantes e *E. Coli*, ambas as reduções obtidas situaram-se na casa dos 30%. Embora em termos de porcentagem e até mesmo em valor absoluto tenha sido uma redução considerável, os residuais encontrados nas amostras após o processo de filtração mantiveram-se elevados, indicando a necessidade de um tratamento adicional, como a dosagem de cloro, por exemplo.

Buscando-se estimar a produção efetiva do sistema de tratamento utilizado, estimou-se a média do volume de água pluvial que poderia ter sido acumulado nas dezoito datas de estudo e a média dos volumes de água pluvial empregados para a limpeza do filtro de pressão. Para o primeiro cálculo, assumiu-se o volume de reserva como fator não limitante (extravazão igual a zero). Para o segundo, assumiu-se que o tempo de 3 minutos era representativo para a limpeza do meio filtrante, independentemente da duração da carreira de filtração.

Como resultado, obteve-se que, para a área de captação empregada, o volume médio de água utilizado na limpeza do filtro de pressão equivaleu a pouco mais de 1% do volume de água pluvial potencialmente captável e a cerca de 4% do volume de água que pôde ser acumulado. Convertendo-se a milímetros de descarte inicial, o volume de água pluvial gasto para a limpeza do filtro de pressão representou um *first flush* médio de 0,3 mm, valor inferior ao mínimo recomendado pela NBR 15527/07.

Indagando-se se o aproveitamento de águas pluviais também proporcionaria uma vantagem econômica, calculou-se, sem considerar o preço do sistema em si e da manutenção de seus constituintes, o custo envolvido no tratamento utilizado no presente estudo. Considerando-se as potências das bombas utilizadas e o tempo de uso de cada uma delas, chegou-se a um valor de R\$ 0,10 para o tratamento de cada m³ de água pluvial. Comparando-se esse valor à taxa cobrada pela agência DAAE pela água tratada, chegou-se a uma diferença de R\$ 0,99 por m³ de água. Salienta-se que tais custos são expeditos e foram estimados com base em valores médios. Para um estudo mais aprofundado, seria necessária a obtenção de um histórico confiável e representativo de dados, bem como uma análise econômica mais abrangente, considerando investimentos e custos de implantação do sistema.

Atenta-se, também, ao fato de que a qualidade da água pluvial obtida no presente estudo não equivale à encontrada em águas de abastecimento público. Porém, acredita-se que tais águas possam ser utilizadas em fins menos nobres sem prejuízo algum e, assim, disponibilizar água tratada para fins que assim a necessitam.

Como sugestão para próximos trabalhos, aconselha-se a investigação de outros meios filtrantes e diferentes taxas de aplicação superficial dos filtros. Ademais, sugere-se o estudo da recirculação da água pluvial dentro do filtro de pressão, com o monitoramento de sua qualidade durante o processo, além da investigação de outros auxiliares de coagulação/floculação.

7 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

Com base nos resultados apresentados nessa dissertação, pôde-se concluir:

- Com relação ao desempenho da unidade:
 - ✓ O sistema apresentou estabilidade após 5 minutos de operação, mantendo-se constante até o final da carreira de filtração para todos os ensaios realizados, nas diferentes precipitações captadas;
 - ✓ A remoção de turbidez variou de 25% (residuais de 20,8 uT para 15,8 uT) a 70,8% (residuais de 20,2 uT para 5,9 uT), nas diferentes precipitações captadas;
 - ✓ A remoção de cor aparente variou de 4,9% (residuais de 142 uH para 135 uH) a 61% (residuais de 41 uH para 16 uH), nas diferentes precipitações captadas;
 - ✓ Do ponto de vista global, a remoção de coliformes totais variou de 0% (residuais iguais antes e após tratamento) a 41% (residuais de $2,4 \times 10^5$ NMP/100mL para $1,0 \times 10^5$ NMP/100mL), enquanto que a remoção de *E. Coli* variou de 0% a 55% (residuais de $33,2 \times 10^2$ NMP/100 mL para $18,5 \times 10^2$ NMP/100 mL).

