
JAQUELINE VIEIRA

**“COLETA E ESTRATÉGIA SIMPLIFICADA DE
TRATAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA PARA FINS
NÃO POTÁVEIS COM ÊNFASE NO USO
INDUSTRIAL”**

*Monografia apresentada à Comissão do Trabalho de
Formatura do Curso de Graduação em Engenharia
Ambienta do Instituto de Geociências e Ciências
Exatas – Unesp, Campus de Rio Claro (SP), como
parte das exigências para o cumprimento da disciplina
Trabalho de Formatura no ano letivo de 2008.*

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Braga Moruzzi

Rio Claro (SP)
2008

**“COLETA E ESTRATÉGIA SIMPLIFICADA DE
TRATAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA PARA FINS
NÃO POTÁVEIS COM ÊNFASE NO USO
INDUSTRIAL”**

628 Vieira, Jaqueline
V657c Coleta e estratégia simplificada de tratamento de água de
chuva para fins não potáveis com ênfase no uso industrial /
Jaqueline Vieira. - Rio Claro: [s.n.], 2008
56 f. : il., gráfs., tabs., fots.

Trabalho de conclusão (Engenharia Ambiental) –
Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e
Ciências Exatas
Orientador: Rodrigo Braga Moruzzi

1. Engenharia sanitária. 2. Coleta de água pluvial. 3.
Amido de milho. 4. Filtração rápida. 5. Volumes de descarte.
I. Título.

***“Tu eras também uma pequena folha
que tremia no meu peito.
O vento da vida pôs-te ali.
A princípio não te vi: não soube
que ias comigo,
até que as tuas raízes
atravessaram o meu peito,
se uniram aos fios do meu sangue,
falaram pela minha boca,
floresceram comigo.”***

Pablo Neruda

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus colegas e amigos de turma que se tornaram pessoas especiais para mim. Tenho carinho e admiração por cada um. Ensinarão-me formas diferentes de pensar, de ser, me ensinaram a tolerar as diferenças e enxergar nelas a maravilhosa combinação de idéias que existe na convivência entre as pessoas. Por causa deles, hoje eu faço parte da história de 27 diferentes pessoas: Naty, Carol, Alfinete, Gulosa, Paula, Isa, Knela, Lê, Tony, Thaís, Maika, Maíba, Makota, Aracajú, Jorge, Ronaldo, Kazuo, Bianca, Suseli, Cataflan, Carolzinha, Joyce, Andréa, Diego, Xororó, Ana e Robô.

Agradeço ao meu orientador Professor Rodrigo Moruzzi por ser sempre atencioso, compreensivo e paciente. Pelo apoio quando as coisas não iam muito bem e pela prontidão em ajudar. Principalmente, pelo interesse em fazer esse projeto dar certo!

Não tem como não agradecer, em especial, a todas que compartilharam comigo a rotina do dia-a-dia: Companheiras de Repúblicas! Às BEATAS, agradeço pelos dois anos que especiais de convivência. Laurie, companheira de quarto. Mônica, companheira dos fins de semana inacabáveis regados a muito brigadeiro e das cervejas na porta de casa no meio da madrugada, vendo a lua. Lígia, parceira das sessões da tarde com “As Gêmeas vão à Austrália”. Parece que era a só a gente resolver matar aula que passava esse filme! E finalmente, mas não menos importante, Jennifer, com seu tom de voz suave. Divertidíssima! E agregadas: Jú Excel, Érika, Naty, Selminha e Nara. Agradeço em especial à Isa e Lê, que me deram abrigo nos últimos 6 meses. São meninas raras de se encontrar e cheias de luz! Tornaram-se muito importantes pra mim.

Por fim, agradeço a toda a minha família! Em especial aos meus pais (Volney e Marize), não só pelo amor e carinho, mas pelo companheirismo e amizade. Por me apoiarem a fazer minhas próprias escolhas e me encorajarem a levá-las em frente. Ao meu irmão (Júnior) por todas as vezes que me aconselhou sem tentar me convencer, sem pré - julgamentos. Meus avós Hélio e Santa, grandes amigos, sempre presentes. E Josino e Laudelina, pela simplicidade e honestidade ensinados. À tia Marilda, grande amiga. À Camila, Carina e Fernanda, primas lindas e irmãs. À Larissa, amiga irmã, que mesmo longe sabe exatamente quando eu estou pensando nela e vice-versa, inexplicável!! Ao Matheus, por ter sido sempre um perfeito companheiro, namorado e amigo e, pelo qual, sempre terei profundo carinho, agradecimento e respeito.

Agradeço, em especial, à Liane, parceira na realização deste projeto.

Ao CNPq pelo financiamento à pesquisa. Processo 477881/2006-8.

SUMÁRIO

RESUMO

1. INTRODUÇÃO	09
1.1. REVISAO BIBLIOGRÁFICA	09
1.2. Generalidades sobre o amido	17
1.2.1. Uso do amido como auxiliar de floculação	17
1.3. Coagulação química	18
1.3.1. Estabilização estérica	19
2. OBJETIVO	20
3. MÉTODO E ETAPAS DE TRABALHO	21
3.1. Caracterização do local.....	21
3.2. Levantamento dos parâmetros necessários à realização do trabalho	22
3.3. Montagem do laboratório de ensaios.....	23
3.4. Montagem da estação piloto	24
3.4.1. Cálculo do volume de chuva coletado pelo telhado	26
3.4.2. Volumes de descarte	27
3.4.3. Cálculo do diâmetro da tubulação de saída da bomba	29
3.5. Coleta de água de chuva nos reservatórios de descarte.....	29
3.6. Coleta da água de chuva na estação piloto.....	30
3.7. Ensaios laboratoriais da água coletada na estação experimental.....	31
3.7.1. Descrição do equipamento	31
3.7.2. Metodologia para utilização do amido de milho.....	32
3.7.2.1. Preparação da suspensão de amido de milho em laboratório.....	32
3.7.3. Metodologia para ensaios em JARTEST.....	33
3.7.4. Metodologia para filtração.....	35
3.7.5. Metodologia para análises.....	36
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	37
4.1. Análise da chuva coleta nos reservatórios de descarte.....	37
4.1.1. Discussões sobre primeiras análises.....	38
4.2. Análise da água coletada em estação piloto com volumes de descarte.....	38
4.3. Análises dos ensaios laboratoriais.....	43
4.2.1. Discussões sobre análises laboratoriais.....	46
5. CONCLUSÃO.....	51
6. RECOMENDAÇÕES.....	51
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52
ANEXOS	

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Abanbar – tradicional sistema de captação de água de chuva comunitário do Irã.....	09
Figura 2:	<i>Chultuns</i> – cisternas utilizadas na agricultura na cidade de Oxkutzcab.....	10
Figura 3:	Prédio do anfiteatro do CEA, local onde se coletou água de chuva.....	22
Figura 4:	Fotografia do JARTESTE adquirido.....	24
Figura5A:	Terreno antes da escavação (15.02.08).....	25
Figura5B:	Terreno após escavação (07.03.08).....	25
Figura 6:	Fotografia da caixa separadora.....	26
Figura 7:	Fotografia dos dois reservatórios de 3.000 l	27
Figura 8:	Fotografia de um dos reservatórios utilizados como reservatório de descarte.....	28
Figura 9:	Esquema simplificado da sequência de volume de descarte.....	28
Figura 10:	Coleta de água de chuva nos reservatórios de descarte.....	30
Figura 11:	Esquema do equipamento para os ensaios de laboratório.....	32
Figura 12:	Homogeneização das amostras.....	33
Figura 13:	Dosagem simultânea das amostras.....	34
Figura 14:	Coleta simultânea das amostras	34

Figura 15:	Sistema de filtração.....	35
Figura 16:	Papel de filtro fixado no funil.....	36
Figura 17:	KIT para coliformes.....	37
Figura 18:	Resultados para parâmetro COR em cada dosagem. Resultados dos ensaios em escala de laboratório empregando-se o equipamento de Jarteste. (Qualidade da água bruta sem descarte: Cor aparente: 34; Turbidez: 8,84 NTU; pH: 7,7; Coliformes totais: 238,2; Coliformes termotolerantes: 3. Parâmetros fixos: Gradiente de velocidade de mistura rápida 150 s-1; Tempo de Mistura rápida: 30 s; Gradiente de floculação 45 s-1; Tempo de floculação 30 min).	44
Figura 19:	Resultados para parâmetro pH em cada dosagem. (Qualidade da água bruta sem descarte: Cor aparente: 34; Turbidez: 8,84 NTU; pH: 7,7; Coliformes totais: 238,2; Coliformes termotolerantes: 3. Parâmetros fixos: Gradiente de velocidade de mistura rápida 150 s-1; Tempo de Mistura rápida: 30 s; Gradiente de floculação 45 s-1; Tempo de floculação 30).	45
Figura 20:	Resultados para parâmetro TURBIDEZ em cada dosagem. (Qualidade da água bruta sem descarte: Cor aparente: 34; Turbidez: 8,84 NTU; pH: 7,7; Coliformes totais: 238,2; Coliformes termotolerantes: 3. Parâmetros fixos: Gradiente de velocidade de mistura rápida 150 s-1; Tempo de Mistura rápida: 30 s; Gradiente de floculação 45 s-1; Tempo de floculação 30 min).	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1:	Especificações para água de alimentação de caldeira	14
Tabela 2:	Especificações para água utilizada em sistemas de refrigeração	15
Tabela 3:	Qualidade da água para cada atividade industrial	15
Tabela 4:	Padrão de qualidade da água em processos das indústrias de papel e celulose	16
Tabela 5:	Parâmetros de qualidade de água para uso não potável	23
Tabela 6:	Análise da água coletada nos reservatórios de descarte	38
Tabela 7:	Análises da primeira chuva coletada.....	38
Tabela 8:	Análise dos valores obtidos de água bruta para os parâmetros estabelecidos em cada atividade industrial.....	42
Tabela 9:	Análises de Cor, pH e Turbidez para cada dosagem.....	43
Tabela 10:	Análises da Água Bruta.....	47
Tabela 11:	Análise da amostra dosada.....	47
Tabela 12:	Análise dos valores obtidos de água tratada para os parâmetros estabelecidos em cada atividade industrial.....	50

RESUMO

Este projeto investigou alternativa de tratamento simplificada para fins não potáveis para aplicação em escala industrial. É neste contexto que esta pesquisa alojou sua importância – nas possíveis estratégias de tratamento, em especial na utilização de sistema contendo filtro de pressão e no uso do amido natural de milho como coagulante, auxiliando no processo de filtração, visando aumento da segurança sanitária e da qualidade da água de chuva disponibilizada para aproveitamento. A hipótese do trabalho foi investigar a possibilidade da diminuição ou até eliminação do volume de água descartada na operação de abstração da primeira chuva. Para tal, foram realizados ensaios em escala de laboratório com uma precipitação coletada nos dias 10/03/08 e 03/04/2008. Os resultados da estratégia de tratamento delineada foram comparados com os obtidos pela estratégia convencional com descarte de 1,5 mm da primeira chuva, o que corresponde a um volume de 558 L de água de chuva. Utilizou-se a dosagem de 6,0 mg/L para fim de comparação com a água bruta, sem nenhum tratamento, e com a água somente filtrada. Os resultados não confirmaram a hipótese de que o tratamento com amido natural permite eliminar a etapa de abstração da primeira chuva, porém, vale ressaltar que a qualidade da água coletada já era muito boa previamente ao tratamento. Merece destaque o fato de que a amostra de precipitação submetida aos ensaios apresentados foi coletada em período de freqüente precipitação e, embora tenha sido observado o interstício de 3 dias consecutivos de estiagem a qualidade da água de chuva coletada pode ser considerada boa (34UH de cor aparente; 8,84 UT de turbidez e 238,2 (NMP) de coliformes totais e 3 (NMP) de coliformes termotolerantes). Acredita-se que, para o caso de precipitações ocorridas após longo período de estiagem, a necessidade de tratamento será premente, tendo em vista a deterioração da qualidade destas águas em relação àquelas associadas a períodos freqüentes de chuva.

Recomenda-se a condução de ensaios em escala piloto para confirmação dos resultados obtidos e a aplicação dos ensaios em escala industrial.

