**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”
Centro de Energia Nuclear na Agricultura**

**Avaliação da qualidade de água de um sistema de captação de
água pluvial. Estudo de caso: *Laboratório de Ecologia
Isotópica/CENA/USP***

Jean Carvalho

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre
em Ciências. Área de concentração: Ecologia Aplicada

**Piracicaba
2014**

Jean Carvalho
Engenheiro Florestal

Avaliação da qualidade de água de um sistema de captação de água pluvial.
Estudo de caso: *Laboratório de Ecologia Isotópica/CENA/USP*

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **PLÍNIO BARBOSA DE CAMARGO**

Dissertação apresentada para obtenção do título
de Mestre em Ciências. Área de concentração:
Ecologia Aplicada

Piracicaba
2014

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP**

Carvalho, Jean

Avaliação da qualidade de água de um sistema de captação de água pluvial.
Estudo de caso: Laboratório de Ecologia Isotópica/CENA/USP / Jean Carvalho. - -
versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2014.
85 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Centro de
Energia Nuclear na Agricultura, 2014.

1. Água de chuva 2. Captação de água pluvial 3. Qualidade de água pluvial 4. Sistema
de captação pluvial I. Título

CDD 574.52632
C331a

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

DEDICO

*A minha mãe Denise, por toda luta e amor, sempre
Ao meu pai Paulo, pela inspiração, que descanse em paz
Aos meus irmãos Renê, Bruna e Laís, por todo carinho, por
toda alegria e por todo amor*

OFEREÇO

A minha querida Selma, meu amor, minha amiga

“Pois um sonho que se sonha junto é realidade...”

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Plínio Barbosa de Camargo, pela orientação, compreensão e confiança no meu trabalho durante todos esses anos de amizade. Sou muito grato por todos os ensinamentos, oportunidades, incentivos, cumplicidade e colaboração, mesmo nos momentos mais difíceis;

À minha mãe Denise e aos meus irmãos Renê, Bruna e Laís, que sempre estiveram ao meu lado, propiciando uma vida mais alegre e um significado para seguir sempre em frente;

À minha querida Selma, pelo apoio, carinho, compreensão, infinito amor, amizade, cumplicidade, paciência e confiança. Sou muito grato por tudo que você propiciou durante todos os dias desde que a conheci;

À Universidade de São Paulo – USP e ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada Interunidades ESALQ/CENA, pela formação acadêmica e oportunidade;

À FAPESP (Processo 2011/04325-6) pela bolsa de estudo concedida;

À Prefeitura do campus ESALQ, pelo apoio logístico e financeiro concedido à elaboração deste trabalho;

Ao Engenheiro Valter, engenheiro responsável do Departamento de Infraestrutura da ESALQ – DVINFRA, pela colaboração, planejamento e contribuição na instalação do sistema de captação pluvial;

À empresa INFIBRA-ltda. pelas cisternas doadas para a execução deste trabalho;

Ao Professor Luiz Antônio Martinelli, diretor do Laboratório de Ecologia Isotópica – LEI e a todos os funcionários, pelo acolhimento;

Às secretárias Mara (PPGI-EA) e Roberta (LEI), que sempre nos tratam com dedicação, carinho e respeito;

Aos professores, técnicos e estagiários do LEI. Fica aqui meu agradecimento especial à Fabiana pela grande dedicação, ajuda e paciência;

Aos amigos Gubers e Natássia pela boa vontade, incentivo e auxílio nas coletas. Minha eterna gratidão à vocês dois, sem a ajuda de vocês eu não conseguiria concluir este trabalho;

Aos amigos do GEPURA: Frauda, Mundiça, Pão, Plea, Rard, Raser, Rebeca, pela dedicação, contribuição e amizade;

Aos amigos e colegas do LEI: Bethe, Edmar, Gubers, Maurício, Natássia, Rafa, Robson, Tati, Urso, pela amizade e boa convivência;

E, finalmente, a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho, meus sinceros agradecimentos!

SUMÁRIO

RESUMO.....	9
ABSTRACT	11
LISTA DE FIGURAS	13
LISTA DE GRÁFICOS.....	15
LISTA DE TABELAS	19
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	21
LISTA DE SIMBOLOS.....	23
1 INTRODUÇÃO	25
1.1 Hipótese de trabalho	27
2 DESENVOLVIMENTO.....	29
2.1 Revisão Bibliográfica	29
2.1.1 Captação de água	30
2.1.2 Breve histórico da captação de água pluvial	30
2.1.3 Local de estudo	31
2.1.4 Qualidade da água de sistemas de captação pluvial	32
2.1.5 Sistemas de desinfecção e filtragem.....	34
2.1.6 Normas para sistemas de captação	34
2.2 Material e Métodos	37
2.2.1 Área de estudo	37
2.2.2 Dados do sistema de captação	38
2.2.3 Pontos de coleta	42
2.2.4 Variáveis de qualidade da água analisadas	45
2.2.4.1 Carbono Inorgânico Dissolvido (CID)	46
2.2.4.2 Carbono Orgânico Dissolvido (COD)	46
2.2.4.3 Nitrogênio Total (NT).....	46
2.2.5 Descrição dos parâmetros analisados	46

2.2.6	Comparação dos resultados	47
2.3	Resultados	49
2.3.1	Tabela de eventos, pH, CE, CID, COD e NT	49
2.3.2	Resultados de CE, NT, DIC e pH da água da chuva	53
2.3.3	Resultados de CE, NT, DIC e pH da água de chuva descartada	60
2.3.3.1	Análise da eficiência do sistema de “first-flush”	60
2.3.3.2	Relação da água descartada com as características pluviométricas.....	69
2.3.4	Resultados de CE, NT, DIC e pH da água armazenada.....	73
2.4	Discussão	75
2.4.1	Qualidade da água de chuva	75
2.4.2	Qualidade da água descartada.....	75
2.4.3	Qualidade da água armazenada.....	77
3	CONCLUSÃO	79
3.1	Considerações finais.....	80
	REFERÊNCIAS	81
	BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	85

RESUMO

Avaliação da qualidade de água de um sistema de captação de água pluvial. Estudo de caso: *Laboratório de Ecologia Isotópica/CENA/USP*

Devido à intensificação das atividades industriais e agrícolas, aliada ao grande crescimento urbano e ao aumento exponencial da população no último século, a pressão sobre os recursos hídricos se intensificaram drasticamente. Sendo assim, existe a necessidade de se buscar novas fontes de abastecimento público de água. A captação de água pluvial remonta a milhares de anos, no entanto, por se tratar de uma área onde os estudos são recentes, muitas dúvidas permeiam sobre o método a ser adotado para a implantação de sistemas de captação pluvial, de forma que garanta a saúde de seus usuários. Desta forma, procurando acrescentar cientificamente e analisar novas possibilidades para sistemas de aproveitamento de água pluvial, este projeto objetivou analisar e caracterizar a qualidade da água em diversos pontos em um sistema de captação, armazenamento e utilização de água pluvial, instalado no Laboratório de Ecologia Isotópica do CENA/USP no município de Piracicaba, SP. Foi construído um sistema em escala real contendo cinco recipientes de 100 L para o descarte de primeiras águas, totalizando aproximadamente 3,3 mm de água descartada, com duas cisternas de 5 mil litros cada para armazenar a água captada. Foram coletadas amostras de água em sete pontos do sistema totalizando 36 análises por evento pluviométrico. Os parâmetros analisados foram pH, condutividade elétrica (CE), nitrogênio total (NT), carbono inorgânico dissolvido (DIC), carbono orgânico dissolvido (DOC) e oxigênio dissolvido (OD). As análises de OD foram descontinuadas após a constatação de que o OD, nas diferentes etapas do sistema, não apresentavam diferenças estatísticas devido ao esquema utilizado na montagem do sistema. O pH coletado sempre apresentou valores mais altos que os valores da precipitação, tendendo a diminuir conforme a água captada era descartada atingindo uma média de pH de 6,1 quando a água encontrava-se nas cisternas. A CE e o NT apresentaram valores mais altos que os valores encontrados na precipitação com um decaimento significativo para cada etapa de descarte, assim como apresentaram correlação com a intensidade pluviométrica e o intervalo de estiagem entre eventos pluviométricos. O desvio padrão de CE tendeu a diminuir a cada etapa de descarte, demonstrando que o sistema de descarte atuava como um homogeneizador da água coletada, independente das características pluviométricas. Os parâmetros de DIC também apresentaram valores maiores que os encontrados na água de chuva, assim como apresentaram queda significativa conforme a quantidade de água descartada. Os parâmetros de DOC não apresentaram qualquer correlação com a quantidade de água descartada ou com os parâmetros pluviométricos. Concluiu-se que o sistema de descarte de primeiras águas tem um papel fundamental na qualidade final da água captada. Assim como, que a recomendação da ABNT, de descartar os primeiros 2 mm de chuva, condiz exatamente com o ponto onde se obtém a melhor qualidade de água com o mínimo de perda. Foi possível constatar que o intervalo de estiagem e a intensidade pluviométrica influenciaram diretamente na qualidade da água que será coletada.