- Em relação ao tempo de lavagem do filtro:
 - ✓ Verificou-se que o tempo de 3 minutos foi suficiente para a lavagem do meio filtrante, nas condições investigadas nesse trabalho.

- Com relação à produção efetiva do sistema:
 - ✓ Foram gastos, em média, 120 litros de água para a lavagem do filtro de pressão. Os valores gastos variaram de 50 litros a 210 litros, correspondendo a percentuais de 0,5 a 2,2% do volume potencialmente captável.

- Recomendações para trabalhos futuros:
 - ✓ Aprimorar o sistema de mistura da água pluvial bruta com o coagulante primário;
 - ✓ Investigar outros tipos de coagulante;
 - ✓ Investigar outros valores de taxas de aplicação superficial;
 - ✓ Investigar a recirculação de água no filtro de pressão; eInvestigar outros meios filtrantes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN WATER AND WASTEWATER ASSOCIATION. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21th. Denver. CP: AWWA, 2005.
- AMERICAN WATER AND WASTEWATER ASSOCIATION. **Water Quality and Treatment: a handbook of community water supplies** 4th. 1194 p. McGraw-Hill, 1990.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR15527: Água de chuva - Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos**.
- ANNECCHINI, K. P. V. **Aproveitamento da água de chuva para fins não potáveis na região metropolitana de Vitória (ES)**. Vitória: ET/UFES, 2005. 124p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental.
- BASTOS, F. P. B. **Tratamento de água de chuva através de filtração lenta e desinfecção UV**. Vitória: CT/UFES, 2007. 134p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental.
- BERNARDI, C. C. **Reuso de Água para Irrigação**. Brasília: ISEA-FGV/ECOBUSINESS SCHOOL. 2003. 63p. Monografia de Especialização em Agronomia.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº. 518**, de 25 de março de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Diário Oficial da União. Brasília, 2004. 34 p.
- BRUNET, G. **Rainwater Harvesting: a Win-win Option**. Austin. Texas State University. 2004. Disponível em < <http://www.arcsa.org/> >. Acesso em: 09 de maio de 2008.
- BURBARELLI, R. C. **Avaliação da Qualidade da Água Subterrânea E Microbiologia do Solo em Área Irrigada com Efluente de Lagoa Anaeróbia**. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2004. 114p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil.
- CAMPOS, M. A. S. **Aproveitamento de Água Pluvial em Edifícios Residenciais Multifamiliares na Cidade de São Carlos**. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2004. 131p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil.

CAMPOS, J. R.; DI BERNARDO, L. **Uso de polímeros naturais en el tratamiento de aguas para abastecimiento**. Colômbia: Universidad Del Valle. Ministerio de La Salude de Colombia - OMS, USP, 1988. 62 p.

CARVALHO, V., N. **Deposição atmosférica e composição química da chuva**. Revista Tecnologia. Fortaleza, v25, n 2, pág. 61-71, 2004.

CONSERVAÇÃO E REÚSO DA ÁGUA EM EDIFICAÇÕES (2005). Volume único. MMA/ANA/SIDUSCON/FIESP/SESI/SENAI.

CHENG, CHENG-LI. **Rainwater use system in building design**. In: CIB-W62 SEMINAR, 2000. Proceedings. Rio de Janeiro, Brazil, 2000, 13p.

CIPRIANO, R. F. P. **Tratamento das Águas de Chuva Escoadas Sobre Telhado e Avaliação do seu Uso**. Blumenau: Universidade Regional de Blumenau, 2004. 89 p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental.

COOMBES, P.J., G. KUCZERA, and J.D. KALMA, **Economic, water quantity and quality results from a house with a rainwater tank in the inner city**, Proceedings of the 27th Hydrology and Water Resource Symposium, Melbourne, Australia, 2002.