Palavras-chave: água de chuva, uso industrial, amido natural de milho, filtração rápida

1. INTRODUÇÃO

A crescente procura por água e a preocupação com suas fontes e sua qualidade, tem criado oportunidades para pesquisas direcionadas a fontes alternativas de abastecimento. A coleta de águas pluviais aparece como uma possibilidade simples para atenuar o problema atual da escassez dos recursos hídricos.

Esta proposta situa-se dentro da grande área que envolve o tema de Saneamento Básico, mais especificamente dentro da sub-área de Aproveitamento de Água Pluvial. Sob o ponto de vista da disponibilidade hídrica, o aproveitamento de água pluvial apresenta-se como fonte alternativa para suprir demandas menos exigentes, caracterizadas por usos não-potáveis, atendendo os requisitos pertinentes.

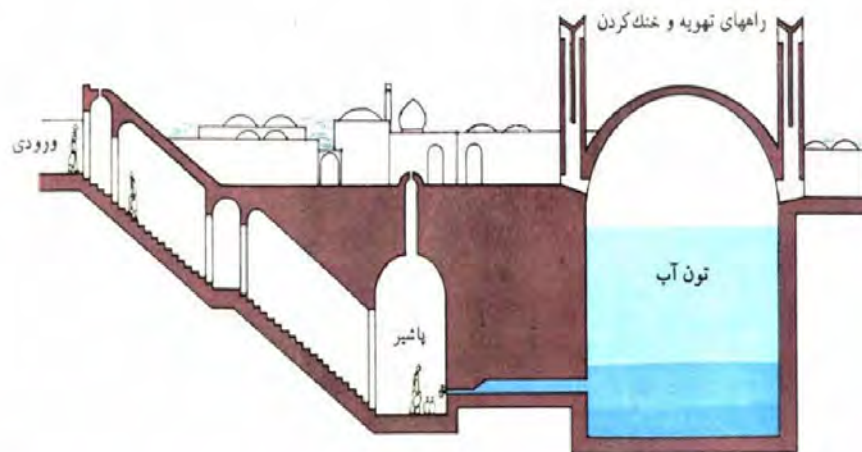
O ponto norteador das atividades da pesquisa proposta neste plano foi a investigação de estratégia adequada para tratamento visando o aproveitamento da água pluvial precipitada no telhado e piso para diferentes atividades industriais.

Para cada uso pressupõe-se uma qualidade desejada, sendo o tratamento recomendado por questões de segurança sanitária. Assim, a importância dessa pesquisa se aloja nas possíveis estratégias de tratamento, em especial a utilização do amido natural de milho como aglutinante, auxiliando no processo de filtração, visando aumento da segurança sanitária e da qualidade da água de chuva disponibilizada.

1.1. Revisão Bibliográfica

Na Antigüidade, o manejo e aproveitamento da água de chuva eram práticas amplamente utilizadas. O primeiro uso conhecido de cisternas ocorreu em 2.750 a.C., na Mesopotâmia. Segundo Tomaz (2003), na Pedra Moabita, uma das inscrições mais antigas do mundo, encontrada no Oriente Médio e datada de 850 a.C., o rei Mesga dos Moabitas sugere que as casas tivessem captação de água de chuva.

Há 2.000 anos, existiu um sistema integrado de manejo de água pluvial e agricultura de escoamento de água de chuva no deserto de Negev, hoje o território de Israel e Jordânia (GNADLINGER, 2000). No Irã, encontra-se o *Abanbar*, tradicional sistema de captação de água de chuva comunitário (Figura 1).



The cistern (abanbar) A way station

Figura 1: Abanbar – tradicional sistema de captação de água de chuva comunitário do Irã

De acordo com um artigo publicado pelo J. Franklin Institute em 1.863, na *Practical Mechanics* (J. Franklin Institute,), a cidade de Veneza coletou a precipitação das chuvas e a armazenou em cisternas por um período superior a 1.300 anos.

O México como um todo é rico em antigas e tradicionais tecnologias de coleta de água de chuva, datadas da época dos Astecas e Mayas. No século X, ao sul da cidade de Oxkutzcab, a agricultura era baseada na coleta da água de chuva, sendo a água armazenada em cisternas chamadas de *Chultuns* (GNADLINGER, 2000) (Figura 2).

Estas cisternas tinham um diâmetro de aproximadamente 5 metros e eram escavadas no subsolo calcário, revestidas com reboco impermeável. Acima delas havia uma área de captação de 100 a 200 m². Grande volume de água era armazenada, garantindo-se água até para períodos de seca inesperados (GNADLINGER, 2000).



Figura 2: *Chultuns* – cisternas utilizadas na agricultura na cidade de Oaxtepec (GNADLINGER, 2000).

Em 1970, várias cidades da Índia tiveram nas técnicas de captação de água de chuva a solução para a sua produção agrícola e passaram da situação de importadoras para exportadoras de alimentos. No meio da década de 80, a população da cidade de Gwalpura, também na Índia, localizada em uma região propensa a secas, passou a reviver as práticas de captação de escoamento superficial e o sucesso do empreendimento motivou outras 650 cidades próximas a desenvolver esforços similares, levando à elevação do nível do lençol freático, rendimentos maiores e mais estáveis provenientes das atividades agrícolas, e redução das taxas de migração.

Atualmente, a água de chuva voltou a ser utilizada, fazendo parte da gestão moderna de grandes cidades e de países desenvolvidos, originando novos conceitos de gerenciamento de águas. Vários países europeus e asiáticos utilizam amplamente a água da chuva nas residências, nas indústrias e na agricultura, pois é sabido que a mesma possui qualidade adequada a estes fins, sendo considerada um meio simples e eficaz para atenuar o problema ambiental de escassez de água. A chuva pode servir também como uma valiosa fonte de água para consumo, desde que seja tratada e atenda aos parâmetros determinado pela legislação e, mais recentemente tem sido usada para suprir as demandas de água de vasos sanitários e de lavagem de roupas (KOENIG, 1994 apud BASTOS, 2007).

No Japão, a coleta de água de chuva ocorre de forma bastante intensa e difundida, em especial em Tóquio, que atualmente depende de grandes barragens localizadas em regiões de montanha a cerca de 190 km do centro da cidade para promover o abastecimento de água de forma convencional. Nas cidades do Japão, a água de chuva coletada geralmente é armazenada em reservatórios que podem ser individuais ou comunitários, esses chamados “Tensuison” são equipados com bombas manuais e torneiras para que a água fique disponível para qualquer pessoa.

No Brasil, a instalação mais antiga de aproveitamento de água de chuva foi construída por norte-americanos em 1.943 na ilha de Fernando de Noronha (BASTOS, 2007). E, em Santa Catarina ocorreu o primeiro uso comprovado de água de chuva no século XVIII, por ocasião da construção das fortalezas de Florianópolis.

De acordo com Anecchini (2005), uma forma muito utilizada para o aproveitamento de água de chuva no Brasil é a construção de cisternas, principalmente no Nordeste brasileiro. Alguns programas foram criados pelo governo no intuito de melhorar a qualidade de vida da população do semi-árido brasileiro. O sistema de aproveitamento de água de chuva proposto para o semi-árido é simples e consiste em aproveitar os telhados das casas como área de captação e direcionar a chuva para cisternas.

A meta atual é a busca por práticas que aprimorem o uso da água, como programas de conservação, baseados em medidas técnicas e em mudanças de comportamento, motivadas por incentivos que vão desde a educação ambiental até a regulamentação de leis e de estrutura tarifária (TOMAZ, 2003 apud BASTOS, 2007).

O gerenciamento do uso da água e a procura por novas alternativas de abastecimento como o aproveitamento das águas pluviais, a dessalinização da água do mar, a reposição das águas subterrâneas e o reuso da água estão inseridos no contexto do desenvolvimento sustentável, o qual propõe o uso dos recursos naturais de maneira equilibrada e sem prejuízos para as futuras gerações (AGENDA 21, 2001).

A OMS – Organização Mundial da Saúde incluiu, em 2004, na sua 3ª edição das Diretrizes sobre Qualidade de Água de Beber, considerações sobre a água de chuva e elaborou um manual – *Storm Drainage*, destinado a engenheiros e trabalhadores das agências de apoio a entender mais claramente os problemas de drenagem nos países em desenvolvimento, para que eles possam trabalhar visando encontrar soluções práticas.

O Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, Divisão de Implementação de Legislação do Meio Ambiente, fundou a *Rainwater Partnership*

(Parceria de Água de Chuva), que reúne as entidades que tratam da água de chuva em nível internacional como IRCSA (*International Rainwater Catchment Systems Association*) e da qual a ABCMAC – Associação Brasileira de Captação e Manejo de Água da Chuva, criada em 1999, no Brasil, com a finalidade de promover ações visando um aproveitamento racional e eficiente da água da chuva no Brasil, faz parte.

A ABCMAC propõe a discussão de uma política e de estratégias nacionais de manejo de água de chuva a serem incluídas no Plano Nacional de Recursos Hídricos que é um dos instrumentos estabelecidos pela Lei nº. 9.433/97, conhecida como Lei das Águas, a ser pactuado entre o Poder Público, os usuários (indústria, irrigação, setor de abastecimento de água, geração de energia, entre outros) e a sociedade civil (associações comunitárias, ONG's, sindicatos, universidades, escolas entre outros), para fundamentar e orientar a gestão das águas.

A desigualdade na distribuição dos recursos hídricos no Brasil e no mundo é outro aspecto que fortalece a pesquisa de novas fontes de abastecimento. Segundo dados do Ministério do Meio Ambiente (Consumo sustentável: Manual de educação, 2002), o Brasil detém cerca de 13,7% de toda a água superficial da Terra, sendo que, desse total, 70% está localizado na região amazônica e apenas 30% está distribuído pelo resto do país.

A *United Nations Environment Programme* (UNEP) classifica a disponibilidade hídrica de muito alta a catastróficamente baixa, de acordo com a quantidade de água disponível em m³ por pessoa por ano. Se nenhuma atitude for tomada no sentido de preservar a água, reservando esta para ser utilizada apenas para os fins mais nobres, a disponibilidade hídrica nas regiões Nordeste e Sudeste do Brasil podem chegar à condição de catastróficamente baixa (Ghisi et al., 2005).

O padrão de potabilidade exigido e atendido pelas concessionárias de saneamento contempla, hoje, toda a água urbana abastecida sendo ela direcionada para fins potáveis ou não, ou seja, a água utilizada para descargas nos vasos sanitários é a mesma que se bebe. Os propósitos e aplicações da água dentro de uma residência podem ser separados em quatro categorias: higiene pessoal, descarga de banheiros, consumo e limpeza (Terpstra, 1999).

A chuva possui elementos presentes na atmosfera que podem interferir na qualidade da água. A chuva inicial (*first flush*) é mais poluída, pois esta é responsável por lavar a atmosfera contaminada por poluentes e a superfície de captação, quer sejam telhados ou superfícies no solo (GOULD, 1999). A utilização de água da chuva para

fins não potáveis, mesmo não necessitando da adequação em padrões rigorosos de potabilidade respeitados em ETA's, precisa de um tratamento alternativo que garanta sua qualidade. Ademais, o tratamento pode contribuir para a diminuição do volume de água descartado pela operação de abstração da primeira chuva e, assim, aumentar o volume de água disponibilizado para o aproveitamento.

Diversos setores das iniciativas pública e privada vêm buscando opções para promover o uso racional da água e novas fontes para complementar a reduzida disponibilidade hídrica ou substituir um recurso por um determinado tempo quando necessário.

O setor industrial, por exemplo, apresenta condições que favorecem a implantação de sistemas para aproveitamento de águas pluviais, ou seja, processos com elevado consumo de água, o que torna a água um fator limitante para o desenvolvimento industrial e, grandes áreas de cobertura para captação. Necessita-se, nesse caso, de análises para determinar seu uso e tratamento com o objetivo de atender à qualidade requerida.

A água de chuva aparenta possuir qualidade para se destacar como matéria-prima nos processos das indústrias em geral. Para cada processo industrial existe um parâmetro mais importante a ser atendido. Os valores de dureza da água são extremamente importantes quando se utiliza água de chuva para alimentação de caldeiras a vapor. A dureza está relacionada com a quantidade de sais de magnésio e cálcio dissolvidos. A água mole apresenta baixa concentração desses sais, característica encontrada nas águas pluviais. Águas com dureza elevada provocam incrustações, diminuindo a transferência de calor nos sistemas de geração de vapor.