Palavras-Chave: Água de chuva; Captação de água pluvial; Qualidade de água pluvial; Sistema de captação pluvial

ABSTRACT

Valuation of water quality in a system of rainwater collection. Case study: *Laboratory of Isotope Ecology/CENA/USP*

Due to increasing industrial and agricultural activities, coupled with the extensive urban growth and the exponential increase in population in the last century, the pressure on water resources has intensified dramatically. Thus, there is a need to seek new sources of public water supply. The collection of rainwater goes back thousands of years, however, because it is an area where the studies are recent, many questions permeate on the method to be adopted for the implementation of rainwater harvesting systems, as well as ensure health of its users. Thus, seeking to add scientifically and analyze new possibilities for harnessing rainwater systems, this project aims to analyze and characterize water quality at various points in a system of capture, store and use rainwater, at the Laboratory of Isotope Ecology CENA / USP in Piracicaba, SP. A system has been built in real scale with five drums of 100 L for discarding of first waters, totaling approximately 3.3 mm discarded water, with two cisterns of 5000 liters each to store the collected water. Were seven sampling points totaling 36 analyzes per rainfall event. Parameters of pH, electrical conductivity (CE), total nitrogen (TN), dissolved inorganic carbon (DIC), dissolved organic carbon (DOC) and dissolved oxygen (OD) were analyzed. Analyses of OD were discontinued after the realization that the OD, in the different stages of the system, showed no statistical differences due to the layout of the system. The analyzed pH always showed a higher values than the precipitation and has tended to decrease as the collected water was discarded. Showing an average pH of 6.1 when the water reaches the cistern. The values of EC and NT were higher than the values found in precipitation and tended to decrease gradually in each stage of disposal system of the first water, as also showed a correlated pattern with the rainfall intensity and with the interval between rainfall events. The CE standard deviation tend to decrease at each step of the disposal system of the first water, demonstrating that the disposal system of the first water serves as a homogenizer of water captured, regardless of the rainfall characteristics. The parameters of DIC also showed higher values than those found in rain water, and showed a gradual decrease in each stage of disposal system of the first water. The parameters of DOC showed no correlation with the amount of discarded water or with the rainfall parameters. It was concluded that the disposal system of the first waters has a key role in the final quality of water abstracted. As well as the recommendation of ABNT, of discarding the first 2 mm of rain, matches exactly the point where you can get the best quality water with minimal loss. It was found that the drought period and the rainfall intensity directly influence the quality of water that will be collected.

Keywords: Rainwater; Rainwater catchment; Rainwater quality; Catchment system

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Projeção da escassez de água para 2025	29
Figura 2 – Piracicaba em época de queimadas de cana-de-açúcar.....	32
Figura 3 – Sistema em escala real instalado nas dependências do LEI	37
Figura 4 – Esquema de um sistema de captação de água pluvial	42
Figura 5 – Sistema “wet-only” de coleta de água de chuva.....	43
Figura 6 – Desenho esquemático do sistema de captação pluvial instalado para o experimento.....	44

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Resultados obtidos através do Método de Análise de Simulação para o projeto proposto, considerando a pluviosidade do ano de 2010.	41
Gráfico 2 – Resultados obtidos através do Método do Máximo Aproveitamento para o projeto proposto, considerando a pluviosidade do ano de 2010.	41
Gráfico 3 – Variação da condutividade da água da chuva em relação à intensidade pluviométrica.	54
Gráfico 4 – Variação do nitrogênio total da água da chuva em relação à intensidade pluviométrica.	54
Gráfico 5 - Variação do carbono inorgânico dissolvido em relação à intensidade pluviométrica.	55
Gráfico 6 - Variação do pH em relação à intensidade pluviométrica.	55
Gráfico 7 – Relação logarítmica da CE da chuva x intensidade pluviométrica.	56
Gráfico 8 – Relação logarítmica do NT da chuva x intensidade pluviométrica.	56
Gráfico 9 – Relação logarítmica do DIC da chuva x intensidade pluviométrica.	56
Gráfico 10 – Relação logarítmica do pH da chuva x intensidade pluviométrica.	56
Gráfico 11 – Variação da condutividade da água de chuva em relação ao intervalo de estiagem entre chuvas.	57
Gráfico 12 – Variação do nitrogênio total da água de chuva em relação ao intervalo de estiagem entre chuvas.	58
Gráfico 13 - Variação do carbono inorgânico dissolvido em relação ao intervalo de estiagem entre chuvas.	58
Gráfico 14 – Variação do pH em relação ao intervalo de estiagem entre chuvas.	59

Gráfico 15 – Relação Linear da CE da chuva x intervalo de estiagem entre chuvas.	59
Gráfico 16 – Relação Linear do NT da chuva x intervalo de estiagem entre chuvas.	59
Gráfico 17 – Relação Linear do DIC da chuva x intervalo de estiagem entre chuvas.	60
Gráfico 18 – Relação Linear do pH da chuva x intervalo de estiagem entre chuvas.	60
Gráfico 19 – pH médio e desvio padrão de cada parte do sistema de descarte e armazenamento.	61
Gráfico 20 – Condutividade elétrica média e desvio padrão de cada parte do sistema de descarte e armazenamento.	61
Gráfico 21 – Nitrogênio total médio e o coeficiente de variação para cada parte do sistema.	62
Gráfico 22 – Carbono inorgânico dissolvido e o desvio padrão de cada etapa do sistema de descarte e armazenamento.	63
Gráfico 23 – Comparação do pH obtido nos diferentes pontos amostrais do sistema de descarte de primeiras águas.	63
Gráfico 24 – Comparação da CE obtida nos diferentes pontos amostrais do sistema de descarte de primeiras águas.	64
Gráfico 25 – Comparação do NT obtido nos diferentes pontos amostrais do sistema de descarte de primeiras águas.	64
Gráfico 26 – Comparação do DIC obtido nos diferentes pontos amostrais do sistema de descarte de primeiras águas.	65
Gráfico 27 - Comparação dos valores de CE encontrados no primeiro (FF1) e último ponto (FF5) do sistema de descarte.	66
Gráfico 28 – Comparação dos valores de CE encontrados no terceiro (FF3), quarto (FF4) e quinto (FF5) ponto do sistema de descarte de primeiras águas.	66

Gráfico 29 - Comparação dos valores de NT encontrados no primeiro (FF1) e último ponto (FF5) do sistema de descarte.....	67
Gráfico 30 - Comparação dos valores de NT encontrados no terceiro (FF3), quarto (FF4) e quinto (FF5) ponto do sistema de descarte de primeiras águas.....	67
Gráfico 31 - Comparação dos valores de DIC encontrados no primeiro (FF1) e último ponto (FF5) do sistema de descarte.....	68
Gráfico 32 - Comparação dos valores de NT encontrados no terceiro (FF3), quarto (FF4) e quinto (FF5) ponto do sistema de descarte de primeiras águas.....	68
Gráfico 33 – Demonstração da relação entre condutividade elétrica média e o intervalo de estiagem entre eventos pluviométricos.	69
Gráfico 34 – Relação Linear da CE do FF x intervalo de estiagem entre chuvas.	70
Gráfico 35 – Relação Linear da CE do FF1 x intervalo de estiagem entre chuvas. ..	70
Gráfico 36 – Relação Linear da CE do FF2 x intervalo de estiagem entre chuvas. ..	70
Gráfico 37 – Relação Linear da CE do FF3 x intervalo de estiagem entre chuvas. ..	70
Gráfico 38 – Relação Linear da CE do FF4 x intervalo de estiagem entre chuvas. ..	70
Gráfico 39 – Relação Linear da CE do FF5 x intervalo de estiagem entre chuvas. ..	70
Gráfico 40 – Demonstração da relação entre condutividade elétrica média obtida no FF e o intervalo de intensidade pluviométrica.	71
Gráfico 41 – Relação Potencial da CE do FF x intensidade pluviométrica.....	72
Gráfico 42 – Relação Potencial da CE do FF1 x intensidade pluviométrica.....	72
Gráfico 43 – Relação Potencial da CE do FF2 x intensidade pluviométrica.....	72
Gráfico 44 – Relação Potencial da CE do FF3 x intensidade pluviométrica.....	72
Gráfico 45 – Relação Potencial da CE do FF4 x intensidade pluviométrica.....	72
Gráfico 46 – Relação Potencial da CE do FF5 x intensidade pluviométrica.....	72

Gráfico 47 – Valores de pH da água armazenada na cisterna, da água de chuva e da água descartada no sistema de FF. 73

Gráfico 48 – Valores de CE da água armazenada nas cisternas, da água de chuva e da água descartada no sistema de FF..... 73

Gráfico 49 – Valores de NT da água armazenada nas cisternas, da água de chuva e da água descartada no sistema de FF..... 74

Gráfico 50 – Valores de DIC da água armazenada nas cisternas, da água de chuva e da água descartada no sistema de FF..... 74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Descrição dos Pontos de Amostragem	43
Tabela 2 – Dados Pluviométricos.....	49
Tabela 3 – Médias dos pontos do FF e da Cisterna.....	50
Tabela 4 – Valores obtidos de análise da água da chuva coletada pelo coletor “wet-only”	51
Tabela 5 – Médias de FF1 a FF5 para cada evento de chuva coletada.....	51
Tabela 6 – Valores obtidos de análise da água na cisterna	52
Tabela 7 – Coeficiente de variação dos parâmetros de pH, CE e NT para cada etapa de descarte.....	76