DACACH, N. G. **Saneamento básico**. 3^a edição. Rio de Janeiro: EDC-Ed. Didática e científica. 1990.

DI BERNARDO, L.; DI BERNARDO, A. D. **Uso de amido de mandioca catiônico como auxiliar de floculação**. In: XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Porto Alegre, 2000.

DI BERNARDO, L. (coordenador). **Tratamento de água para abastecimento por filtração direta**. Rio de Janeiro: ABES, 2003. 498 p.

DI BERNARDO, L; DANTAS, A. B. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. São Carlos. Rima, 2005.

DINGMAN, S. L. **Physical hydrology: upper saddle river**. New Jersey: Prentice-Hall, 1993. 575 p.

FERNANDEZ, J. C.; GARRIDO, R. J. **Economia dos Recursos Hídricos**. 1^a Edição. Editora da Universidade Federal da Bahia: Salvador, 2002.

FEWKES, A., **The use of Rainwater for WC flushing: the Field-testing of a collection system.** *Building and Environment*. V 34, n.9, p.765-772, 1999.

GONÇALVES, R. F. (coordenador). **Uso racional de água em edificações.** Rio de Janeiro. ABES, 2006.

GROSSL, K.; TOMAZZONI, G.; SANTOS, H. R. **Amido de batata como auxiliar de floculação no tratamento de águas para abastecimento.** In: VII Semana de Engenharia Ambiental. Unicentro. Irati, 2009.

HERRMANN, T.; SCHIMIDA, U. **Rainwater utilization in Germany: efficiency, dimensioning, hydraulic and environmental aspects.** *Urban Water*, 1 (4), 308-316, 1999.

INAMINE, M. **Rainwater catchment availability for building in drought-prone Okinawa and proposed numerical appraisal.** In: CIB W62 Seminar, Rio de Janeiro. Proceedings. CIB W62 Seminar, Rio de Janeiro. V.1, pD1-6, 2000.

JAQUES, R., C. **Qualidade da água de chuva no município de Florianópolis e sua potencialidade para aproveitamento em edificações.** Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2005. 102f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental.

LEIDL, C. M.; **Building capacity for Rainwater harvesting in Ontário: policy and economic considerations.** University of Guelph. 2008.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água.** Campinas. Ed. Átomo. 2005.

MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. **A escassez e o reuso de água em âmbito mundial.** São Paulo: Manole, 2003, p 12.

MARKS, R.; GARDNER, T.; COOMBES, P. **Use of rainwater in Australian urban environments.** In: International rainwater catchment systems, proceedings of the 10th Conference. Germany. September 2001. 45-51p.

MARTINSON, D. B. **Quantifying the first flush phenomenon.** In: International Rainwater Catchment Systems Conference. 2005 New Deli, Índia, 2005.

MAY, S. Estudo da Viabilidade do Aproveitamento de Água de Chuva para Consumo Não Potável em Edificações. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2004. 159p. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Construção Civil.

MAY, S. Caracterização, tratamento e reuso de águas cinza e aproveitamento de águas pluviais em edificações. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2009. 223p. Tese de Doutorado em Engenharia Hidráulica e Sanitária.

MOFFA, P. E. The control and treatment of industrial and municipal storm water. United States of America. Van Nostrand Reinhold. 1996.

MURAKAMI, M. F. Caracterização físico-química e microbiológica de diferentes amostras de uma precipitação coletada e armazenada após passagem por telhado. Rio Claro: UNESP, 2007. 51p. Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Ambiental.

MURAKAMI, M.F.; MORUZZI, R.B. Avaliação de parâmetros microbiológicos de água pluvial visando aproveitamento para fins não potáveis: o efeito do tempo de armazenamento. HOLOS Environment, Rio Claro, s.1, v.8, n2, 2008.