O emprego direto das águas *in natura*, como água de alimentação de caldeiras, implica um processo de evaporação da fase líquida, com conseqüentes concentrações residuais de produtos minerais dissolvidos. Certos produtos depositados permanecem na forma de um lodo de fácil remoção, outros se incorporam à própria parte metálica na forma de resíduos resistentes, de remoção mais difícil, constituindo um depósito denominado pelos caldeiros de incrustações (PERA, 1990). Em geral a água de chuva é mole (baixa concentração de sais de magnésio e cálcio), sendo adequada para ser usada em processos industriais, como geração de vapor (SPERLING, 1996). Nos sistemas de geração de vapor, a qualidade da água para caldeiras é influenciada pela pressão de trabalho a que será submetida (Tabela 1).

Tabela 1: Especificações para água de alimentação de caldeira em função da pressão de operação

Parâmetros	Pressão de Operação da Caldeira (psig)						
	0-300	301-450	451-600	601-750	751-900	901-1000	1001-1500
Ph	8,3-10	8,3-10	8,3-10	8,3-10	8,3-10	8,8-9,6	8,8-9,6
Dureza total (mg/L)	≤ 0,3	≤ 0,3	≤ 0,2	≤ 0,2	≤ 0,1	≤ 0,05	ND

Legenda: ND = não detectável

Fonte: Adaptado de Valle, Pinheiro, Ferrari (2007)

Outro processo industrial no qual a água de chuva pode ser aproveitada é o sistema de refrigeração. A presença de sais de magnésio e cálcio e de microrganismos na água de refrigeração também deve ser evitada, uma vez que a corrosão das tubulações causada pela presença desses sais provoca a redução da eficiência da troca de calor. A Tabela 2 apresenta os limites da qualidade da água para sistemas de refrigeração compostos de aço carbono.

Tabela 2: Especificações para água utilizada em sistemas de refrigeração compostos de aço carbono

Parâmetros	Limites
pH	6,8-8,7
Alcalinidade total (mg/L)	≤ 300
Dureza total (mg/L)	≤ 300
Condutividade (µS/cm)	≤ 180
Cont. microbiológica (Col./mL)	Máx 50.000

Fonte: Adaptado de Valle, Pinheiro, Ferrari (2007).

A água utilizada na indústria têxtil deve estar livre de matéria orgânica, de ferro e manganês e ainda apresentar baixa turbidez. Nas indústrias de plástico, a água, além de apresentar baixas concentrações de ferro e manganês, deve possuir baixos valores de cor.

Na Tabela 3, estão relacionados os limites de parâmetros para determinadas atividades industriais.

Tabela 3: Parâmetros de qualidade da água exigidos para cada atividade industrial

Parâmetros	Atividades Industriais				
	Alimentícia	Refrigerantes	Cerveja	Têxtil	Plástico
pH	7,0	7,0	7,0	6,6-7,0	NE
Alcalinidade total (mg/L)	NE	50-100	≤ 25	≤ 20	NE
Cor aparente (uH)	ND	ND	ND	≤ 5	≤ 2
Dureza total (mg/L)	≤ 85	≤ 85	18-79	≤ 10	NE
Ferro total (mg/L)	ND	ND	≤ 0,2	≤ 0,25	≤ 0,02
Magnésio total (mg/L)	NE	NE	1-6	≤ 0,25	NE
SDT (mg/L)	≤ 500	≤ 500	50-150	NE	NE
Turbidez (UT)	≤ 5	≤ 5	≤ 4	≤ 5	≤ 2
<i>E. coli</i> (NMP/100mL)	-	-	-	NE	NE
Colif. Totais (NMP/100mL)	-	-	-	NE	NE

Legenda: ND = não detectável ou ausente

NE = não especificado

- = ausente

Fonte: Adaptado de Valle, Pinheiro, Ferrari (2007).

As indústrias de papel e celulose exigem limites de parâmetros para a água a ser utilizada que dependem da qualidade do produto a ser obtido (Tabela 4). Águas com certa quantidade de cor podem ser aproveitadas nos processos de fabricação de papelão. Para a lavagem de polpa, a água utilizada deve ter, preferencialmente, dureza zero, para que não se precipite sais de cálcio e magnésio, o que interferiria no processo de branqueamento do papel.

Tabela 4: Padrão de qualidade da água em processos das indústrias de papel e celulose

Parâmetros	Papel Fino	Papel Kraft	Papéis Ground-wood
Alcalinidade total (mg/L)	75	75	150
Cor aparente (uH)	5	25	30
Dureza total (mg/L)	100	100	200
Ferro total (mg/L)	0,1	0,2	0,3
Manganês (mg/L)	0,05	0,1	0,1
STD (mg/L)	200	300	500
Turbidez (UT)	10	40	50

Fonte: Kemmer (1988).

1.2. Generalidades sobre o amido

O amido é encontrado com abundância no reino vegetal, constitui a maior reserva de carboidratos das plantas e pode ser extraído de sua fonte com relativa facilidade.

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 e a viscosidade da suspensão aumenta de maneira sensível. O grão conserva assim sua aparência e, depois de seco, não é possível notar grande alteração (CAMPOS & BERNARDO, 1988).

Quando se ultrapassa uma temperatura próxima a 65°C, se inicia a segunda fase do endurecimento. Nesta fase, o grão aumenta seu volume em muitas vezes e a viscosidade da suspensão aumenta de forma significativa. O grão perde sua estrutura original e ao mesmo tempo ocorre a solubilização de uma pequena parte de seu conteúdo (CAMPOS & BERNARDO, 1988).

Durante a terceira fase, que ocorre em temperaturas ainda mais elevadas, os fenômenos observados durante a segunda fase ocorrem de forma mais acentuada. O aquecimento prolongado provoca, nesta terceira fase, a redução da viscosidade da solução.

1.2.1. Uso do amido como auxiliar de floculação

O amido a ser utilizado em investigações, em ensaios de laboratório e em estações de tratamento de água, deve ser submetido previamente a um tratamento inicial para permitir sua gelatinização. As moléculas de amido se encontram envoltas em uma membrana que deve ser rompida para permitir sua liberação no meio líquido. A ruptura da membrana pode ser conseguida mediante aquecimento ou adição de soda cáustica em uma suspensão concentrada do amido a ser tratado. Naturalmente, o primeiro requisito que se deve exigir da matéria – prima para os ensaios é a qualidade do amido, pois o material deve estar em forma de pó finíssimo para que a gelatinização e a dissolução em água se realizem de forma adequada (CAMPOS & BERNARDO, 1988).

1.3. Coagulação química

A água pode conter uma variedade de impurezas, destacando-se partículas coloidais, substâncias húmicas e organismos em geral. Tais impurezas apresentam carga superficial negativa, impedindo que as mesmas se aproximem umas das outras, permanecendo no meio líquido se suas características não forem alteradas. Para que as impurezas possam ser removidas, é preciso alterar algumas características da água e, conseqüentemente, das impurezas, por meio de coagulação, floculação, sedimentação (ou flotação) e filtração. A coagulação depende fundamentalmente das características da água e das impurezas presentes (BERNARDO & DANTAS, 2005).

Do ponto de vista energético, algumas partículas coloidais são termodinamicamente estáveis e denominadas colóides reversíveis, incluindo amidos e polímeros de grande escala. Em tratamento de água, é comum referir-se aos sistemas coloidais como hidrófobos ou suspensóides quando repelem a água, e como hidrófilos ou emulsóides quando apresentam afinidade com a água.

São duas as formas de estabilidade das partículas e moléculas: i) estabilidade eletrostática; ii) estabilidade estérica. Para cada condição são considerados dois aspectos: a) estrutura da interface sólido-líquido; b) forças entre duas interfaces quando próximas entre si.

Na água, a maior parte das partículas e moléculas de substâncias húmicas possui superfície carregada eletricamente, usualmente negativa. Em decorrência de três

fenômenos, por meio dos quais os colóides se apresentam com carga superficial negativa, ocorre um balanço com íons de carga contrária presentes na água e, por isso, um sistema coloidal não apresenta carga elétrica “líquida”. A carga superficial, juntamente com o movimento Browniano, conduz à formação da Dupla Camada Elétrica (DCE), formada pelas cargas superficiais e pelo excesso de íons com carga oposta adsorvidos na partícula, deixando o meio circundante eletricamente neutro e mais distante da superfície, e por co-íons (íons de mesma carga) distribuídos de maneira difusa no meio polar (William, 1994). O modelo mais simples sobre a DCE considera a interface como um dispositivo armazenador de carga análogo a um capacitor de placas paralelas (BERNARDO & DANTAS, 2005).

A elevada concentração de íons positivos próximos à superfície do colóide é denominada Camada de Stern, a partir da qual se forma a camada difusa, onde a concentração de íons é menor. O potencial elétrico criado pela presença do colóide na água diminui com a distância, a partir da superfície do mesmo, onde é denominado Potencial de Nernst (PN). Stern afirmou que há uma distância mínima entre a superfície do colóide e os íons de carga contrária, na qual o potencial elétrico decresce linearmente; em seguida, a diminuição resulta exponencial, passando pela fronteira das camadas compacta e difusa, região em que o potencial elétrico, segundo Lyklema (1978) é chamado de Potencial Zeta (PZ). O conceito desse potencial está associado à aplicação da diferença de potencial em uma amostra de água contendo colóides negativos, de tal forma que certa porção do meio, em torno da partícula, caminha junto com esta ao eletrodo positivo, caracterizando o Plano de Cisalhamento.

1.3.1. Estabilização estérica

A adsorção de polímeros na superfície das partículas coloidais ocorre em decorrência da interação coulombica (carga-carga), por meio de ligações de hidrogênio, interações de van der Waals ou pela combinação destas.

As alças e as caudas decorrentes da adsorção de um polímero na superfície da partícula coloidal geralmente são partes estabilizadoras da cadeia, uma vez que, dependendo do tipo de interação com as partículas ou com a água, podem acarretar o aparecimento de energia de repulsão, impedindo sua aglomeração. Os segmentos fixados à superfície são os responsáveis pelo ancoramento da cadeia polimérica, pois se ligam a sítios superficiais como os quais possuem afinidade.

Quando há interação entre as superfícies de duas partículas recobertas por polímeros, que se encontram muito próximos, a repulsão entre elas pode ocorrer de duas formas. Em uma delas, com a colisão entre as partículas, cada camada de polímero pode ser comprimida, reduzindo o volume disponível para as moléculas adsorvidas e restringindo o movimento dos polímeros, causando, assim, a repulsão entre as partículas. Na outra, e mais frequentemente, as camadas adsorvidas se entrelaçam, aumentando a concentração de segmentos dos polímeros nessa região; se os segmentos estendidos dos polímeros forem fortemente hidrofílicos, ocorrerá, preferencialmente, a reação entre eles e a água, tendendo a repulsão (BERNARDO & DANTAS, 2005).

2. OBJETIVO

O presente projeto tem como objetivo investigar estratégia simplificada de tratamento de água de chuva com ênfase na utilização do amido de milho como auxiliar de floculação no processo de tratamento de água de chuva para fins não potáveis com vistas ao uso industrial.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Os ensaios foram realizados nas dependências do Centro de Estudos Ambientais (CEA) da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP, campus Rio Claro.

Os ensaios laboratoriais versaram pela determinação das condições adequadas de dosagem de amido frente à adoção dos gradientes de velocidade de mistura compatíveis com os valores calculados para futuros ensaios em escala plena.

Todas as análises e medições seguiram os procedimentos descritos no Standard Methods for Examination of Water and Wastewater 21th.

3.1. Caracterização do local

A cidade de Rio Claro está localizada a 173 km a noroeste da capital do Estado de São Paulo. O acesso pode ser feito pelo sistema Anhanguera/Bandeirantes e Rodovia Washington Luiz (SP 310). O clima do município pode ser considerado tropical com duas estações definidas - Cwa na classificação de Koeppen, ou seja, w: seca no inverno, a: mês mais quente com temperatura superior a 22°C, ou tropical alternadamente seco e úmido, controlado por massas tropicais e equatoriais, que predominam em mais de 50% do ano (MONTEIRO, 1973).