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AP1MC	Associação Programa 1 Milhão de Cisternas
CE	Condutividade Elétrica
CENA	Centro de Energia Nuclear na Agricultura
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CH0	Ponto amostral da Água de Chuva
CID	Carbono Inorgânico Dissolvido
CIS6	Ponto Amostral da Água Captada e Armazenada na Cisterna
COD	Carbono Orgânico Dissolvido
COMITE PCJ	Comitês das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí
ESALQ	Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”
FAO	Food and Agriculture Organization
FF	Sistema de Descarte de Primeiras Águas ou “First-Flush”
FF1	Primeiro Ponto Amostral do “First-Flush”
FF2	Segundo Ponto Amostral do “First-Flush”
FF3	Terceiro Ponto Amostral do “First-Flush”
FF4	Quarto Ponto Amostral do “First-Flush”
FF5	Quinto Ponto Amostral do “First-Flush”
IWMI	International Water Management Institute
LEI	Laboratório de Ecologia Isotópica
MAS	Método de Análise da Simulação
MDS	Ministério do Desenvolvimento Social e do Combate à Fome
MMA	Método do Máximo Aproveitamento
MS	Ministério da Saúde
NBR	Norma Brasileira
NT	Nitrogênio Total
OD	Oxigênio Dissolvido
ONU	Organização das Nações Unidas
pH	Potencial Hidrogeniônico
USP	Universidade de São Paulo
UV	Ultra Violeta

LISTA DE SIMBOLOS

°C	Graus Centígrados
$\mu\text{S.cm}^{-1}$	Micro-Siemens por Centímetro
μm	Micrômetro
a.C	Antes de Cristo
CO ₂	Gás Carbônico
habitante.ano ⁻¹	Habitante por ano
L	Litro
m ²	Metro Quadrado
m ³	Metro Cúbico
m ³ .dia ⁻¹	Metro Cúbico por Dia
m ³ .hab ⁻¹ .ano ⁻¹	Metro Cúbico por Habitante ano
mg.L ⁻¹	Miligramma por Litro
mL	Mililitro
mm	Milímetro
mm.h ⁻¹	Milímetro por Hora
mm.m ⁻²	Milímetro por Metro Quadrado
ppmv	Partes por Milhão por Volume
R ²	Coeficiente de Determinação
v/v	Porcentagem Volúmica

1 INTRODUÇÃO

A água é fonte essencial à vida, considerando não apenas o fato de que é fundamental à sobrevivência das espécies, mas também ao atendimento às necessidades de água potável de uma demanda populacional. Além disso é primordial para o progresso da civilização, pois é indispensável para o desenvolvimento econômico e industrial (OLIVEIRA, 2008).

O nosso planeta é constituído aproximadamente de 71% de água, destes apenas 3% aproximadamente se apresentam na forma de água doce. De toda a água doce no mundo aproximadamente 0,3% estão na forma de rios e lagos e 30,1% em reservatórios subterrâneos (SHIKLOMANOV, 2003).

Atualmente está cada vez mais difícil obter água de qualidade e em quantidade suficiente para abastecer as necessidades de nossa sociedade moderna, uma vez que grande parte da água doce disponível no planeta estão em locais de baixa densidade demográfica ou apresentam alto custo de extração.

Os sistemas de abastecimento público estão voltados para a água doce presente em rios e lagos e uma parte voltada para os reservatórios subterrâneos. Essas fontes de abastecimentos apresentam problemas e dificuldades para atender a demanda crescente de nossa sociedade. Com isso, fontes alternativas de água tornaram-se essenciais para contribuir com o abastecimento público.

Nos últimos anos, o aproveitamento de água pluvial vem sendo utilizado em todo o mundo como fonte alternativa de abastecimento doméstico, industrial e agrícola.

O aproveitamento de água pluvial remonta há milhares de anos, sendo muitas vezes a principal fonte de abastecimento em diversas partes do mundo. Com os avanços tecnológicos do século XX, o aproveitamento de água pluvial caiu em desuso frente aos avanços no desenvolvimento de sistemas de abastecimento público por todo o mundo. No entanto, nas últimas décadas, com a necessidade de fontes alternativas para o abastecimento de água, a sociedade reencontrou na captação de água pluvial uma alternativa viável e de baixo custo para suprir a demanda crescente.

Uma das vantagens do uso da água pluvial é a possibilidade de suprir a demanda de forma mais sustentável, destinando a água potável a fins mais nobres e a água pluvial a usos que exigem um tratamento menos complexo. Outra vantagem da captação de água pluvial é a de contribuir para a retenção do escoamento superficial nos grandes centros urbanos, que enfrentam grandes problemas com inundações de

rios e cursos de água em eventos de pluviosidade intensa, devido à impermeabilização do solo.

Mesmo sendo utilizada para usos não potáveis, para que o aproveitamento de água pluvial seja consolidado como uma alternativa de abastecimento público, estudos sobre a qualidade desta água precisam ser aprofundados e melhor difundidos, para com isso promover um uso mais adequado aos usuários.

Poucos avanços foram feitos desde que os primeiros sistemas de captação pluvial começaram a ser utilizados há milhares de anos atrás. Atualmente muitos estudos objetivam melhorar o sistema em vários aspectos: coleta, armazenamento, tratamento, desinfecção, retenção da água e dimensionamento eficiente para cisternas e reservatórios de descarte das primeiras águas. Ainda, busca-se atender as legislações rigorosas de qualidade de água levando em consideração a praticidade, o custo-benefício e a segurança da saúde dos usuários, assim como contribuir para a sustentabilidade e para o aproveitamento eficiente dos recursos naturais.

Devido aos fatos apresentados, cada vez mais se destaca a necessidade de novos estudos sobre o tema. Hernandez (2007) sugere em seu estudo, o desenvolvimento de novas pesquisas sobre avaliação quantitativa e qualitativa de sistemas de aproveitamento de água pluvial, para a formação de um banco de referências específico para as condições nacionais.

Desta forma, procurando acrescentar cientificamente e analisar novas possibilidades para sistemas de aproveitamento de água pluvial, contribuindo assim para novas alternativas que visem à disponibilidade de água de qualidade para a população e para a diminuição das pressões ambientais, este projeto objetivou analisar e caracterizar a qualidade da água pluvial em um sistema de captação, armazenamento e utilização em diferentes condições de eventos pluviais.

O objetivo principal deste trabalho foi avaliar a interferência das condições pluviométricas na qualidade da água pluvial captada no Laboratório de Ecologia Isotópica - LEI do Centro de Energia Nuclear na Agricultura - CENA, Universidade de São Paulo - USP, em diferentes pontos do sistema: 1) captação (chuva); 2) “first-flush” e; 3) armazenamento.

Para que os objetivos deste trabalho fossem alcançados verificou-se a influência do “first-flush” em diferentes medidas de descarte na qualidade da água captada, assim como a relação desta qualidade com os intervalos de estiagem entre eventos pluviométricos e suas características de intensidade pluviométricas.

1.1 Hipótese de trabalho

Este projeto parte da seguinte hipótese inicial: “os padrões de qualidade da água captada e armazenada em sistemas de captação pluvial são diretamente influenciadas pelas condições pluviométricas, a quantidade de primeiras águas descartadas e pela sazonalidade do regime de chuvas”.

As condições climáticas podem influenciar diretamente na qualidade da água pluvial e indiretamente na quantidade de impurezas presentes nas superfícies de captação. Além disso, é esperado que os diferentes regimes de chuvas, nas diferentes estações do ano, possam influenciar a qualidade da água tanto em relação ao tempo de exposição das superfícies de captação à poluição atmosférica, sem que haja uma “diluição” natural devido às chuvas.

Para testar a hipótese proposta pelo projeto, os esforços foram concentrados para responder as seguintes questões:

1. Qual a qualidade da água da chuva em comparação aos padrões pluviométricos apresentados ao longo do projeto?
2. Há diferenças na qualidade da água captada em relação às diferentes sazonalidades do regime pluviométrico?
3. A quantidade de água descartada deve variar de acordo com a sazonalidade do regime pluviométrico ou deve ser constante?

Visando responder as essas perguntas serão analisadas amostras de água da chuva, dos reservatórios de descarte das primeiras águas, dos reservatórios de armazenamento, e por fim na água da chuva antes de atingir o solo.

Os dados obtidos por essas análises serão confrontados com dados de intervalo de estiagem entre eventos e intensidade pluviométrica.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Revisão Bibliográfica

Devido à intensificação das atividades industriais e agrícolas, aliada ao grande crescimento urbano e ao aumento exponencial da população no último século, a pressão sobre os recursos hídricos se intensificou drasticamente. Segundo FAO (2007) em 2025 aproximadamente 65% da população mundial estará vivendo em condições de stress hídrico (Figura 1).

Figura 1 – Projeção da escassez de água para 2025

Fonte: Adaptado de IWMI, 2000

Diante deste cenário, o desenvolvimento de pesquisas e novas tecnologias que proporcionem alternativas menos impactantes aos recursos naturais, são um desafio para o século atual. Algumas destas alternativas já começam a se apresentar economicamente e operacionalmente viáveis.