NAKADA, L. Y. K. Tratamento de água pluvial para fins não potáveis com utilização de amido de milho como coagulante em filtração cíclica em escala de laboratório. Rio Claro: UNESP, 2008. 39p. Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Ambiental.

OLIVEIRA, F. M. B. Aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis no Campus da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Minas Gerais. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto, 2008. 114p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental.

PINTO, N. O.; HERMES, L. C. Sistema simplificado para melhoria da qualidade da água consumida nas comunidades rurais do semi-árido do Brasil. Jaguariúna. Embrapa. 20p. 2006.

RICHTER, C. A; AZEVEDO NETTO, J. M. Tratamento de água: tecnologia atualizada. São Paulo. Edgard Blucher. 332p. 1991.

SANTOS, M. O. O impacto da cobrança pelo uso da água no comportamento do usuário. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2002. 231p. Tese de Doutorado em Engenharia Civil.

SICKERMANN, M. J. Sistema de aproveitamento de águas pluviais em edificações. Revista Técnica. São Paulo. Ano 10. n. 59, p 69-71, 2002.

TEXAS WATER DEVELOPMENT BOARD. **Rainwater Harvesting Manual**. 3th edition. Austin, Texas: Texas Water Development Board in cooperation with Chris Brown Consulting,

Jan Gerston Consulting, Stephen Colley/Architecture and Dr. Hari J. Krishna, P.E., Contract Manage, 2005.

TOMAZ, P. **Conservação da água**. São Paulo. Editora Parma. 1998.

TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva**. 2.a edição. Navegar Editora. São Paulo. 2005.

TORDO, O. C. **Caracterização e avaliação do uso de águas de chuva para fins potáveis**. Blumenau: Universidade Regional de Blumenau, 2004. 120p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental.

VIEIRA, K. R. M; COIADO, E. M. **Captação, armazenamento e utilização de água de chuva**. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. João Pessoa, 2005.

VILLARREAL E. L.; ANDREW. D. **Analysis of a rainwater collection system for domestic water supply in Ringdansen, Norrköping, Sweden**. Building and Environment, v.40, 1174-1184, 2004.

WERNECK, G. A. M. **Sistemas de utilização da água da chuva nas edificações: o estudo de caso da aplicação em escola de Barra do Piraí**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006. 283f. Dissertação de Mestrado em Arquitetura.

REFERÊNCIAS DIGITAIS:

< <http://www.scirus.com/>>

<<http://www.scielo.org/>>

<<http://scholar.google.com.br/>>

Biblioteca digital de teses e dissertações da USP: < <http://www.teses.usp.br/>>

Coordenadoria Geral das bibliotecas da UNESP: < <http://www.unesp.br/cgb/>>

Sistema de bibliotecas da UNICAMP: < <http://www.unesp.br/cgb/>>

< <http://www.public.iastate.edu/~pkeeling/funcn1.htm>>, acessado em 15 de julho de 2010.

APÊNDICE A

Resultados dos ensaios laboratoriais

Conforme descrito na metodologia 4.3.2.1, para as quinze primeiras precipitações coletadas, realizaram-se ensaios laboratoriais para determinação da dosagem de amido natural de milho adequada para aplicação no ensaio de filtração em escala real.

A Tabela 15 apresenta os residuais de cor aparente e turbidez obtidos nas amostras de água pluvial após os ensaios em Jarrest e filtração em laboratório, as correspondentes dosagens de solução de amido natural de milho e valores de cor aparente e turbidez iniciais das precipitações estudadas.

Tabela 15 – Resultados obtidos em laboratório.