A temperatura média do mês mais frio varia entre 3°C e 18°C. As temperaturas médias anuais situam-se entre 18,1 e 20,9°C (TROPMAIR, 1992). Os ventos dominantes provêm dos quadrantes S e SE. Quanto à distribuição anual do regime das chuvas, ocorre um período seco, entre abril e setembro, com 15 a 20 dias de chuva, e um período chuvoso, de outubro a março, com 55 a 60 dias de chuva, respondendo por mais de 80% das precipitações anuais.

A água da chuva foi captada do telhado do prédio do anfiteatro do Centro de Estudos Ambientais – CEA. A área projetada do telhado é de 372 m² e conta com um esquema de calhas propício para a captação da água de chuva precipitada, pois estão todas direcionadas para um mesmo ponto, o que facilitou e otimizou a coleta de água de chuva para realização dos ensaios.



Figura 3: Prédio do anfiteatro do CEA, local onde se coletou água de chuva

3.2. Levantamento dos parâmetros necessários à realização do trabalho

A água de chuva tratada foi analisada de acordo com os parâmetros determinados pela norma NBR 15.527 da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, que dispõe sobre Aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis em áreas urbanas (Tabela 5).

Para análise prévia das características da água de chuva coletada sem tratamento, utilizaram-se os seguintes parâmetros para caracterização de água, além dos recomendados pela ABNT NBR 15527: alcalinidade, cálcio, magnésio, ferro, condutividade, dureza, ST, SST, SSV, SDT, SDV, OD, DBO, nitrito, nitrato, cloretos e sulfetos.

**Tabela 5: Parâmetros de qualidade de água de chuva para uso não potável –
NBR 15527**

Parâmetro	Análise	Valor
Coliformes totais	Semestral	Ausência em 100 mL
Coliformes termotolerantes	Semestral	Ausência em 100 mL
Turbidez	Mensal	< 2,0 uT, para usos menos restritivos < 5,0 UT
Cor aparente (caso não seja utilizado nenhum corante, ou antes, da sua utilização).	Mensal	< 15 uH
Deve prever ajuste de pH para proteção das redes de distribuição, caso necessário.	Mensal	pH de 6,0 a 8,0 no caso de tubulação de aço ou carbono ou galvanizado
NOTAS 1 Para lavagem de roupas deve ser feita a análise de <i>Cryptosporidium parvum</i> anualmente 2 UT é a unidade de turbidez 3 UH é a unidade Hazen		

Fonte: NBR 15527

3.3. Montagem do laboratório de ensaios

Para realização do projeto foi necessário adquirir equipamentos de medição, produtos químicos para tratamento, análises e calibração dos equipamentos, vidrarias e papel de filtro. Após a aquisição, foi possível a montagem do laboratório de acordo com as necessidades inerentes ao desenvolvimento do projeto.

O laboratório de ensaios ainda conta com um equipamento JARTEST adquirido para a realização de pesquisa científica (Figura 4). Todos os materiais e equipamentos necessários foram financiados pela CNPq, processo nº477881/2006-8.



Figura 4 – Fotografia do JARTESTE adquirido.

3.4. Montagem da estação piloto

A montagem da estação piloto foi feita de modo a coletar toda a água precipitada no telhado do Anfiteatro do CEA e no piso, que já possuía um sistema coletor de águas pluviais uni-direcionado.

O dimensionamento dos reservatórios foi feito considerando a precipitação máxima histórica no Município de Rio Claro, e a área do telhado do prédio.

Para montagem e instalação da estação piloto foi necessário abrir, com utilização de escavadeira, uma vala de 3,0 m de largura por 10,0 m de comprimento, e profundidade inicial de 2,0 m e final de 1,60 m, para aproveitar a água captada na caixa coletora comum, utilizando-se apenas da força gravitacional do desnível existente. Essa profundidade foi determinada por meio de medição de nível com mangueira de nível (Figuras 5A e 5B).

O sistema de coleta de águas pluviais é composto por uma caixa separadora de folhas e material grosseiro, a qual foi também construída. Improvisou-se uma caixa separadora com caixa plástica utilizada para transporte de fruta (Figura 6).



Figura 5A: Terreno antes da escavação (15.02.08)



Figura 5B: Terreno após escavação (07.03.08)



Figura 6: Fotografia da caixa separadora

3.4.1. Cálculo do volume de chuva coletado pelo telhado

Para cálculo do volume de chuva a ser coletado, utilizou-se a área do telhado do prédio e a média máxima histórica de chuva no município de Rio Claro, segundo dados da estação meteorológica do CEAPLA – Centro de Análises e Planejamento Ambiental.

Normalmente, utiliza-se de metodologias específicas para cálculo de volume de água coletada em telhado, onde se considera o coeficiente de escoamento superficial, para que se leve em conta o volume de água perdido. Como a proposta era de se captar somente água do telhado e, após análise da área, descobriu-se que a água coletada seria proveniente do piso também, uma vez que o ponto final de coleta recebia água de ambas as áreas, optou-se por não considerar o coeficiente de escoamento superficial, devido ao fato de que o volume de água coletada poderia ser maior que o previsto.

Os cálculos para determinação do volume de água coletada seguiram a seguinte metodologia:

$$\text{Volume de chuva} = 300 \text{ mm/mês} = 300 \text{ l/mês}$$

$$\text{Área do telhado} = 372 \text{ m}^2$$

$Q = V \times A$ onde Q = vazão ; V = volume de chuva ; A = área do telhado

$$Q = 300 \times 372 = 111.600 \text{ l/mês} = 2,6 \text{ l/min} = \mathbf{3.720 \text{ l/dia}}$$

A partir deste cálculo, decidiu-se que o volume dos reservatórios seria de 3.000 L.

Foram instalados dois reservatórios de 3.000 l, sendo para coleta da água de chuva e adição de amido de milho na dosagem determinada e o outro para o armazenamento após filtração (Figura 7).



Figura 7: Fotografia dos dois reservatórios de 3.000 l

3.4.2. Volumes de descarte

Para a coleta inicial, antes de chegar ao reservatório, a água da chuva segue para três reservatórios de material plástico correspondentes ao volume de descarte da primeira chuva. Cada reservatório tem capacidade de 200 L (Figura 8).



Figura 8: Fotografia de um dos reservatórios utilizados como reservatório de descarte

A seqüência de descarte é representada pelo Figura 9:

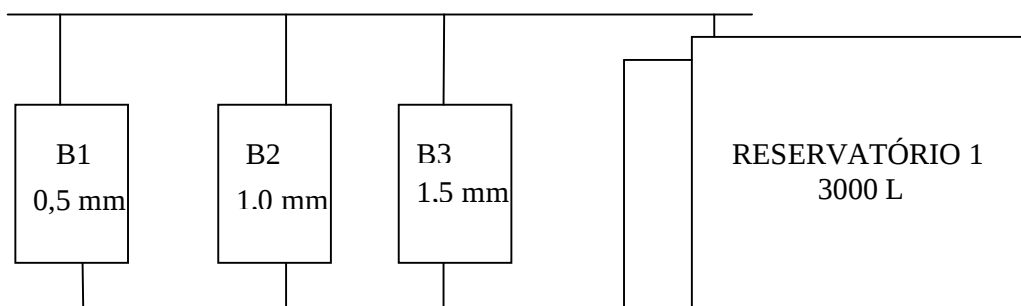


Figura 9: Esquema simplificado da seqüência de armazenamento do volume de descarte

Cada reservatório é acionado de uma vez. Assim que o primeiro reservatório se enche de água, sua válvula é fechada e abre-se a válvula do segundo reservatório até que esse se encha e tenha sua válvula fechada para abertura do terceiro reservatório. Quando os três reservatórios estiverem cheios, tem-se o volume de descarte pré-estabelecido – 1,5 mm, e a água de chuva coletada segue para o reservatório de tratamento.

As águas coletadas pelos reservatórios serão, após análise dos parâmetros nos diferentes volumes de descarte, bombeadas para o reservatório de tratamento, para aproveitamento do volume de chuva e análise de amostra sem descarte.

3.4.3. Cálculo do diâmetro da tubulação de saída da bomba

O cálculo do diâmetro da tubulação foi feito utilizando-se a vazão da bomba a ser utilizada para bombear a água dos reservatórios de armazenamento de água de descarte para o reservatório de tratamento e a velocidade da água.

$$Q_{\text{bomba}} = 0,003 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Velocidade da água} = 1,05 \text{ m/s}$$

$$Q = S \times V \text{ onde } S = \text{área do tubo} = \pi \times r^2$$

$$S = 0,003 \text{ m}^2, \text{ portanto, } \varnothing = 60 \text{ mm}$$

3.5. Coleta de água de chuva nos reservatórios de descarte

Antes que a construção da estação fosse concluída para sua operação, distribuíram-se os reservatórios de descarte pelo Centro de Estudos Ambientais – CEA, para um prévio conhecimento das características gerais da chuva no município e dos métodos de análise a serem utilizados.



**Figura 10: Coleta de água de chuva nos reservatórios de descarte
(10/03/08)**

As amostras foram classificadas como 1, 2, 3 e 4 que correspondem a 1,5mm (558 L), 1mm (372 L), 0,5mm (186 L) de descarte e sem descarte, respectivamente.

Para que se obtenham resultados satisfatórios no tratamento de água de chuva coletada é necessário que se possua um intervalo de, no mínimo, 3 dias sem chuva até a data da coleta e a captação só pode ser feita por, no máximo, 3 dias consecutivos de chuva.

3.6. Coleta da água de chuva na estação piloto

A água de chuva foi coletada no dia 03/04/2008 e proveu do telhado e piso do prédio do anfiteatro do CEA. Segundo dados do CEAPLA, essa chuva teve duração de 1 hora e 40 minutos, nos intervalos de 16h50min até às 17h10min e de 17h50min até às 19h10min. No primeiro intervalo de chuva, precipitou 3,4 mm e, no segundo intervalo, 2,9 mm resultando numa precipitação total de 6,3 mm, o que nos forneceu um volume de 2.343,6 litros. O período de estiagem até a data da chuva coleta foi de 9 dias – 25/03/2008, dia em que houve uma precipitação de 13,5 mm.

Devido às dificuldades de operação apresentadas no momento da coleta, causada pela presença de uma única pessoa para operar a estação, as válvulas dos reservatórios de descarte foram todas abertas e eles encheram todos juntos, sem seguir a sequência proposta em projeto.

Assim que cheios todos os reservatórios, a água de precipitação começou a ser coletada pelo reservatório de tratamento. Terminada a precipitação observou-se que o volume de chuva foi suficiente para encher todos os três reservatórios de descarte e metade do reservatório de tratamento, resultando em um volume médio de 2.250 l de água pluvial.

3.7. Ensaios laboratoriais da água coletada na estação experimental

3.7.1. Descrição do equipamento

Os ensaios laboratoriais foram realizados utilizando uma unidade para ensaios de coagulação-floculação-sedimentação (JARTESTE). O equipamento JARTESTE utilizado na presente pesquisa possui paletas giratórias com ajuste de rotação com

mostrador digital, capazes de imprimir gradientes de velocidade entre 10 e 2000 s^{-1} , possibilitando que a unidade seja empregada nas etapas de mistura rápida, mistura lenta (floculação) e sedimentação (Figura 11).