Segundo o Relatório Mundial sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS - ONU, 2003) a disponibilidade mínima de água exigida por habitante.ano⁻¹ é de 2.500 m³, sendo considerado crítico um valor abaixo de 1.500 m³.

No entanto, a região de Piracicaba conta com uma disponibilidade hídrica per capita de apenas $400 \text{ m}^3 \cdot \text{hab}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$, revelando a necessidade de viabilizar reservas alternativas de água (COMITE PCJ, 2009).

2.1.1 Captação de água

A captação de água tem se mostrado como uma importante alternativa para o abastecimento doméstico, industrial, comercial e institucional, assim como fonte alternativa para agricultura, controle de enchentes, reservatórios, reabastecimento de reservatórios subterrâneos e como uma fonte de emergência para combate a incêndios (GOULD; NISSEN-PETERSON, 1999; KONIG, 2001; DATAR, 2006).

A captação de água é definida em seu sentido mais amplo como “captação do escoamento superficial para o uso produtivo”. O escoamento superficial pode ser coletado a partir de telhados e superfícies terrestres, bem como de cursos de água intermitentes ou efêmeros. A captação de água escoada em telhados e superfícies terrestres está abrangido pelo termo “captação de água pluvial” (FAO, 1991).

O aproveitamento de água pluvial consiste principalmente da coleta, armazenamento e posterior utilização tanto como fonte primária ou como uma fonte secundária de abastecimento.

2.1.2 Breve histórico da captação de água pluvial

Há evidências da utilização de água pluvial em várias partes do mundo antigo, no entanto a sua origem exata é desconhecida. Os exemplos mais antigos datam de milhares de anos atrás e estão associados com as primeiras civilizações do Oriente Médio e Ásia (GOULD; NISSEN-PETERSON, 1999).

Na Índia, foram encontrados evidências de estruturas de pedras que um dia serviram para represar a água de chuva escoada que datam de 3000 a.C. (AGARWAL; NARAIN, 1997). No deserto de Negev em Israel, o escoamento das encostas eram retidos e armazenados em cisternas para uso posterior na agricultura e necessidades domésticas, desde antes de 2000 a.C. (EVENARI, 1961).

Há evidências na região do Mediterrâneo de um sofisticado sistema de captação e armazenamento de água pluvial no Palácio de Knossos, onde acredita-se que era utilizado antes mesmo de 1700 a.C. (HASSE, 1989). Na Sardenha, por volta de 600

a.C., muitos assentamentos utilizavam a água escoada pelos telhados como sua principal fonte de abastecimento (CRASTA et al., 1982). Muitas vilas e cidades romanas são conhecidas por ter utilizado a água captada de chuva como fonte principal de abastecimento, tanto para água potável quanto para usos domésticos (KOVACS, 1979).

Durante o século XX a captação de água pluvial entrou em declínio por todo o mundo, principalmente devido aos projetos de grandes barragens, desenvolvimento de técnicas para extração de água subterrânea e aos gigantescos sistemas de tubulações para distribuição de água pública (GOULD; NISSEN-PETERSON, 1999). No entanto, nas últimas décadas aumentou-se o interesse pelo aproveitamento de água pluvial devido às diversas pressões sobre a disponibilidade hídricas, com uma estimativa de 100.000.000 de pessoas ao redor do mundo aproveitando a água pluvial de alguma forma (HEGGEN, 2000).

Atualmente no Brasil o Ministério do Desenvolvimento Social e Combate à Fome – MDS tem firmado, desde 2002, um termo de parceria com a Associação Programa 1 Milhão de Cisternas – AP1MC para a construção de 1 milhão de cisternas no semiárido do nordeste do país, destas 556.171 já foram construídas, totalizando um investimento de aproximadamente 900 milhões de reais (MDS, 2014).

Com os avanços da tecnologia e da ciência muito ainda tem-se a contribuir para reinventar e adaptar o aproveitamento de água pluvial para as condições atuais, para que desta forma esta técnica possa vir a ser empregada com eficiência tanto como principal fonte de abastecimento ou como uma alternativa secundária.

2.1.3 Local de estudo

Antes de atingir o solo, no município de Piracicaba, SP, a qualidade da água pluvial pode estar relacionada com material oriundo da queima de vegetação (palha da cana-de-açúcar – Figura 2) ou poluição atmosférica de origem industrial. Lara et al. (2001) afirmaram que naquela época a fonte oriunda da vegetação era a principal fonte de poluição atmosférica na cidade, que além de muitas vezes exceder os padrões estabelecidos como seguros pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), era a responsável pela formação de chuva ácida na região. Ainda de acordo com os autores, a fonte do material particulado fino na região de Piracicaba apresentou as seguintes origens e proporções: 80,4% de queima de biomassa e

ressuspensão do solo, seguida das emissões industriais, que apresentaram um percentual de 10,9 e 8,7% tiveram origem na queima de óleo combustível.

Figura 2 – Piracicaba em época de queimadas de cana-de-açúcar
Fonte: VEIGA FILHO, 2006

Segundo Arbex et al. (2004), o material particulado decorrente da queima de biomassa é o poluente que apresenta maior toxicidade, ele é constituído em sua grande parte (94%) por partículas finas e ultrafinas, ou seja, partículas que atingem porções mais profundas do sistema respiratório e são responsáveis pelo desencadeamento do processo inflamatório.

No entanto, Jaques (2005), afirmou que em grande parte do mundo, principalmente em áreas rurais e em pequenas cidades, os níveis de poluição e contaminação da atmosfera são baixos e não atingem concentrações capazes de alterar significativamente a qualidade da água das chuvas, que é a água natural disponível de melhor qualidade, salvo raras exceções.

2.1.4 Qualidade da água de sistemas de captação pluvial

De acordo com Tomaz (2009), a qualidade da água pluvial deve ser avaliada sob quatro etapas. A primeira, antes de atingir o solo; a segunda, após escorrer pelo telhado ou qualquer outra superfície de captação; a terceira, no interior do reservatório, onde pode ter sua qualidade alterada pelo tempo de armazenamento e

por contaminantes que possam ser depositados ou dissolvidos; e a quarta, em um ponto de uso como, por exemplo, no interior da caixa acoplada a uma bacia sanitária.

A contaminação por meio da superfície de captação foi comprovada através de estudos desenvolvidos por May (2004), Murakami (2007) e Pinheiro et al. (2005). Nesses estudos foi observado que a água pluvial após passagem por superfícies coletoras (por exemplo: telhado), conduz uma quantidade considerável de sólidos como folhas e matéria orgânica e, sofre uma contaminação microbiológica, estando distante de atender os padrões estabelecidos pela Portaria MS Nº 2914 DE 12/12/2011 do Ministério de Estado da Saúde, resultando na necessidade de se descartar os primeiros milímetros da chuva.

O descarte do que é chamado de “primeira precipitação”, “água de lavagem do telhado” ou “first-flush” - FF, para a eliminação da maior carga de contaminantes, trata-se de um sistema que deve conter um “reservatório de autolimpeza” com dreno de fundo, com a função de descartar essa água contaminada em um período de tempo pré-estabelecido, evitando que a mesma seja conduzida para a cisterna de armazenamento. Outra função do FF é impedir que a água resultante de precipitações inferiores a um valor limite seja transportada para a cisterna (MIERZWA et al., 2007).

Devido à importância do descarte das primeiras águas e as várias possibilidades de aplicação, concomitantemente com poucas referências para as realidades nacionais, Moruzzi e Murakami (2009) recomendaram a viabilização de novos projetos para estudar diferentes estratégias de descarte da chuva inicial, tanto em relação ao volume desprezado quanto em relação à duração, em função da intensidade da precipitação.

Tomaz (2009) destacou que mesmo com o descarte do FF, a água conduzida a cisterna poderá conter materiais como poeiras e outros particulados, presentes no ar e na superfície de captação que se depositarão no fundo do reservatório, onde geralmente se forma uma pequena camada de resíduos. De acordo com o autor, os microrganismos oriundos do telhado, das calhas e dos condutores, se desenvolverão no reservatório, colocando em risco os usuários, dependendo dos usos que serão dados a esta água.

2.1.5 Sistemas de desinfecção e filtração

Para impedir essa proliferação de microrganismos no interior da cisterna Murakami (2007), enfatizou que um dos cuidados de armazenamento que se deve adotar, é a desinfecção da água armazenada com uma dosagem ideal de cloro.

Moruzzi e Murakami (2009) concluíram que a manutenção da concentração de cloro livre nas amostras de acordo com a norma NBR 15527/2007 da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, foi responsável pelo decaimento significativo das concentrações de bactérias heterotróficas.

Outras formas de controle de microrganismos foram testadas. Segundo Bastos (2007) sistemas de desinfecção baseados em radiação Ultra Violeta - UV, apresentaram boa eficiência na inativação de coliformes totais e *Escherichia coli* em sistemas de filtração lenta.

Outros cuidados também foram recomendados por TOMAZ (2009) para evitar eventuais problemas relacionados com a qualidade desta água, tais como: evitar a entrada da luz do sol no reservatório, minimizando assim a proliferação de microalgas, a tampa de inspeção deverá estar sempre fechada e, a saída do extravasor deverá conter grades para impedir a entrada de pequenos animais.