Data: 08/11/2009													
Parâmetro	Chuva bruta	Dosagem (mg/L)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Cor Aparente (uH)	41	25	26	26	32	26	26	29	33	27	23	33	23
Turbidez (uT)	5,9	2,1	2,0	2,1	2,6	2,1	1,8	2,3	2,6	2,0	2,2	2,6	2,2
Data: 16/11/2009													
Parâmetro	Chuva bruta	Dosagem (mg/L)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Cor Aparente (uH)	142	43	15	50	19	19	20	38	67	45	15	21	16
Turbidez (uT)	12,5	2,8	1,4	5,3	1,5	2,0	1,8	2,6	5,9	4,8	1,6	2,3	1,8
Data: 24/11/2009													
Parâmetro	Chuva bruta	Dosagem (mg/L)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Cor Aparente (uH)	21	17	14	9	14	12	12	15	14	13	13	15	22
Turbidez (uT)	5,0	1,5	1,2	1,2	1,5	1,7	1,2	1,4	1,5	1,4	1,5	1,4	2,3
Data: 27/11/2009													
Parâmetro	Chuva bruta	Dosagem (mg/L)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Cor Aparente (uH)	97	29	28	28	32	30	27	41	33	32	31	31	32
Turbidez (uT)	38,5	3,7	3,6	3,7	3,7	3,8	3,3	4,5	3,9	3,7	3,7	3,4	3,5
Data: 29/11/2009													
Parâmetro	Chuva bruta	Dosagem (mg/L)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Cor Aparente (uH)	78	18	16	14	14	14	14	16	15	17	20	12	14
Turbidez (uT)	14,8	3,6	3,4	3,3	3,0	2,9	3,2	3,3	3,6	3,3	4,4	3,2	3,3
Data: 03/12/2009													
Parâmetro	Chuva bruta	Dosagem (mg/L)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Cor Aparente (uH)	120	35	30	36	29	33	29	33	27	30	25	30	25
Turbidez (uT)	37,5	4,8	4,6	5,1	4,4	4,6	4,5	5,6	4,6	4,2	4,2	4,2	4,1
		Dosagem (mg/L)											
		13	14	15	16	17	18						
Cor Aparente (uH)	120	27	26	24	26	25	23						
Turbidez (uT)	37,5	6,4	5,8	4,9	4,6	4,5	4,5						

Data: 08/12/2009													
Parâmetro	Chuva bruta	Dosagem (mg/L)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Cor Aparente (uH)	41	20	17	16	18	16	15	14	15	14	16	15	15
Turbidez (uT)	6,0	1,9	1,6	1,6	1,7	1,5	1,6	1,5	1,7	1,5	1,5	1,6	1,5
Data: 12/12/2009													
Parâmetro	Chuva bruta	Dosagem (mg/L)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Cor Aparente (uH)	116	19	19	17	19	18	16	20	21	24	23	22	21
Turbidez (uT)	33,5	2,5	2,5	3,2	2,7	2,5	2,3	2,2	2,3	2,8	2,6	2,5	2,3
Data: 18/12/2009													
Parâmetro	Chuva bruta	Dosagem (mg/L)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Cor Aparente (uH)	34	22	21	23	24	22	21	24	19	17	25	11	14
Turbidez (uT)	12,8	1,6	1,5	1,7	1,8	1,6	1,5	2,1	1,6	1,4	2,5	1,5	1,6
Data: 29/12/2009													
Parâmetro	Chuva bruta	Dosagem (mg/L)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Cor Aparente (uH)	55	13	8	9	6	8	6	8	6	6	8	6	4
Turbidez (uT)	7,4	1,8	1,5	1,6	1,5	1,6	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,3	1,5
Data: 30/12/2009													
Parâmetro	Chuva bruta	Dosagem (mg/L)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Cor Aparente (uH)	53	23	22	20	19	22	21	23	20	21	23	23	21
Turbidez (uT)	10,0	3,4	3,3	3,0	3,0	3,4	3,3	3,7	3,2	3,4	4,0	3,7	3,1
Data: 07/01/2010													
Parâmetro	Chuva bruta	Dosagem (mg/L)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Cor Aparente (uH)	52	18	17	16	15	17	16	10	14	14	13	12	14
Turbidez (uT)	7,7	3,2	3,0	2,9	2,7	3,0	2,9	2,2	2,8	2,8	2,6	2,3	2,7
Data: 15/01/2010													
Parâmetro	Chuva bruta	Dosagem (mg/L)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Cor Aparente (uH)	55	10	9	9	11	8	7	9	9	13	6	6	9
Turbidez (uT)	10,9	1,4	1,3	1,5	1,4	1,3	1,2	1,2	1,4	1,7	1,3	1,2	1,5
Data: 19/01/2010													
Parâmetro	Chuva bruta	Dosagem (mg/L)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Cor Aparente (uH)	104	28	32	35	29	34	33	29	29	32	28	36	44
Turbidez (uT)	16,1	5,8	6,3	6,4	6,0	6,7	5,6	6,1	5,9	6,3	6,4	7,2	6,7
Data: 22/01/2010													
Parâmetro	Chuva bruta	Dosagem (mg/L)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Cor Aparente (uH)	114	50	49	46	45	48	47	45	48	46	48	46	48
Turbidez (uT)	20,2	7,5	7,1	6,8	6,5	7,2	6,9	6,1	6,4	6,2	6,7	6,6	6,3
Parâmetro	Chuva bruta	Dosagem (mg/L)											
		13	14	15	16	17	18						
Cor Aparente (uH)	114	60	57	57	69	56	56						
Turbidez (uT)	20,2	8,3	8,3	8,3	9,8	8,0	8,1						