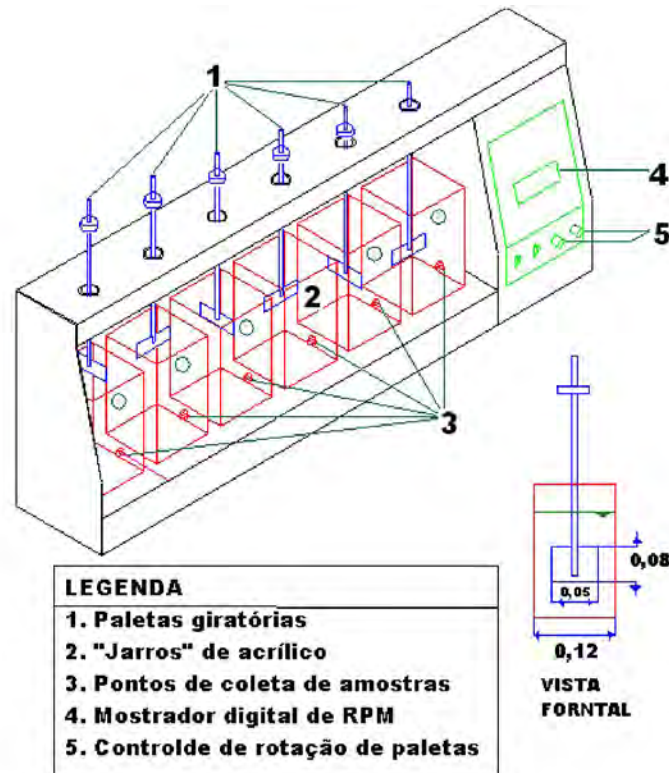


Figura 11 – Esquema do equipamento para os ensaios de laboratório que serão utilizados nessa pesquisa. Fonte: Santos (2006)

3.7.2. Metodologia para utilização do amido de milho

3.7.2.1. Preparação da suspensão de amido de milho em laboratório

A concentração escolhida de solução foi de 0,2 %. A preparação dessa solução se obtém de acordo com os seguintes passos:

- dissolve-se 200 mg de amido de milho em 100 ml de água destilada fria;
- esquentar a solução até ferver, agitando para evitar formação de coágulos;
- assim que levantar fervura, tirar a solução do fogo;

- deixe a solução esfriar até a temperatura ambiente.

Esta suspensão pode ser guardada por até dois dias. Depois desse tempo, não se recomenda seu uso.

3.7.3. Metodologia para ensaios em JARTEST

A preparação do JARTEST para ensaio laboratorial seguiu os seguintes passos:

- acrescentam-se 2 litros da água de chuva, em cada jarro;
- infere-se um gradiente de velocidade de 150 s^{-1} , para homogeneizar a amostra (Figura 12);



Figura 12: Homogeneização das amostras

- assim que homogeneizada a amostra, abaixa-se o gradiente de velocidade das paletas giratórias para 45 s^{-1} , para simular a velocidade de mistura em escala piloto, que será feita manualmente;
- adiciona-se, por meio de pipeta, a dosagem escolhida em cada um dos tubos dosadores do JARTEST;
- rotacionando a haste suporte dos tubos adicionam-se, simultaneamente, todas as dosagens escolhidas na água (Figura 13);



Figura 13: Dosagem simultânea das amostras

- lavam-se os frascos dosadores com um rápido jato de água destilada para remoção de possível remanescente de solução e despeja-se nos jarros;
- deixa-se misturar por 30 minutos, numa rotação constante de 45 s^{-1} ;
- coletam-se todas as amostras simultaneamente, por meio do dispositivo de coleta apropriado. Devem-se coletar as amostras num volume suficiente para posterior filtração e análise (Figura 14).



Figura 14: Coleta simultânea das amostras

Foram realizadas seis dosagens por ensaio, a saber: 0,0 mg/l, 0,1 mg/l, 0,2 mg/l, 0,4 mg/l, 0,6mg/l e 0,8 mg/l; 1,0 mg/l, 1,5 mg/l, 2,0 mg/l, 2,5 mg/l, 3,0 mg/l e 3,5 mg/l; 4,0 mg/l, 4,5 mg/l, 5,0 mg/l, 5,5 mg/l e 6,0 mg/l; 6,5 mg/l, 7,0 mg/l, 7,5 mg/l, 8,0 mg/l, 8,5 mg/l e 9,0 mg/l.

3.7.4. Metodologia para filtração

Em um béquer de 125 ml, com a utilização de funil de plástico, monta-se o sistema de filtração (Figura 15).



Figura 15: Sistema de filtração

O papel de filtro 125 mm, velocidade de filtração de 10mL/180s, porosidade de 2 a 3µm (faixa lenta) e gramatura de 84g/m² é dobrado de forma a fazer um funil. O papel de filtro é fixado no funil utilizando-se de pisseta para projetar jato de água deionizada (Figura 16).

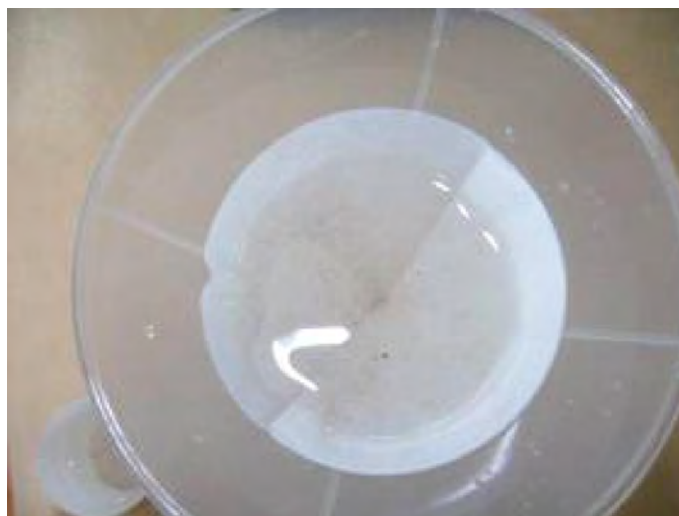


Figura 16: Papel de filtro fixado no funil

Usa-se um béquer para cada dosagem. Após cada filtração, o béquer é lavado com água deionizada e as amostras acondicionadas nos mesmos frascos coletores. Terminada a filtração, o frasco de coleta é lavado com água deionizada e armazena-se a água tratada para posterior análise.

3.7.5. Metodologia para análises

Para análise, optou-se por realizar as medições somente considerando os parâmetros estabelecidos pela NBR 15527 da ABNT: pH, turbidez e cor. As análises de coliformes foram realizadas somente nos ensaios que apresentaram os melhores resultados, sendo determinado ausência/presença e contagem, no caso de presença.

Para o teste de turbidez foi utilizado turbidímetro portátil HACH, para o teste de pH, pHmetro, e a cor, foi determinada por espectrofotometria HACH. O teste de coliformes foi realizado com a utilização de KIT com reagentes Colilerte (Figura 17).



Figura 17: KIT para coliformes

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Análise da chuva coleta nos reservatórios de descarte

A primeira chuva a ser coletada, precipitou no dia 10/03/2008, antes da construção da estação piloto. Tal foi coletada nos três reservatórios de descarte posteriormente utilizados na construção da estação piloto. Os parâmetros analisados foram: temperatura, OD, salinidade, pH, condutividade, STD, Turbidez, Cor, Coliformes totais e fecais (em apenas um reservatório). Os resultados dessas primeiras análises podem ser verificados na Tabela 6:

Tabela 6: Análise da água coletada nos reservatórios de descarte

Parâmetros/Reservatórios	1	2	3
Temperatura (°C)	22,95	25,41	25,17
OD	8,5	7,47	7,78
salinidade	0	0	0
pH	3,58	4,23	4,6
condutividade	5	7	11
STD	0,003	0,005	0,008
Turbidez	2,84	5,97	5,65
Cor	38	66	40
Coliformes Totais		> 2419,2	
Coliformes Fecais		3,1	

4.1.1. Discussões sobre primeiras análises

Percebe-se que a água de chuva coletada apesar de possuir elevada acidez, apresenta boa qualidade. A presença de coliformes comprova a contaminação da água de chuva e reforça a necessidade da adoção de algum sistema de tratamento.

4.2. Análise da água coletada em estação piloto com volumes de descarte

No dia 03/04/08, coletou-se a primeira chuva na estação piloto. Foram avaliadas a qualidade de 3 volumes diferentes de descarte e analisou-se a qualidade da água de chuva sem descarte.

A Tabela 7 mostra os resultados obtidos para cada volume adotado. Onde a amostra 1 corresponde a 1,5 mm de chuva descartada, a amostra 2 corresponde a 1 mm, amostra 3, 0,5 mm e a amostra 4 corresponde ao volume de chuva sem descarte.

Tabela 7: Análises da primeira chuva coletada

Parâmetros	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4
pH	5,47	5,83	5,22	5,50
Cloreto (mg/L)	1,60	1,70	1,30	2,00
Coliformes Totais	Presença	Presença	Presença	Presença
Coliformes Fecais	Presença	Presença	Presença	Presença
Condutividade (mS/cm₃)	34,00	39,00	37,00	39,00

Cor	178,00	109,00	101,00	225,00
DBO (mg/L)	9,40	3,80	3,40	4,10
Dureza (mg/L)	10,00	9,90	9,60	10,00
NO₃	0,10	0,10	0,10	0,10
NO₂	0,01	0,01	0,01	0,01
OD (mg/L)	7,33	6,28	6,56	7,11
SO₄	1,00	2,00	1,00	1,00
SST (mg/L)	32,00	29,30	33,30	86,00
SSV (mg/L)	18,000	12,633	13,697	26,670
SDT (mg/L)	23,00	24,00	24,00	25,00
SSF (mg/L)	14,00	16,67	19,33	59,33
Turbidez (NTU)	28,10	23,20	26,50	64,40
Fe (mg/L)	0,0080	0,0100	0,0150	0,0140
Ca (mg/L)	3,5070	3,3280	3,2560	3,4000
Mg (mg/L)	0,4240	0,4170	0,4150	0,4490
Salinidade (per mil)	0,02	0,02	0,02	0,02

Analisando os resultados obtidos para a água de chuva bruta coletada, observa-se que não é possível utilizá-la *in natura* na maioria das atividades industriais. E a opção de adotar o descarte de 1,5 mm de chuva coletada, correspondente a 558 litros, auxilia no atendimento dos limites de parâmetros estabelecidos porém, os resultados obtidos para a amostra sem descarte são bem semelhantes aos resultados das análises dos volumes descartados, o que permite a tomada de decisão de não se descartar nenhum volume de água de chuva coletada. Essa ação, em escala industrial, representa o aproveitamento de um significativo volume de água coletada para aproveitamento.

A fim de comparação, avaliam-se os resultados obtidos na amostra correspondente a 1,5 mm de volume de descarte com cada atividade industrial observam-se diferentes situações. Na indústria alimentícia, de refrigerantes e de papel, somente os valores de dureza total e sólidos dissolvidos totais se enquadraram dentro do permitido.

Para a atividade de alimentação de caldeiras, observa-se que a água de chuva bruta, sem tratamento, não se enquadra dentro dos parâmetros estabelecidos para tal atividade.

Os resultados obtidos nas análises de dureza total e condutividade são os únicos resultados que obedecem aos limites de qualidade da água na atividade de refrigeração.

Somente o resultado de Ferro total se encontra compatível com o requerido nos limites de parâmetros para água utilizada na indústria de plástico e têxtil, sendo que esta ainda apresenta adequação no limite de Magnésio.

Para a indústria de cerveja, a água de chuva bruta possui resultados que obedecem somente aos limites de dureza total, Ferro total e sólidos dissolvidos totais.

A Tabela 8 apresenta um resumo do enquadramento dos parâmetros analisados para as atividades industriais estabelecidas.

Tabela 8: Análise dos valores obtidos de água bruta para os parâmetros estabelecidos em cada atividade industrial

PARÂMETROS		ATIVIDADES INDUSTRIAIS							
		Alimentícia	Refrigerantes	Papel	Alimentação de Caldeiras	Refrigeração	Têxtil	Plástico	Cerveja
5,47	pH	7,0	7,0	NE	8,3-10	6,8-8,7	6,6-7,0	NE	7,0
178	Cor	ND	ND	5,0-30,0	NE	≤ 300	< 5	< 2	ND
10	Dureza	< 85	< 85	100-200	≤ 0,3	NE	< 10	NE	18-79
34	Condutividade	NE	NE	NE	NE	≤ 180	NE	NE	NE
0,008	Ferro	ND	ND	0,1-0,3	NE	NE	< 0,25	< 0,02	< 0,2
0,424	Magnésio	NE	NE	0,05-0,1	NE	NE	< 0,25	NE	1,0-6,0
23	SDT	< 500	< 500	< 500	NE	NE	NE	NE	< 150
28,1	Turbidez	< 5	< 5	< 50	NE	NE	< 5	< 2	< 4
Presença	E. coli	-	-	NE	NE	NE	NE	NE	-
Presença	Colif. Totais	-	-	NE	NE	Máx 50.000	NE	NE	-

Legenda: NE = não especificado
ND = não detectável ou ausente
- = ausente

 = não atende aos limites estabelecidos
 = atende aos limites estabelecidos

4.3. Análises dos ensaios laboratoriais

Após serem ensaiadas as 23 dosagens pré-estabelecidas, foram feitas análises de cor, pH e turbidez das amostras filtradas. A Tabela 9 mostra os resultados obtidos.