Segundo Garcez e Alvarez (1988), o reservatório para armazenar a água de chuva pode conter um filtro lento de areia, onde a água de chuva entra pela parte superior do filtro, que é composto de camadas de areia e pedregulho, percola por todo o filtro e é direcionada para um poço de sucção que bombeia a água filtrada para um segundo reservatório que fará a alimentação do sistema de distribuição. O filtro apresenta também um dispositivo de retrolavagem do sistema.

Moruzzi e Nakada (2009) sugeriram, em experimento de escala laboratorial, que a dosagem de amido de milho de 6 mg.L^{-1} adicionadas a água de chuva armazenada sem o descarte de primeiras águas, foi responsável pela remoção maior que 86% de turbidez, maior que 88% de cor aparente e ausência de Coliformes Totais e Coliformes Termotolerantes residuais, de modo que todos os parâmetros atenderam às recomendações da NBR 15527/2007.

2.1.6 Normas para sistemas de captação

No Brasil, através da norma NBR 15527/2007, a ABNT aborda o aproveitamento de água pluvial nas edificações de áreas urbanas, e faz exigências quanto a sua

qualidade sanitária para uso não potável, como uso em descargas sanitárias, rega de jardins, lavagens de automóveis e limpezas em geral. Esta norma recomenda que ao menos uma vez por ano deverá ser feita uma limpeza no reservatório.

Para sistemas de desinfecção baseados na aplicação de derivados de cloro para controle de microorganismos, a norma NBR 15527/2007 da ABNT determina que a desinfecção da água nos sistemas de aproveitamento de água pluvial deve ser definida a critério do projetista e cita que, a concentração de cloro residual nos reservatórios de armazenamento deve ser monitorada mensalmente e estar entre 0,5 e 3,0 mg.L⁻¹.

Ainda segundo a norma é definido que o projeto de sistemas de captação de água pluvial deve conter uma caixa de inspeção, a população que utilizará a água de chuva e a demanda estimada. A norma prevê também que deverá ser instalado um dispositivo para remoção de detritos, as tubulações de água de chuva não devem ter ligação cruzada com a água de abastecimento público e sugere o descarte dos primeiros 2 mm da precipitação inicial.

O volume não aproveitável da água de chuva pode ser lançado na rede de galerias de águas pluviais, na via pública, ou ser infiltrado total ou parcialmente desde que não haja contaminação do lençol freático, a critério da autoridade local competente.

2.2 Material e Métodos

2.2.1 Área de estudo

O desenvolvimento do trabalho ocorreu no município de Piracicaba – SP, nas dependências do CENA localizado na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - ESALQ, ambos pertencentes a USP. A fim de alcançar resultados satisfatórios para o objetivo proposto, o projeto foi realizado em escala real em um sistema implantado na edificação do LEI – CENA/USP (Figura 3).

Figura 3 – Sistema em escala real instalado nas dependências do LEI

A área de coleta foi representada por uma cobertura predial de um barracão pertencente ao laboratório, localizado ao lado deste, com uma cobertura de alumínio. A edificação foi construída há 10 anos.

2.2.2 Dados do sistema de captação

O sistema foi implantado utilizando como superfície de captação a cobertura do barracão, pertencente ao LEI, que possui uma área de 152,25 m². Foi considerado um coeficiente de “runoff”, para a cobertura que é constituída de alumínio, de 0,90.

A água captada foi conduzida para o sistema de FF que é constituído de 5 recipientes de 100 L de maneira a possibilitar analisar de forma gradual a quantidade de água descartada, totalizando 500 L ou 0,5 m³ - de água descartada, referente a aproximadamente 3,3 mm de primeiras águas da precipitação.

A água captada foi armazenada em duas cisternas de 5 m³ cada, totalizando 10 m³ de armazenamento.

O consumo estimado de água destinada a abastecer a demanda de vasos sanitários do laboratório é de 0,55 m³.dia⁻¹.

Para estimar o dimensionamento do sistema, considerando o custo de implantação, foi utilizado o **Método de Análise de Simulação** (Gráfico 1) e o **Método do Máximo Aproveitamento** (Gráfico 2).

O **Método de Análise de Simulação** – MAS (Equações 1 e 2) consiste em escolher arbitrariamente diferentes volumes de reservatórios e analisar a variação do volume de água ao longo do ano para cada reservatório. Esta análise pode ser feita através de valores em uma tabela ou graficamente. Através deste método é possível observar quantos dias o reservatório terá de déficit de água, quando a oferta de água no reservatório é menor que a demanda pré-estabelecida, assim como se haverá “overflow”, quando a oferta de água é maior que o volume do reservatório.

A equação para averiguar a variação do volume de água no reservatório foi a seguinte:

$$V_{res} = V_{r_t} \quad (1)$$

$$V_{r_t} = V_{r_{t-1}} + \{(P_t \times A \times R) - D_t - F\} \mid 0 \leq V_{r_t} \leq V_{res} \quad (2)$$

Onde:

Vr_t = Volume do reservatório no tempo t | $1 \leq t \leq 365$ (m^3)

Vr_{t-1} = Volume do reservatório no tempo $t - 1$ (m^3)

P_t = Precipitação no tempo t (mm)

A = Área da superfície de captação (m^2)

R = Coeficiente de runoff | $0 \leq R \leq 1$

D_t = Demanda no tempo t (m^3)

F = Descarte de primeiras águas | $0 < F < V_{res}$ (m^3)

V_{res} = Volume escolhido para o reservatório | $0 < V_{res}$ (m^3)

Vr = Volume total do reservatório (m^3)

A equação foi aplicada para cada dia do ano considerando dados de pluviosidade diária, obtendo-se desta forma a variação de volume de água ao longo do ano para o reservatório em estudo.

O Método do Máximo Aproveitamento - MMA (Equações 3, 4 e 5) visa analisar diferentes tamanhos de reservatório em relação ao *volume aproveitável* de água ao longo do ano. O *volume aproveitável* é quanto um reservatório pode fornecer de água ao longo do ano considerando a variação de seu volume. O *volume aproveitável* é a representação da demanda real que um determinado reservatório pode fornecer de água, em condição ideal o *volume aproveitável* seria igual a demanda, exemplo:

- Considere uma demanda de água de $1 \text{ m}^3.\text{dia}^{-1}$
- Em condições ideais em um ano o *volume aproveitável* seria de 365 m^3
- Considere agora um reservatório que em 120 dias esteve completamente vazio e nos demais dias do ano esteve com um volume igual ou maior que a demanda de $1 \text{ m}^3.\text{dia}^{-1}$
- Nestas condições em um ano o *volume aproveitável* de água seria de:

$$(365 \text{ dia} - 120 \text{ dia}) \times 1 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}} = 245 \text{ m}^3$$

O MMA é como uma extensão analítica do MAS, aplica-se a mesma equação do MAS e em seguida calcula-se o *volume aproveitável* para o reservatório analisado.

A equação para determinar o *volume aproveitável* foi a seguinte:

$$V_{ap} = V_a + V_b \quad (3)$$

Sendo:

$$V_a = \sum V_{r_t} \in A \mid A = \{V_{r_x} \mid V_{r_x} \text{ é um número real tal que } 0 < V_{r_x} < D_t\} \quad (4)$$

$$V_b = n(B) \times D_t \mid B = \{V_{r_y} \mid V_{r_y} \text{ é um número real tal que } D_t \leq V_{r_y}\} \quad (5)$$

Onde:

V_{ap} = Volume aproveitável (m^3)

V_a = Volume aproveitável quando menor que a demanda (m^3)

V_b = Volume aproveitável quando maior ou igual a demanda (m^3)

V_{r_x} = Volumes do reservatório no tempo $t \mid V_{r_t} < D_t$ (m^3)

V_{r_y} = Volumes do reservatório no tempo $t \mid V_{r_t} \geq D_t$ (m^3)

A = Conjunto A

B = Conjunto B

$n(B)$ = número de elementos no conjunto B

Considerando a pluviosidade do ano de 2010, o reservatório de 10 m^3 apresentou para tais condições, uma oferta real de água de $0,32 \text{ m}^3.\text{dia}^{-1}$ dos $0,55 \text{ m}^3.\text{dia}^{-1}$ pretendidos, totalizando 146 dias de déficit de água e um volume aproveitável acumulado de $116,21 \text{ m}^3$.

Método da Análise da Simulação

Método do Máximo Aproveitamento

2.2.3 Pontos de coleta

Os principais componentes de um sistema de captação, armazenamento e utilização de água pluvial podem ser descritos como: 1) calha para conduzir a água até a cisterna; 2) reservatório para separação das primeiras águas contendo impurezas residuais; 3) reservatório ou cisterna destinada a armazenar a água captada; 4) drenos de limpeza para extravasar a água dos reservatórios quando necessário; 5) sistema de desinfecção para evitar a contaminação da água armazenada e; 6) sifão-ladrão para escoar o excesso de água depois que o reservatório estiver totalmente cheio.

Estas etapas podem ser observadas na Figura 4.

Figura 4 – Esquema de um sistema de captação de água pluvial

Assim, inicialmente as amostras para análise da água foram coletadas em 7 pontos diferentes do sistema.