APÊNDICE B

Demais parâmetros físico-químicos e microbiológicos investigados nas amostras de água pluvial antes e após a etapa de filtração em escala real.

Conforme descrito na metodologia 4.4, onze parâmetros físico-químicos analisados nas amostras de água pluvial antes e após a etapa de filtração em escala real não foram discutidos no corpo de texto do trabalho por não apresentarem resultados expressivos.

As Tabelas 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25 e 26 trazem os residuais encontrados para tais parâmetros (Tabela 3), antes e após a etapa de filtração em escala real.

Tabela 16 – Valores de pH antes e após a etapa de filtração em escala real.

Data	Dosagem de amido de milho (mg/L)	pH	
		Água pluvial bruta	Água pluvial tratada
08/11/2009	6,0	4,7	4,8
16/11/2009	2,0	6,0	6,3
24/11/2009	3,0	7,2	6,7
27/11/2009	6,0	5,1	4,8
29/11/2009	5,0	4,8	5,7
03/12/2009	12,0	5,2	4,9
08/12/2009	6,0	6,1	6,2
12/12/2009	6,0	6,6	6,4
18/12/2009	11,0	6,5	5,4
29/12/2009	11,0	6,1	5,8
30/12/2009	4,0	5,7	5,6
07/01/2010	7,0	5,8	6,1
15/01/2010	11,0	5,9	5,6
19/01/2010	1,0	6,8	6,2
22/01/2010	7,0	6,0	5,9
24/01/2010	0	5,8	6,7
26/01/2010	0	6,8	7,2
29/01/2010	0	7,3	7,3
Média		6,02	5,98

Tabela 17 – Condutividade elétrica antes e após a etapa de filtração em escala real.

Data	Dosagem de amido de milho (mg/L)	Condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	
		Água pluvial bruta	Água pluvial tratada
08/11/2009	6,0	17	15
16/11/2009	2,0	27	27
24/11/2009	3,0	16	15
27/11/2009	6,0	11	9
29/11/2009	5,0	13	15
03/12/2009	12,0	9	9
08/12/2009	6,0	13	13
12/12/2009	6,0	17	17
18/12/2009	11,0	10	11
29/12/2009	11,0	16	14
30/12/2009	4,0	9	10
07/01/2010	7,0	10	10
15/01/2010	11,0	13	10
19/01/2010	1,0	11	10
22/01/2010	7,0	13	13
24/01/2010	0	10	8
26/01/2010	0	15	15
29/01/2010	0	17	16
Média		13,6	13,1

Tabela 18 – Alcalinidade antes e após a etapa de filtração em escala real.