Tabela 9: Análises de Cor, pH e Turbidez para cada dosagem.

Parâmetros			
Dosagens (mg/L)	COR	pH	TURBIDEZ
0	19	7,42	0,98
0,1	17	7,3	1,04
0,2	29	7,22	1,08
0,4	16	7,11	1,09
0,6	20	7,6	1,2
0,8	26	7,15	1,17
1,00	52,00	7,70	1,86
1,50	29,00	7,43	2,15
2,00	54,00	7,12	2,15
2,50	51,00	6,80	2,88
3,00	54,00	6,87	3,01
3,50	70,00	6,87	3,19
4,00	34,00	7,10	4,36
4,50	28,00	7,12	2,20
5,00	12,00	7,13	2,06
5,50	28,00	7,10	2,39
6,00	12,00	7,64	4,64
6,50	14,00	6,73	1,23
7,00	4,00	6,90	1,40
7,50	12,00	7,09	1,70
8,00	5,00	7,00	1,62
8,50	12,00	7,04	1,77
9,00	11,00	7,02	1,53

Abaixo, seguem os gráficos gerados pelos resultados obtidos em análise.

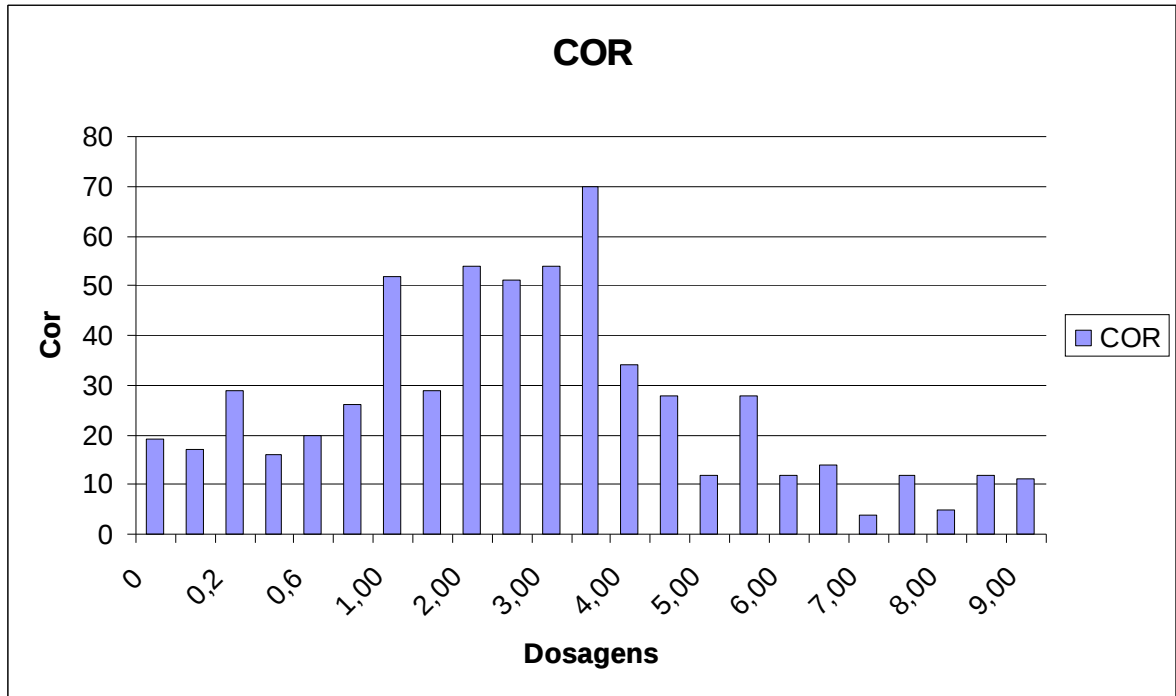


Figura 1: Resultados para parâmetro COR em cada dosagem. Resultados dos ensaios em escala de laboratório empregando-se o equipamento de Jarteste. (Qualidade da água bruta sem descarte: Cor aparente: 34; Turbidez: 8,84 NTU; pH: 7,7; Coliformes totais: 238,2; Coliformes termotolerantes: 3 . Parâmetros fixos: Gradiente de velocidade de mistura rápida 150 s-1; Tempo de Mistura rápida: 30 s; Gradiente de floculação 45 s-1; Tempo de floculação 30 min).

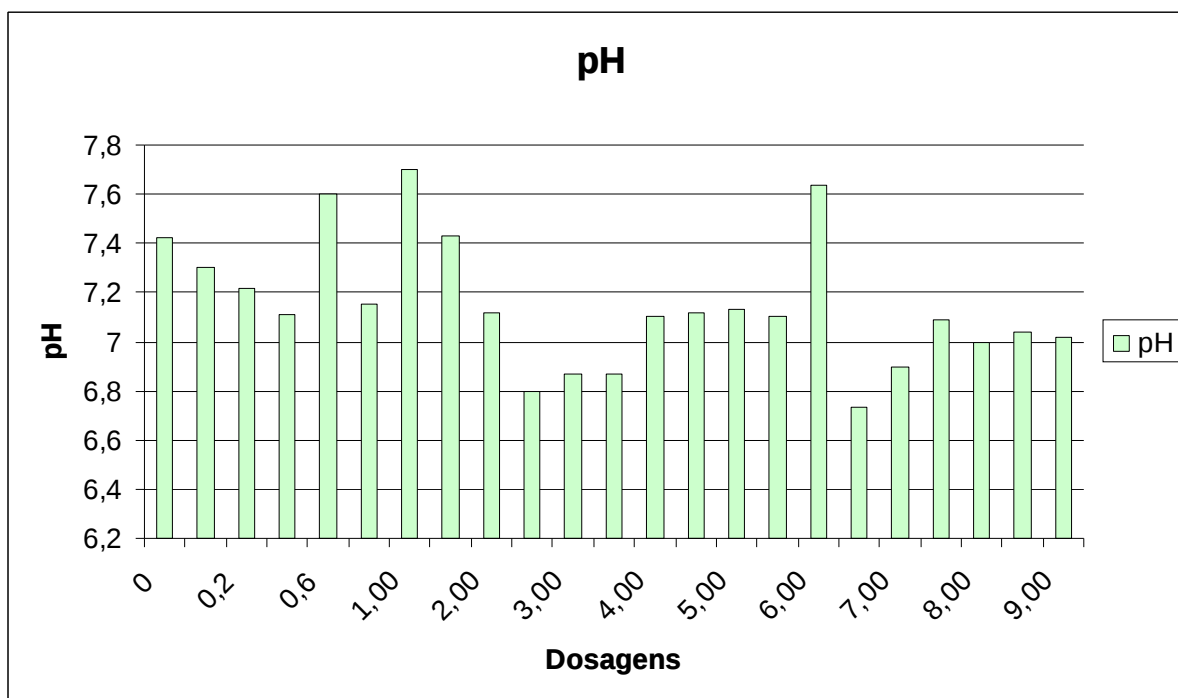


Figura 2: Resultados para parâmetro pH em cada dosagem. (Qualidade da água bruta sem descarte: Cor aparente: 34; Turbidez: 8,84 NTU; pH: 7,7; Coliformes totais: 238,2; Coliformes termotolerantes: 3 . Parâmetros fixos: Gradiente de velocidade de mistura rápida 150 s-1; Tempo de Mistura rápida: 30 s; Gradiente de floculação 45 s-1; Tempo de floculação 30 min)

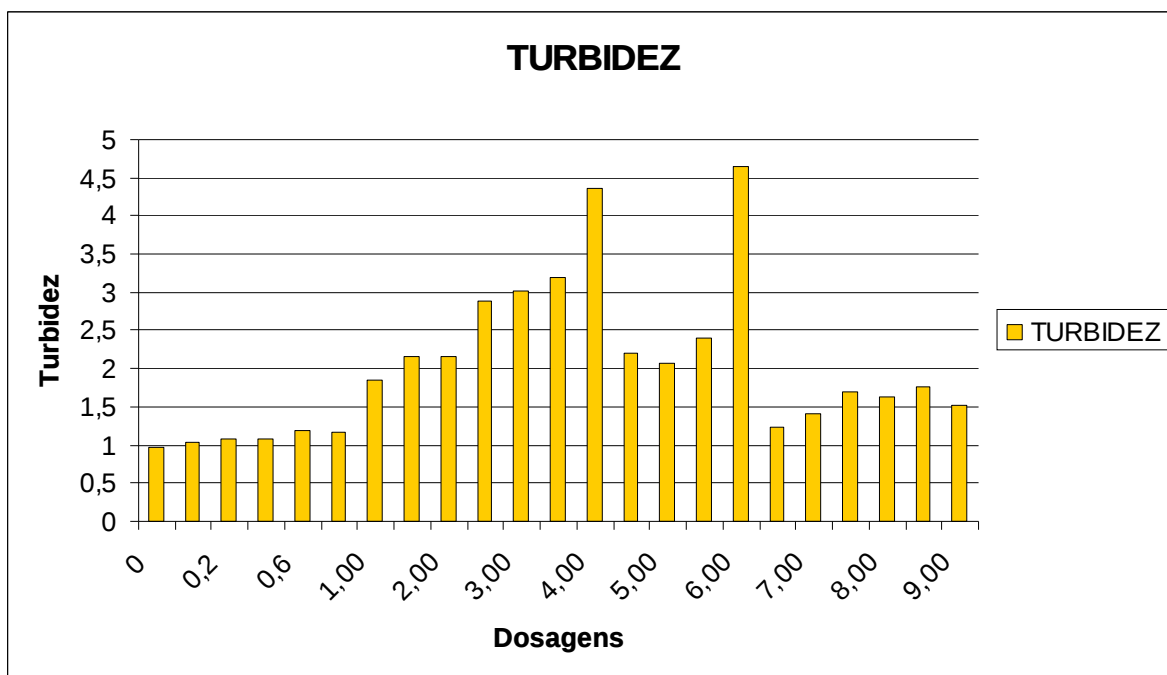


Figura 3: Resultados para parâmetro TURBIDEZ em cada dosagem. (Qualidade da água bruta sem descarte: Cor aparente: 34; Turbidez: 8,84 NTU; pH: 7,7; Coliformes totais: 238,2; Coliformes termotolerantes: 3 . Parâmetros fixos: Gradiente de velocidade de mistura rápida 150 s-1; Tempo de Mistura rápida: 30 s; Gradiente de floculação 45 s-1; Tempo de floculação 30 min)

4.3.1. Discussões sobre análises laboratoriais

De acordo com tabela apresentada da NBR 15527 da ABNT, conclui-se, sobre os parâmetros analisados após tratamento, que:

- Cor – encontram-se valores menores que os valores máximos permitidos pela ABNT nas dosagens de 5,0 mg/l; 6,0 mg/l; 6,5 mg/l; 7,5 mg/l; 8,5 mg/l e 9,0 mg/l. Valores extremamente baixos nas dosagens de 7,0 mg/l e 8,0 mg/l podem ser resultado de contaminação ou erro de leitura, uma vez que difere do padrão de resultados apresentados.
- pH – todas as dosagens de solução de amido de milho resultaram em bons valores de pH, dentro do limite estabelecido pela ABNT.
- Turbidez – todas as dosagens de amido de milho 0,2 % apresentaram resultado para turbidez residual dentro do limite máximo permitido pela NBR 15.527, para usos menos restritivos.

Analisando esses resultados, percebe-se que a melhor dosagem é de 7,0 mg/L. Todavia, como o trabalho é realizado em conjunto com outra discente, a dosagem escolhida para reprodução em escala plena foi de 6,0 mg/L. Nos ensaios do Trabalho Intitulado de Água Pluvial para Fins Residenciais Não Potáveis com Utilização de Amido de Milho como Auxiliar de Filtração Cíclica, desenvolvido pela discente Liane Kondo Nakada, realizado juntamente com a presente pesquisa, essa foi a melhor dosagem correspondente a mais de um ciclo de filtração e como não existiu a possibilidade de se ensaiar mais de uma dosagem na estação piloto, devido às condições meteorológicas desfavoráveis, foi preciso que se estabelecesse uma dosagem compatível às duas estratégias de tratamento.