Os pontos amostrais foram divididos de acordo com as etapas do sistema de captação, dentre eles um ponto para coleta da precipitação direta como demonstrado na Tabela 1:

Tabela 1 - Descrição dos Pontos de Amostragem

Pontos	Legenda da Amostra	Etapa do Sistema	Descrição
P1	CH0	Precipitação	Análise da precipitação direta
Grupo P2	FF1	1º Recipiente	Análise dos primeiros 100 L de precipitação
Grupo P2	FF2	2º Recipiente	Análise da segunda parte de 100L da precipitação
Grupo P2	FF3	3º Recipiente	Análise da terceira parte de 100L da precipitação
Grupo P2	FF4	4º Recipiente	Análise da quarta parte de 100L da precipitação
Grupo P2	FF5	5º Recipiente	Análise da quinta parte de 100L da precipitação
P3	CIS6	Cisternas	Análise da água armazenada nas cisternas

No primeiro ponto (P1) as amostras foram coletadas antes da água de chuva passar por qualquer superfície (amostra CH0), o que possibilita conhecer a qualidade da água pluvial sem qualquer tipo de contaminação proveniente do sistema. A coleta foi realizada diariamente por meio de um coletor do tipo “wet-only” (Figura 5), sendo que este coletor, trabalha de modo automático, pois possui controles eletrônicos e mecanismos que detectam a presença de precipitação através de um sensor.

As amostras foram retiradas individualmente em dias que houve chuva sempre as 9:00 hs.

Figura 5 – Sistema “wet-only” de coleta de água de chuva.

Figura 6 – Desenho esquemático do sistema de captação pluvial instalado para o experimento

Com o intuito de conhecer o volume ideal de FF, os primeiros três milímetros de chuva foram coletados em 5 recipientes de 100 litros (FF1, FF2, FF3, FF4 e FF5) instalados de maneira sequencial (Figura 6). Foi coletada uma amostra por recipiente através de duas torneiras instaladas em cada recipiente, uma na parte central e outra na parte inferior do recipiente, buscando desta forma homogeneizar as amostras obtidas (Grupo P2).

Este tipo de amostragem possibilita conhecer a quantidade de contaminantes que são alocados nestes recipientes antes que a água seja enviada para armazenamento.

Por fim a água armazenada na cisterna (CIS6) também foi analisada para representar a qualidade final da água captada pelo sistema, sendo este o último ponto de coleta (P3).

2.2.4 Variáveis de qualidade da água analisadas

As análises dos parâmetros físico-químicos foram desenvolvidas no Laboratório de Ecologia Isotópica. Dentre as atividades usuais do laboratório, pode-se destacar a sua atuação em análises físico-químicas de qualidade da água, com isto, a implantação do sistema de captação, armazenamento e utilização da água pluvial no prédio, facilitou o desenvolvimento deste projeto e possibilitará futuramente a execução de possíveis projetos e publicações relacionados ao tema.

Para a caracterização da água pluvial deste sistema foram realizadas as análises dos parâmetros descritos neste item.

- **pH**
- **OD**
- **Nitrogênio Total (NT)**
- **Condutividade Elétrica (CE)**
- **Carbono Inorgânico Dissolvido (CID)**
- **Carbono Orgânico Dissolvido (COD)**

O pH de cada amostra foi medido utilizando-se um equipamento Orion modelo EA 940, com eletrodo de vidro, usando solução específica para medidas de pH de baixa força iônica, como é o caso da água de chuva. A calibração foi feita utilizando-se três padrões de pH 4,0 – 7,0 e 10,0.

A condutividade elétrica foi medida com um condutivímetro digital Amber Science Inc. modelo 2052. A calibração foi feita utilizando-se padrão de $20 \mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$. O oxigênio dissolvido foi medido utilizando-se um equipamento YSI modelo 5905.

2.2.4.1 Carbono Inorgânico Dissolvido (CID)

Foram filtradas três réplicas de aproximadamente 60 mL de amostra em membranas de acetato de celulose ($0,45 \mu\text{m}$) que foram preservadas em Thymol. O CID foi analisado em equipamento Shimadzu TOC 5000A por detecção em infravermelho.

2.2.4.2 Carbono Orgânico Dissolvido (COD)

Foram filtradas três réplicas, de aproximadamente 30 mL, em membranas de fibra de vidro pré-calcinadas a 500°C por 5 horas. As amostras foram analisadas em instrumento Shimadzu TOC 5000A por detecção em infravermelho, que permite quantificar o CO_2 gerado na queima do carbono orgânico após conversão, por acidificação, do carbono inorgânico.

2.2.4.3 Nitrogênio Total (NT)

Foram filtradas três réplicas de aproximadamente 60 mL de amostra em membranas de acetato de celulose ($0,45 \mu\text{m}$) que foram preservadas em 1% v/v de ácido sulfúrico (95%-97%). O NT foi analisado em equipamento Shimadzu TOC 5000A por detecção em infravermelho.

2.2.5 Descrição dos parâmetros analisados

Para analisar os eventos pluviométricos foi levado em consideração principalmente parâmetros de tempo de estiagem entre chuvas, intensidade pluviométrica, CE, pH e NT.

Através do pH, obtido das análises de chuva, foi possível averiguar a acidez da água pluvial (Gráfico 2).

Através da CE e do NT, obtidos das análises da água captada, foi possível averiguar a qualidade desta água. Segundo Alaburda (1998), dentre as substâncias que podem constituir risco para a saúde humana, incluem-se os compostos de nitrogênio nos seus diferentes estados de oxidação.

O FF foi avaliado a cada 0,66 mm.m⁻² de água descartada de um total de 3,3 mm.m⁻² aproximadamente. Assim como para as chuvas os dados obtidos no FF e cisterna foram confrontados quanto à CE, tempo de estiagem entre chuvas e intensidade pluviométrica.

2.2.6 Comparação dos resultados

Os resultados obtidos foram comparados entre os diferentes pontos de coleta e estudado a relação destes com as características pluviométricas.

2.3 Resultados

2.3.1 Tabela de eventos, pH, CE, CID, COD e NT

Os dados obtidos foram organizados em diferentes quadros, onde buscou-se comparar a eficiência do sistema de FF em comparação à água da chuva, a água armazenada na cisterna e com as características pluviométricas como intervalo de estiagem e intensidade.

Na Tabela 2 os dados pluviométricos foram organizados por evento pluviométrico, procurando, desta forma, caracterizar cada evento de chuva em relação a pluviosidade, tempo de estiagem, intensidade pluviométrica e duração.

Na Tabela 3 foi realizada a média das diferentes etapas do sistema de diferentes eventos para avaliar a eficiência do FF na qualidade da água final armazenada na cisterna.

Tabela 2 – Dados Pluviométricos

Data	Intervalo de Estiagem (dias)	Chuva (mm)	Duração (horas)	Intensidade média (mm.h ⁻¹)
17/03/2013	3	1,5	2,75	0,55
21/03/2013	6	13,5	11,50	1,17
26/03/2013	4	7,0	3,00	2,33
02/04/2013	6	72,8	7,50	9,71
04/04/2013	1	53,3	8,00	6,66
12/04/2013	6	35,1	10,50	3,34
22/05/2013	40	5,1	6,25	0,82
27/05/2013	5	60,0	19,50	3,08
30/05/2013	3	12,9	10,25	1,26
03/06/2013	4	25,5	6,25	4,08
12/06/2013	9	7,5	5,25	1,43
16/06/2013	4	26,2	3,25	8,06
23/06/2013	7	15,2	6,00	2,53
26/06/2013	3	33,8	13,00	2,60
01/07/2013	5	23,6	7,25	3,26

Tabela 3 – Médias dos pontos do FF e da Cisterna

Pontos do Sistema	MÉDIA				
	pH	Condutividade ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	NT (mg.L^{-1})	DIC (mg.L^{-1})	DOC (mg.L^{-1})
CH0	5,6 $\pm$ 0,55	6 $\pm$ 2,57	0,36 $\pm$ 0,26	1,6 $\pm$ 0,43	2,8 $\pm$ 2,65
FF1	6,4 $\pm$ 0,25	49 $\pm$ 29,20	1,23 $\pm$ 1,02	7,8 $\pm$ 1,81	4,6 $\pm$ 3,18
FF2	6,4 $\pm$ 0,22	34 $\pm$ 12,65	0,79 $\pm$ 0,38	6,8 $\pm$ 1,99	3,9 $\pm$ 3,28
FF3	6,3 $\pm$ 0,21	30 $\pm$ 10,70	0,61 $\pm$ 0,33	6,4 $\pm$ 2,00	3,8 $\pm$ 4,08
FF4	6,2 $\pm$ 0,25	28 $\pm$ 10,42	0,62 $\pm$ 0,37	6,3 $\pm$ 2,04	5,1 $\pm$ 4,50
FF5	6,2 $\pm$ 0,24	25 $\pm$ 8,04	0,50 $\pm$ 0,19	5,8 $\pm$ 1,81	3,3 $\pm$ 2,69
CIS6	6,1 $\pm$ 0,36	15 $\pm$ 2,60	0,33 $\pm$ 0,12	4,3 $\pm$ 1,58	2,7 $\pm$ 3,05

Na tabela acima (Tabela 3) foi possível observar um coeficiente de variação alto para cada parâmetro, devido a variação elevada entre cada evento de chuva. A variação deve-se principalmente as características pluviométricas, como intervalo de estiagem, milímetros de chuva, duração e intensidade. Nesta Tabela também foi possível observar a influência do FF para cada $0,66 \text{ mm.m}^{-2}$ (FF1 – FF2 - ... – FF5) de água descartada.