Data	Dosagem de amido de milho (mg/L)	Alcalinidade (mg/L)	
		Água pluvial bruta	Água pluvial tratada
08/11/2009	6,0	7,9	7,9
16/11/2009	2,0	12,9	13,9
24/11/2009	3,0	12,9	12,9
27/11/2009	6,0	9,9	2,0
29/11/2009	5,0	19,8	19,8
03/12/2009	12,0	7,9	5,9
08/12/2009	6,0	9,9	9,9
12/12/2009	6,0	11,9	8,9
18/12/2009	11,0	7,9	5,9
29/12/2009	11,0	8,9	7,9
30/12/2009	4,0	11,9	9,9
07/01/2010	7,0	12,9	12,9
15/01/2010	11,0	9,9	2,0
19/01/2010	1,0	11,8	10,8
22/01/2010	7,0	7,9	5,9
24/01/2010	0	9,9	9,9
26/01/2010	0	11,9	8,9
29/01/2010	0	7,9	6,9
Média		10,9	9,1

Tabela 19 – Dureza antes e após a etapa de filtração em escala real.

Data	Dosagem de amido de milho (mg/L)	Dureza total (mg/L)	
		Água pluvial bruta	Água pluvial tratada
08/11/2009	6,0	6,7	6,4
16/11/2009	2,0	5,2	4,6
24/11/2009	3,0	4,9	5,1
27/11/2009	6,0	3,7	3,5
29/11/2009	5,0	5,5	5,1
03/12/2009	12,0	3,4	4,0
08/12/2009	6,0	4,0	4,5
12/12/2009	6,0	7,7	5,4
18/12/2009	11,0	4,2	2,9
29/12/2009	11,0	2,9	5,9
30/12/2009	4,0	3,7	3,5
07/01/2010	7,0	5,5	5,1
15/01/2010	11,0	3,4	4,0
19/01/2010	1,0	6,5	4,1
22/01/2010	7,0	3,1	2,4
24/01/2010	0	4,3	3,7
26/01/2010	0	1,7	1,7
29/01/2010	0	3,0	3,0
Média		4,4	4,1

Tabela 20 – Sulfato antes e após a etapa de filtração em escala real.

Data	Dosagem de amido de milho (mg/L)	Sulfato (mg/L)	
		Água pluvial bruta	Água pluvial tratada
08/11/2009	6,0	2	2
16/11/2009	2,0	7	7
24/11/2009	3,0	2	2
27/11/2009	6,0	2	2
29/11/2009	5,0	4	3
03/12/2009	12,0	7	7
08/12/2009	6,0	2	3
12/12/2009	6,0	7	5
18/12/2009	11,0	2	2
29/12/2009	11,0	4	3
30/12/2009	4,0	5	3
07/01/2010	7,0	3	3
15/01/2010	11,0	3	3
19/01/2010	1,0	5	6
22/01/2010	7,0	7	6
24/01/2010	0	5	5
26/01/2010	0	5	5
29/01/2010	0	5	5
Média		4,2	4,0

Tabela 21 – Sólidos totais dissolvidos antes e após a etapa de filtração em escala real.

Data	Dosagem de amido de milho (mg/L)	Sólidos totais dissolvidos (mg/L)	
		Água pluvial bruta	Água pluvial tratada
08/11/2009	6,0	0,010	0,010
16/11/2009	2,0	0,018	0,017
24/11/2009	3,0	0,011	0,010
27/11/2009	6,0	0,007	0,006
29/11/2009	5,0	0,009	0,009
03/12/2009	12,0	0,006	0,006
08/12/2009	6,0	0,009	0,008
12/12/2009	6,0	0,011	0,011
18/12/2009	11,0	0,006	0,007
29/12/2009	11,0	0,010	0,009
30/12/2009	4,0	0,006	0,007
07/01/2010	7,0	0,007	0,007
15/01/2010	11,0	0,008	0,007
19/01/2010	1,0	0,007	0,007
22/01/2010	7,0	0,009	0,008
24/01/2010	0	0,006	0,005
26/01/2010	0	0,009	0,008
29/01/2010	0	0,007	0,007
Média		0,009	0,008

Tabela 22 – Sólidos sedimentáveis antes e após a etapa de filtração em escala real.