Outro ensaio em JARTESTE foi realizado com a água bruta e as dosagens de 0,0 mg/L e 6,0 mg/L, para efeito de comparação. Os resultados desses ensaios estão apresentados nas Tabelas 10 e 11.

Tabela 10: Análises da Água Bruta

COR	pH	TURBIDEZ	COLIFORMES TOTAIS	COLIFORMES FECAIS
34	7,7	8,84	238,2	3

Tabela 11: Análise da amostra com dosagem de amido

Parâmetros				COLIFORMES TOTAIS	COLIFORMES FECAIS
Dosagens	COR	Ph	TURBIDEZ		
0	3	7,6	1,22	48	AUSENTE
6	10	7,32	2,27	12,1	AUSENTE

De acordo com tabela apresentada da NBR 15527 da ABNT, conclui-se, sobre os parâmetros analisados após tratamento, que:

- Cor – o melhor resultado na análise de cor foi encontrado na dosagem de 0,0 mg/l, o que nos leva a concluir que a adição de solução de amido de milho pode interferir na cor da amostra, embora o resultado para 6,0 mg/l de solução ainda se encontra dentro do valor máximo permitido pela ABNT. A eficiência de remoção de cor, comparando a água bruta com a tratada com 6,0 mg/L de amido foi de 70,59 %.

- pH – é pouco influenciado pela adição da solução de amido de milho. Porém, vale ressaltar que comparados com os valores de pH da primeira chuva analisada (10/03/2008), medidos no mesmo dia da precipitação, o tratamento da água de chuva, mesmo que somente com o emprego de filtração, apresenta resultados mais satisfatórios, uma vez que os valores de pH da primeira chuva encontram-se fora da variação permitida pela ABNT.
- Turbidez – assim como no parâmetro Cor, o melhor resultado foi encontrado na dosagem de 0,0 mg/l. Para tal, vale a mesma discussão de que a adição de solução de amido pode interferir na leitura do parâmetro, mesmo a dosagem de 6,0 mg/l de solução de amido apresentando um resultado satisfatório. A eficiência de remoção de cor, quando comparada a água bruta com a tratada com 6,0 mg/L de amido de milho foi de 74,32 %.
- Coliformes totais – as duas dosagens resultaram em diminuição da concentração de coliformes totais, porém nenhuma delas apresentou valores dentro do permitido. A dosagem de 6,0 mg/l apresentou valor menor para coliforme total. A eficiência de remoção de coliformes totais para a água tratada com 6,0 mg/L foi de 79,84 %.
- Coliformes fecais – ambas as amostras apresentaram resultados satisfatórios para coliformes fecais: Ausência, o que representa uma eficiência de 100% de remoção.

Comparando-se os resultados obtidos nas análises de água bruta com os limites estabelecidos para cada parâmetro essencial a determinada atividade industrial, verifica-se que o tratamento da água bruta, seja somente por filtração simples ou com a combinação de filtração mais adição de amido de natural de milho, apresenta resultados semelhantes para as diversas atividades industriais. O pH resultante em ambas as formas de tratamento não se enquadra dentro dos limites estabelecidos para nenhuma das atividades industriais relacionadas, com exceção de Alimentação de Caldeiras e Refrigeração. Para os valores de cor, o tratamento da água de chuva pode obter resultado quando para a utilização em atividades como alimentação de caldeiras, refrigeração e, sem adição de amido de milho, na indústria têxtil. Analisando-se os resultados de turbidez obtidos, observa-se a alta eficiência que o tratamento da água de chuva possui, seja com a simples filtração ou com adição de amido natural de milho. Todas as atividades podem utilizar a água de chuva tratada como matéria prima de seus processos, exceto a indústria têxtil, quando é utilizado o amido de milho.

A maior eficiência da utilização de amido de milho é observada quando são analisados os resultados para coliformes totais e termotolerantes, apesar de ainda apresentarem valores positivos para tais. Essa presença pode ser devido à contaminação durante o manuseio das amostras.

Tabela 12: Análise dos valores obtidos de água tratada para os parâmetros estabelecidos em cada atividade industrial

PARÂMETROS		ATIVIDADES INDUSTRIAIS							
		Alimentícia	Refrigerantes	Papel	Alimentação de Caldeiras	Refrigeração	Têxtil	Plástico	Cerveja
Água Tratada - 0,0 mg/L	7,6	7,0	7,0	NE	8,3-10	6,8-8,7	6,6-7,0	NE	7,0
	3	ND	ND	< 30	NE	≤ 300	< 5	< 2	ND
	1,22	< 5	< 5	< 50	NE	NE	< 5	< 2	< 4
	-	-	-	NE	NE	NE	NE	NE	-
	48	-	-	NE	NE	Máx 50.000	NE	NE	-
PARÂMETROS		ATIVIDADES INDUSTRIAIS							
		Alimentícia	Refrigerantes	Papel	Alimentação de Caldeiras	Refrigeração	Têxtil	Plástico	Cerveja
Água Tratada - 6,0 mg/L	7,32	7,0	7,0	NE	8,3-10	6,8-8,7	6,6-7,0	NE	7,0
	10	ND	ND	< 30	NE	≤ 300	< 5	< 2	ND
	2,27	< 5	< 5	< 50	NE	NE	< 5	< 2	< 4
	-	-	-	NE	NE	NE	NE	NE	-
	12,1	-	-	NE	NE	Máx 50.000	NE	NE	-

Legenda: NE = não especificado

ND = não detectável ou ausente

- = ausente

= não atende aos limites estabelecidos

= atende aos limites estabelecidos

5. CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos nesta pesquisa frente às condições investigadas pode-se concluir:

Quando comparados os limites de parâmetros estabelecidos pela NBR 15.527, conclui-se que, mesmo apresentando resultados para Cor e Turbidez maiores, a dosagem de 6,0 mg/l indica sua eficácia nas análises bacteriológicas, uma vez que apresenta valor menor para coliforme total e ausência para coliforme fecal, parâmetros extremamente importantes no tratamento de água.

É importante lembrar que foi feito somente um ensaio com a água de chuva coletada e que esta apresentou uma qualidade adequada ainda sem o tratamento. Porém, não se pode garantir a constância dessa qualidade nas chuvas precipitadas. O tratamento utilizando a adição de amido de milho garante maior segurança na qualidade obtida, uma vez que apresenta resultados dentro dos parâmetros estabelecidos.

6. RECOMENDAÇÕES

Sugere-se, para efeito de comparação e confirmação dos resultados, que se apliquem os ensaios realizados em laboratório na estação piloto montada, com a dosagem de 7,0 mg/L, que foi a dosagem que apresentou melhores resultados nessa pesquisa e com a dosagem de 6,0 mg/L, dosagem adotada devido à dificuldade de novos ensaios e de apresentar melhores resultados na pesquisa realizada juntamente com o presente projeto e, sugere-se também, que se aplique em escala industrial para comprovar além da eficiência, o baixo custo do tratamento.

7. REFERÊNCIAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis em áreas urbanas, NBR 15527.** Disponível em: <<http://www.abnt.org.br/defaultu.asp?resolucao=1024X768>>. Acesso em 15 mai. 2007. Dez 2006.
- AGENDA 21 (1992). **Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento.** Secretaria do Meio Ambiente, Governo do Estado do São Paulo. Rio de Janeiro/RJ. 3 a 14 de Junho de 1992.
- ANTHONY, T. S.; COOMBES, P.; DUNSTAN, R.H.; KUCZERA, G. **Water Quality Treatment Processes in Domestic Rainwater Harvesting Systems.** In: International Hydrology and Water Resources Symposium, XXIX, 2003. Wollongong, Austrália
- ANNECCHINI, K. P. V. **Aproveitamento da água da chuva para fins não potáveis na região metropolitana de Vitória (ES).** 2005. 124 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental)– Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo.
- BASTOS, F. P. **Tratamento de água de chuva através de filtração lenta e desinfecção UV.** 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Estadual do Espírito Santo, Vitória, 2007.133 p.
- BERNARDO, L.; DANTAS, A.B. **Métodos e técnicas de tratamento de água.** 2ª Edição. Vol.1. São Carlos: RiMa, 2005.
- BRITO, L. T. L.; ANJOS, J. B. **Barragem Subterrânea: Captação e Armazenamento de Água no Meio Rural.** In: Simpósio sobre captação de água de chuva no semi – árido brasileiro, I, 1997. Petrolina.
- CAMPOS, J. R.; BERNARDO, L. **Uso de polímeros naturales en el tratamiento de aguas para abastecimiento.** Colômbia: Universidad Del Valle. Ministerio de La Salude de Colombia - OMS, USP, 1988. 62 p.
- CARVALHO, G dos S.; OLIVEIRA, S. C. de.; MORUZZI, R.B. **Calculo do Volume do Reservatório de Sistemas de Aproveitamento de Água de Chuva: Comparação entre métodos para aplicação em residência unifamiliar.** In: Simpósio Nacional de Sistemas Prediais, X, 2007, São Carlos. Sistemas Prediais: Desenvolvimento e inovação. São Carlos. 2007.
- CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente (Brasil). Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2005.
- CONSERVAÇÃO E REÚSO DE ÁGUA. **Manual de Orientação para o Setor Industrial** Volume 1. FIESP/CIESP.
- DI BERNARDO, L.; DI BERNARDO, A.; FILHO, P. L. C. **Ensaio de Tratabilidade de Água e dos Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água.** São Carlos: RiMa, 2002.
- FOK et.al. **Bayes-Markov analysis for rain-catchment cisterns.** Technical Report No. 133, University of Hawaii, Honolulu, Hawaii, 1980.

GAP/DPE/SRH/MMA, Coordenação do Plano Nacional de Recursos Hídricos. **Relatório da Oficina Aspectos institucionais, legais e tecnológicos para o manejo das águas de chuva no meio rural e urbano. Julho de 2005.** Disponível em: <http://pnrh.cnrh - srh.gov.br/>. Acesso e: 10 jul. Acesso em: 10 jul. 2007

Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Plano Nacional de Recursos Hídricos. Águas para o futuro: cenários para 2020.** Vol. 2. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos. – Brasília: MMA, 2006.

J. Franklin Institute. **The water cisterns in Venice.** Practical Mechanica J., 3rd ser. 70 (1860).

KEMMER, F. N. **The NALCO Water handbook.** 2.ed. New York: McGraw-Hill, 1988.

Relatório da Oficina Aspectos institucionais, legais e tecnológicos para o manejo das águas de chuva no meio rural e urbano. Coordenação do Plano Nacional de Recursos Hídricos GAP/DPE/SRH/MMA. Julho de 2005.

LEE, K.T.; LEE, C.; YANG, M.; YU, C. **Probabilistic design of storage capacity for rainwater cistern systems.** J. agric. Engng. Res., v. 77, n.3, p. 343-348.2000.

LETTERMAN, R.D.; PERO, R.W. **Contaminants in Polyelectrolytes Use in Water Treatment.** Journal of the American Water Works Association JAWWA. Denver, 5, nov. 1990. No. 11, Vol. 82, p. 87 – 96.

MMA/ ANA/ SINDUSCON/ COMASP/ FIESP/ SESI/ SENAI/ IRS. **CONSERVAÇÃO E REUSO DA ÁGUA EM EDIFICAÇÕES.** Volume único. 2005. 152 p.

OLIVEIRA, K. F. **Previsão de Vazão em uma bacia do Semi – Árido usando previsões climáticas numéricas de precipitação.** 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental, área de Engenharia de Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2006. 94 p.

PERA,H. **Geradores de Vapor: um compendio sobre conversão de energia com vistas a preservação da ecologia.** 2ª ed. São Paulo: Fama, 1990.

RUSKIN, R. H. **Armazenagem de água em cisternas. 1ª Parte: Uma velha idéia para um mundo moderno.** Água Latinoamérica. Ago. 2001. No. 1, Vol. 2, p. 13 – 16.