Foi possível observar que a cada $0,66 \text{ mm.m}^{-2}$ de água descartada os valores de CE, pH e NT tenderam a diminuir seus valores devido as etapas de descartes anteriores.

Na Tabela 4 os dados obtidos da análise da chuva foram organizados em diferentes parâmetros para cada evento coletado.

Na Tabela 5 os diversos recipientes que compõem o FF foram considerados como um sistema único para diferenciar, caracterizar a qualidade da água descartada e captada em relação a água armazenada na cisterna.

Tabela 4 – Valores obtidos de análise da água da chuva coletada pelo coletor “wet-only”

Data	Dados da chuva				
	pH	Condutividade	NT	DIC	DOC
21/03/2013	5,20	5,69	0,25	1,09	2,69
26/03/2013	5,21	8,52	0,47	1,74	1,33
02/04/2013	5,19	4,95	0,21	1,87	1,21
04/04/2013	5,12	3,23	0,05	1,74	1,28
12/04/2013	5,42	3,80	0,06	1,52	0,99
22/05/2013	5,80	12,66	0,82	0,80	2,70
27/05/2013	5,00	4,37	0,17	2,25	0,81
30/05/2013	5,24	3,31	0,15	0,87	2,16
03/06/2013	6,05	5,00	0,22	1,94	10,57
12/06/2013	5,45	7,82	0,37	1,84	2,18
16/06/2013	5,60	3,24	0,38	1,67	1,44
23/06/2013	6,02	5,43	0,42	1,93	1,57
26/06/2013	5,85	6,13	0,54	2,03	6,18
01/07/2013	7,06	4,90	0,89	1,63	3,80
MÉDIA	5,59	5,65	0,36	1,64	2,78

Tabela 5 – Médias de FF1 a FF5 para cada evento de chuva coletada

(continua)

Data	FF Médio				
	pH	Condutividade	NT	DIC	DOC
21/03/2013	6,53 ± 0,12	39,76 ± 10,13	0,31 ± 0,15	9,07 ± 1,07	2,48 ± 1,39
26/03/2013	6,26 ± 0,02	36,30 ± 3,86	0,77 ± 0,17	6,08 ± 0,77	1,70 ± 0,63
02/04/2013	6,05 ± 0,08	25,48 ± 7,01	0,63 ± 0,18	4,35 ± 1,11	1,60 ± 0,44
04/04/2013	6,33 ± 0,05	26,98 ± 3,69	0,39 ± 0,02	5,34 ± 0,66	1,69 ± 0,34
12/04/2013	6,11 ± 0,21	34,58 ± 4,69	0,56 ± 0,14	6,23 ± 0,68	2,46 ± 0,61
22/05/2013	6,82 ± 0,15	79,98 ± 39,35	2,24 ± 1,43	9,08 ± 1,22	11,80 ± 4,41
27/05/2013	6,50 ± 0,22	30,62 ± 3,80	0,28 ± 0,08	7,56 ± 1,36	4,53 ± 1,97
30/05/2013	6,49 ± 0,13	39,58 ± 18,31	0,79 ± 0,62	3,79 ± 0,77	6,51 ± 4,66
03/06/2013	6,07 ± 0,09	21,44 ± 8,98	0,46 ± 0,26	4,26 ± 1,10	6,67 ± 4,60
12/06/2013	6,26 ± 0,13	43,94 ± 13,91	0,98 ± 0,53	7,34 ± 1,25	5,65 ± 4,30
16/06/2013	6,00 ± 0,20	19,41 ± 5,33	1,13 ± 0,26	6,58 ± 2,05	2,03 ± 0,32
23/06/2013	6,39 ± 0,18	27,58 ± 12,77	0,77 ± 0,35	8,26 ± 1,22	5,29 ± 3,32

Tabela 5 – Médias de FF1 a FF5 para cada evento de chuva coletada

Data	FF Médio					(conclusão)
	pH	Condutividade	NT	DIC	DOC	
26/06/2013	6,17 ± 0,11	15,77 ± 7,07	0,79 ± 0,06	6,79 ± 2,53	3,59 ± 2,53	
01/07/2013	6,39 ± 0,11	26,68 ± 3,88	0,74 ± 0,20	8,64 ± 1,15	3,57 ± 1,25	

Tabela 6 – Valores obtidos de análise da água na cisterna

Data	Cisterna				
	pH	Condutividade	NT	DIC	DOC
21/03/2013 (1)	X	X	X	X	X
26/03/2013 (1)	X	X	X	X	X
02/04/2013	6,06	17,07	0,31	3,26	1,27
04/04/2013	5,73	13,26	0,16	3,23	1,31
12/04/2013	5,91	15,84	0,23	2,91	1,40
22/05/2013 (2)	...	...	...	...	...
27/05/2013	6,42	19,26	0,22	3,49	1,44
30/05/2013	5,90	16,77	0,21	2,62	2,91
03/06/2013	6,01	16,02	0,16	3,48	3,48
12/06/2013	5,91	18,18	0,36	4,44	12,39
16/06/2013	5,72	14,83	0,37	4,22	1,52
23/06/2013	6,11	13,55	0,38	4,37	2,11
26/06/2013	5,97	11,24	0,46	4,33	0,72
01/07/2013	7,06	14,4	0,48	4,85	0,71
MÉDIA	6,07	15,49	0,30	3,75	2,66

Nota - ... Dado numérico não disponível.

X Dado numérico omitido.

(1) Dados descartados devido a contaminação do sistema por água do abastecimento público utilizada para limpar o sistema após sua instalação.

(2) Dados inexistentes devido a quantidade de chuva não ser suficiente para encher o sistema de FF.

Na Tabela 6 os dados obtidos das análises da água armazenada presente na cisterna foram organizados em diferentes parâmetros para cada evento de chuva

coletado. Os dados obtidos para os eventos de chuva do dia 21/03 e 26/03 foram omitidos pois apresentavam contaminação, decorrente da água do sistema público de abastecimento, referente a lavagem interna da cisterna após a sua instalação.

2.3.2 Resultados de CE, NT, DIC e pH da água da chuva

Os dados foram separados por etapa do sistema e analisados para cada parâmetro, os dados obtidos foram confrontados em relação à intensidade e tempo de estiagem. Esta análise permitiu entender como a qualidade da água de chuva e da água de chuva coletada se altera de acordo com as variáveis citadas anteriormente.

No Gráfico 3 foi possível observar a variação da CE da água de chuva em relação a intensidade pluviométrica. Neste gráfico observou-se que a CE tende a aumentar quanto menor for a intensidade pluviométrica, no entanto tende a diminuir caso a intensidade pluviométrica seja muita alta.

Nos Gráficos 4, 5 e 6 foram feitas as mesmas relações de intensidade pluviométricas mas considerando o NT, DIC e pH respectivamente. Dentre estes o DIC foi o parâmetro que mais respondeu às variações de intensidade pluviométrica. Os dados obtidos de NT e pH não tiveram qualquer relação com a intensidade pluviométrica. O pH apresentou uma relação completamente aleatória quanto à intensidade pluviométrica.

Gráfico 3 – Variação da condutividade da água da chuva em relação à intensidade pluviométrica.

Gráfico 4 – Variação do nitrogênio total da água da chuva em relação à intensidade pluviométrica.

Gráfico 5 - Variação do carbono inorgânico dissolvido em relação à intensidade pluviométrica.

Gráfico 6 - Variação do pH em relação à intensidade pluviométrica.

Nos Gráficos 7, 8, 9 e 10 foram feitas correlações de indicadores de CE, NT, DIC e pH respectivamente em relação a intensidade pluviométrica observada. A definição da relação analisada foi feita levando em consideração a relação com o R^2 que mais se aproximou de 1.

Gráfico 7 – Relação logarítmica da CE da chuva x intensidade pluviométrica.

Gráfico 8 – Relação logarítmica do NT da chuva x intensidade pluviométrica.

Gráfico 9 – Relação logarítmica do DIC da chuva x intensidade pluviométrica.

Gráfico 10 – Relação logarítmica do pH da chuva x intensidade pluviométrica.

Nos gráficos acima foi possível observar que tanto a CE quanto o DIC da água de chuva obtiveram uma pequena relação com a intensidade pluviométrica, e ambos apresentaram uma baixa correlação de R^2 de 0,38 e 0,36 respectivamente.

O Gráfico 11 mostra a variação de CE em relação ao período de estiagem entre chuvas. Neste gráfico foi possível observar uma correlação entre a CE e o tempo de estiagem entre chuvas, quanto maior o tempo de estiagem maior foi a CE e vice e versa.

Nos Gráficos 12, 13 e 14 foi possível observar a variação do NT, DIC e pH respectivamente, da água da chuva em relação ao intervalo de estiagem entre chuvas. Nestes gráficos observou-se que o NT e o DIC apresentaram uma fraca relação com o intervalo de estiagem. O pH apresentou uma relação completamente aleatória quanto ao intervalo de estiagem entre chuvas.