Data	Dosagem de amido de milho (mg/L)	Sólidos sedimentáveis (mg/L)	
		Água pluvial bruta	Água pluvial tratada
08/11/2009	6,0	< 0,1	N.D.
16/11/2009	2,0	< 0,1	N.D.
24/11/2009	3,0	0,2	N.D.
27/11/2009	6,0	< 0,1	N.D.
29/11/2009	5,0	< 0,1	N.D.
03/12/2009	12,0	0,1	N.D.
08/12/2009	6,0	< 0,1	N.D.
12/12/2009	6,0	0,3	N.D.
18/12/2009	11,0	0,2	N.D.
29/12/2009	11,0	0,2	N.D.
30/12/2009	4,0	< 0,1	N.D.
07/01/2010	7,0	< 0,1	N.D.
15/01/2010	11,0	4,0	N.D.
19/01/2010	1,0	< 0,1	N.D.
22/01/2010	7,0	1,0	N.D.
24/01/2010	0	< 0,1	N.D.
26/01/2010	0	< 0,1	N.D.
29/01/2010	0	< 0,1	N.D.
Média		< 0,1	N.D.

Nota: N.D. Não detectado pelo método utilizado.

Tabela 23 – Nitrogênio amoniacal antes e após a etapa de filtração em escala real.

Data	Dosagem de amido de milho (mg/L)	Nitrogênio amoniacal (mg/L)	
		Água pluvial bruta	Água pluvial tratada
08/11/2009	6,0	0,20	0,15
16/11/2009	2,0	0,38	0,35
24/11/2009	3,0	0,18	0,10
27/11/2009	6,0	0,17	0,14
29/11/2009	5,0	0,16	0,15
03/12/2009	12,0	0,26	0,17
08/12/2009	6,0	0,07	0,07
12/12/2009	6,0	0,31	0,22
18/12/2009	11,0	0,08	0,06
29/12/2009	11,0	0,13	0,05
30/12/2009	4,0	0,03	0,02
07/01/2010	7,0	0,13	0,30
15/01/2010	11,0	0,11	0,02
19/01/2010	1,0	0,16	0,16
22/01/2010	7,0	0,16	0,15
24/01/2010	0	0,21	0,15
26/01/2010	0	0,16	0,14
29/01/2010	0	0,05	0,04
Média		0,16	0,13

Tabela 24 – Nitrito antes e após a etapa de filtração em escala real.

Data	Dosagem de amido de milho (mg/L)	Nitrito (mg/L)	
		Água pluvial bruta	Água pluvial tratada
08/11/2009	6,0	0,011	0,009
16/11/2009	2,0	0,280	0,290
24/11/2009	3,0	0,011	0,011
27/11/2009	6,0	0,008	0,008
29/11/2009	5,0	0,006	0,005
03/12/2009	12,0	0,018	0,013
08/12/2009	6,0	0,009	0,009
12/12/2009	6,0	0,020	0,010
18/12/2009	11,0	0,007	0,006
29/12/2009	11,0	0,009	0,009
30/12/2009	4,0	0,007	0,006
07/01/2010	7,0	0,006	0,006
15/01/2010	11,0	0,008	0,010
19/01/2010	1,0	0,010	0,010
22/01/2010	7,0	0,012	0,009
24/01/2010	0	0,017	0,015
26/01/2010	0	0,012	0,011
29/01/2010	0	0,009	0,007
Média		0,025	0,024