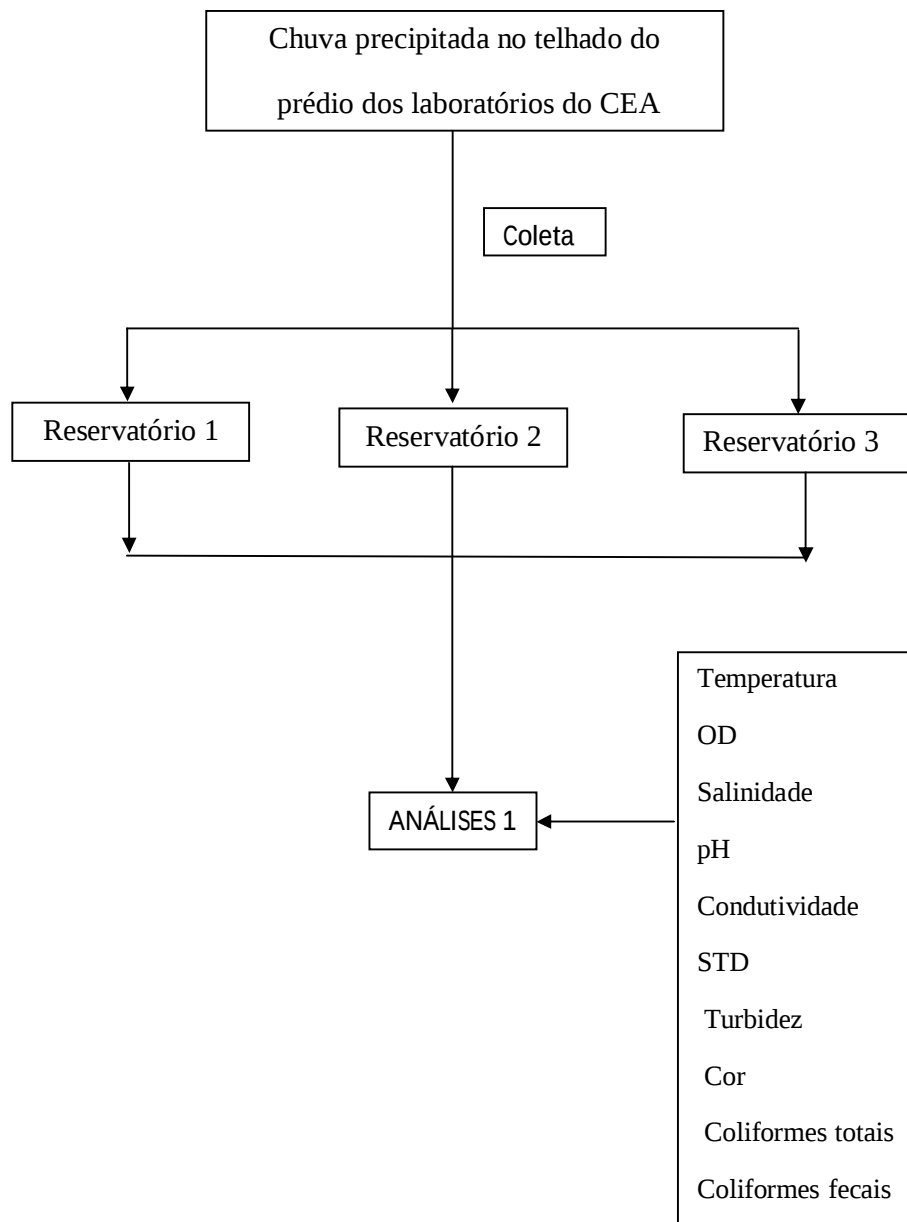
SANTOS FILHO, D. F. **Tecnologia de Tratamento de Água : Água para Industria.** Rio de Janeiro: Almeida Neves, 1985.

SPERLING, M. V. **Introdução à Qualidade das Águas a ao Tratamento de Esgotos:** 2. ed. Belo Horizonte: DESA, 1996.

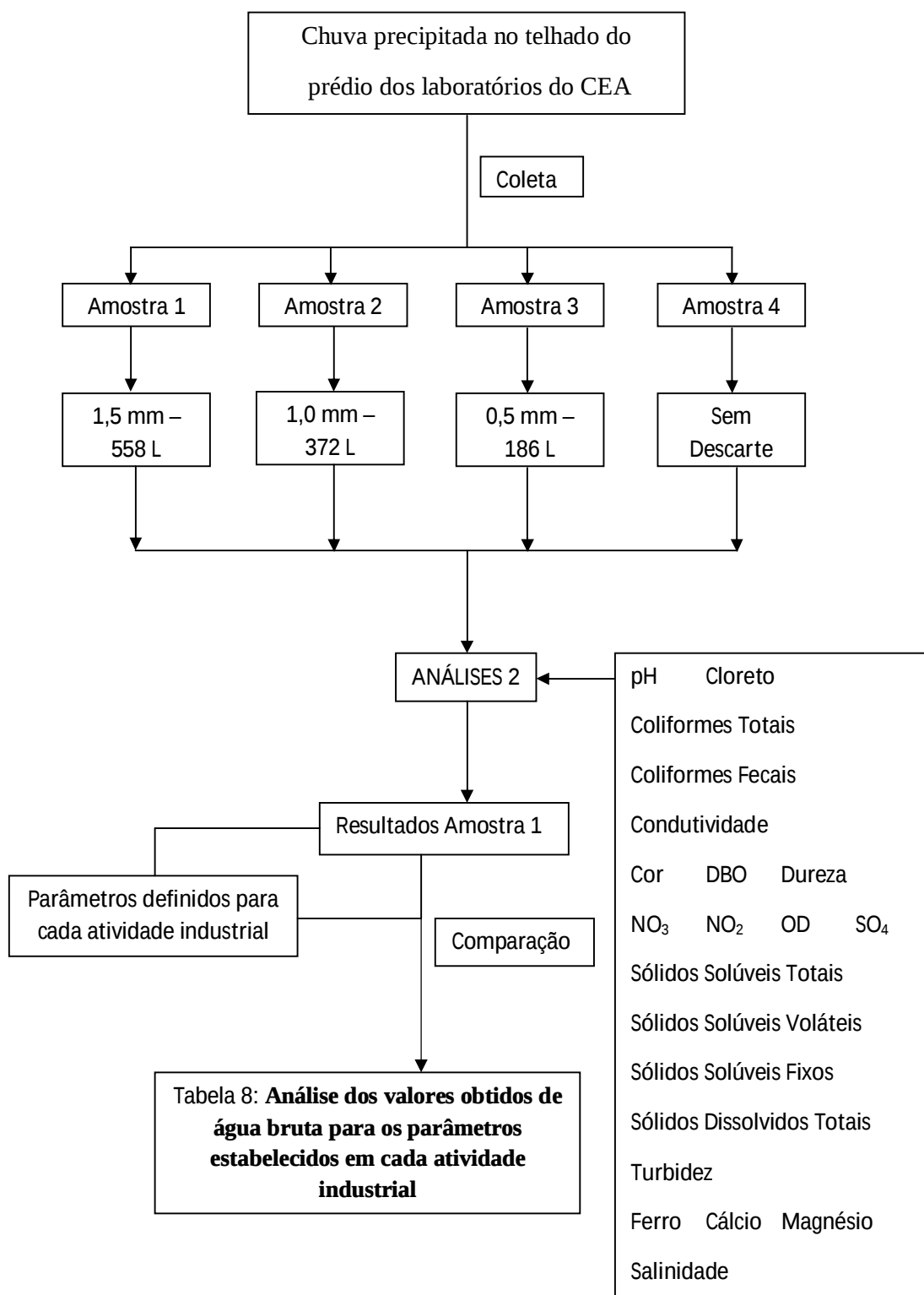
TOMAZ, Plínio. **Aproveitamento de água de chuva.** São Paulo: Navegar Editora, 2003.

ANEXOS

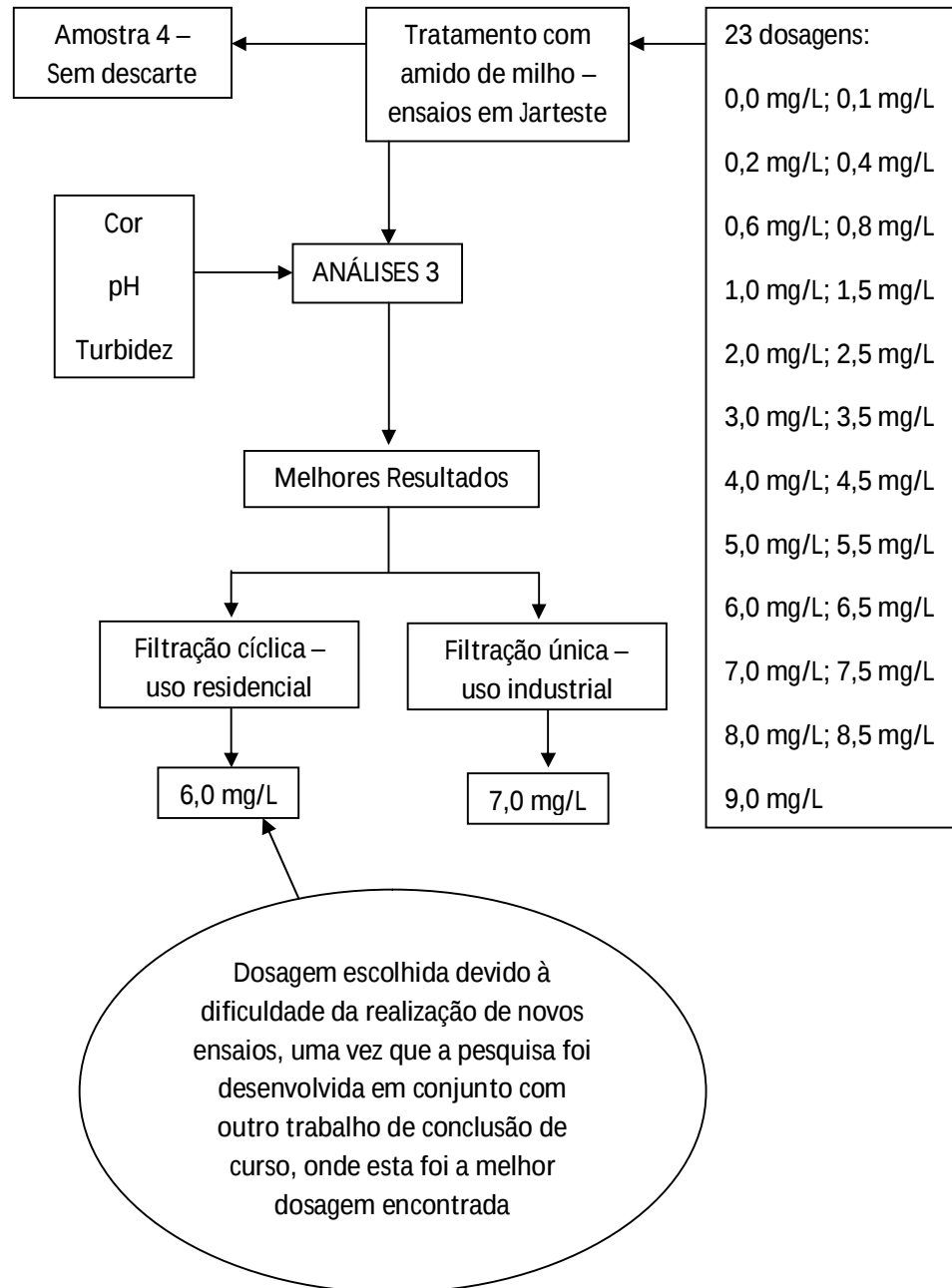
ANEXO 1: Fluxograma do processo de coleta de água pluvial nos reservatórios de descarte, no dia 10/03/08



ANEXO 2: Fluxograma do processo de coleta de água pluvial na estação piloto, com volumes de descarte, no dia 03/04/08.



ANEXO 3: Fluxograma das análises com a água coletada no dia 10/04/08, sem volume de descarte, com tratamento



ANEXO 4: Fluxograma das análises com a água coletada no dia 10/04/08, sem volume de descarte, com água que recebeu somente filtração como forma de tratamento e com a água que recebeu dosagem de 6,0 mg/L de amido de milho e filtração como forma de tratamento.