Gráfico 11 – Variação da condutividade da água de chuva em relação ao intervalo de estiagem entre chuvas.

Gráfico 12 – Variação do nitrogênio total da água de chuva em relação ao intervalo de estiagem entre chuvas.

Gráfico 13 - Variação do carbono inorgânico dissolvido em relação ao intervalo de estiagem entre chuvas.

Gráfico 14 – Variação do pH em relação ao intervalo de estiagem entre chuvas.

Nos Gráficos 15, 16, 17 e 18 foram feitas correlações de indicadores de CE, NT, DIC e pH respectivamente, em relação ao intervalo de estiagem entre chuvas. A definição da relação analisada foi feita levando em consideração a relação com o R^2 que mais se aproximou de 1.

Gráfico 15 – Relação Linear da CE da chuva x intervalo de estiagem entre chuvas.

Gráfico 16 – Relação Linear do NT da chuva x intervalo de estiagem entre chuvas.

Gráfico 17 – Relação Linear do DIC da chuva x intervalo de estiagem entre chuvas.

Gráfico 18 – Relação Linear do pH da chuva x intervalo de estiagem entre chuvas.

Nos gráficos anteriores foi possível observar que a relação linear da CE com o intervalo de estiagem entre chuvas apresentou um R^2 de 0,68 e o NT e DIC apresentaram uma relação linear fraca com um R^2 de 0,28. Nota-se que tanto para CE quanto para NT houve um ponto determinante (40,13) para a relação, no entanto este ponto apresenta um valor esperado quanto ao intervalo de estiagem, neste caso o ideal seria obter um intervalo maior de amostragem para apresentar valores com intervalo de estiagem entre 10 e 40 dias.

2.3.3 Resultados de CE, NT, DIC e pH da água de chuva descartada

2.3.3.1 Análise da eficiência do sistema de “first-flush”

Os gráficos mostrados abaixo demonstraram como os diferentes parâmetros se comportaram de acordo com a quantidade de água descartada. Cada etapa do sistema de FF corresponde à aproximadamente 0,66 mm.m⁻² de água descartada.

Nas análises foi possível observar que o pH tende a diminuir conforme a água da chuva é descartada, e em todos os casos analisados o pH da água captada se apresentou mais alcalino que o pH da água de chuva (Gráfico 19).

Observou-se também que o mesmo ocorre com a CE, no entanto a CE parece sofrer uma maior influência quanto a quantidade de água descartada. Importante realçar que em todos os casos a CE analisada na água de descarte foi maior que a CE analisada na água da chuva. Também foi possível observar que o coeficiente de

variação diminuiu a medida que a água de chuva era descartada, atingindo aproximadamente 60% no primeiro ponto de descarte e 17% depois do último ponto de descarte (Gráfico 20).

Gráfico 19 – pH médio e desvio padrão de cada parte do sistema de descarte e armazenamento.

Gráfico 20 – Condutividade elétrica média e desvio padrão de cada parte do sistema de descarte e armazenamento.

Assim como com a CE o NT respondeu de maneira acentuada em relação a quantidade de água descartada. Importante realçar que da mesma maneira o coeficiente de variação diminui significativamente entre o primeiro ponto e o último ponto de descarte, apresentando um coeficiente de variação de aproximadamente 83% no descarte dos primeiros $0,66 \text{ mm.m}^{-2}$ e de 39% após o descarte de $3,3 \text{ mm.m}^{-2}$ (Gráfico 21).

Gráfico 21 – Nitrogênio total médio e o coeficiente de variação para cada parte do sistema.

As análises de DIC mostraram os mesmos padrões observados para pH, CE e NT. Os valores de DIC tenderam a diminuir conforme as primeiras águas da precipitação eram descartadas e os valores encontrados sempre foram maiores que os encontrados na água de chuva. No entanto não apresentou quedas tão acentuadas como observado com a CE e com o NT, se comportando de maneira mais parecida com o pH. O coeficiente de variação tende a permanecer constante assim como observado com o pH (Gráfico 22).

Gráfico 22 – Carbono inorgânico dissolvido e o desvio padrão de cada etapa do sistema de descarte e armazenamento.

Nos Gráficos 23, 24, 25 e 26 procurou-se avaliar a quantidade de água descartada e sua eficiência em relação ao parâmetro de pH, CE, NT e DIC.

Gráfico 23 – Comparação do pH obtido nos diferentes pontos amostrais do sistema de descarte de primeiras águas.

Gráfico 24 – Comparação da CE obtida nos diferentes pontos amostrais do sistema de descarte de primeiras águas.

Gráfico 25 – Comparação do NT obtido nos diferentes pontos amostrais do sistema de descarte de primeiras águas.

Gráfico 26 – Comparação do DIC obtido nos diferentes pontos amostrais do sistema de descarte de primeiras águas.

Analisando os gráficos anteriores (Gráficos 23, 24, 25 e 26) foi possível notar, com exceção do pH, uma diferença nos parâmetros de acordo com a quantidade de água descartada. A diferença obtida nos parâmetros analisados foi maior entre o primeiro estágio de descarte de $0,66 \text{ mm.m}^{-2}$ e o terceiro estágio de $1,98 \text{ mm.m}^{-2}$.

Esta diferença fica mais evidente quando comparamos o primeiro estágio de descarte (FF1) com o último estágio de descarte (FF5) e analisamos este último em comparação ao terceiro estágio de descarte (FF3) e quarto estágio de descarte (FF4). Quando fazemos esta análise, verificando o parâmetro de CE, obtemos uma clara evidência de que não há uma diferença significativa entre descartar $1,98$ ou $3,3 \text{ mm.m}^{-2}$ (Gráficos 27 e 28).

Assim como com a CE os parâmetros de NT e DIC demonstraram a mesma tendência quanto a quantidade de água descartada (Gráficos 29 a 32).

Gráfico 27 - Comparação dos valores de CE encontrados no primeiro (FF1) e último ponto (FF5) do sistema de descarte.

Gráfico 28 – Comparação dos valores de CE encontrados no terceiro (FF3), quarto (FF4) e quinto (FF5) ponto do sistema de descarte de primeiras águas.

Gráfico 29 - Comparação dos valores de NT encontrados no primeiro (FF1) e último ponto (FF5) do sistema de descarte.

Gráfico 30 - Comparação dos valores de NT encontrados no terceiro (FF3), quarto (FF4) e quinto (FF5) ponto do sistema de descarte de primeiras águas.

Gráfico 31 - Comparação dos valores de DIC encontrados no primeiro (FF1) e último ponto (FF5) do sistema de descarte.

Gráfico 32 - Comparação dos valores de NT encontrados no terceiro (FF3), quarto (FF4) e quinto (FF5) ponto do sistema de descarte de primeiras águas.

2.3.3.2 Relação da água descartada com as características pluviométricas

Outro ponto importante analisado foi a importância do FF e a qualidade da água descartada em relação às características pluviométricas como intensidade e intervalo de estiagem entre chuvas.

A relação da CE com o intervalo de estiagem mostrou que quanto maior o intervalo maior foram os valores encontrados de CE em todo o sistema (Gráfico 33).

Gráfico 33 – Demonstração da relação entre condutividade elétrica média e o intervalo de estiagem entre eventos pluviométricos.

Essa relação foi analisada, quanto ao R^2 , nos gráficos seguintes, considerando a média de todos os recipientes juntos como um sistema unificado (Gráfico 34) e entre os recipientes, considerando-os individualmente (Gráfico 35 a 39). A definição da relação analisada foi feita levando em consideração a relação com o R^2 que mais se aproximou de 1.

Através das análises foi possível observar que quanto maior o intervalo de estiagem entre eventos pluviométricos maior é a condutividade elétrica média entre as diferentes quantidades de água descartada (FF1 – FF2 - ... – FF5).

Essa variação ocorreu devido ao acúmulo de impurezas na superfície de captação durante o tempo de estiagem entre eventos.

Gráfico 34 – Relação Linear da CE do FF x intervalo de estiagem entre chuvas.

Gráfico 35 – Relação Linear da CE do FF1 x intervalo de estiagem entre chuvas.

Gráfico 36 – Relação Linear da CE do FF2 x intervalo de estiagem entre chuvas.

Gráfico 37 – Relação Linear da CE do FF3 x intervalo de estiagem entre chuvas.

Gráfico 38 – Relação Linear da CE do FF4 x intervalo de estiagem entre chuvas.

Gráfico 39 – Relação Linear da CE do FF5 x intervalo de estiagem entre chuvas.

A relação da CE com a intensidade pluviométrica pode ser observada no Gráfico 40 abaixo.

Gráfico 40 – Demonstração da relação entre condutividade elétrica média obtida no FF e o intervalo de intensidade pluviométrica.

Essa relação foi analisada, quanto ao R^2 , nos gráficos seguintes, considerando a média de todos os recipientes juntos como um sistema unificado (Gráfico 41) e entre os recipientes, considerando-os individualmente (Gráfico 42 a 46). A definição da relação analisada foi feita levando em consideração a relação com o R^2 que mais se aproximou de 1.

De maneira similar, mas oposto ao caso anterior, foi possível observar que quanto menor a intensidade pluviométrica maior foi a variação na condutividade elétrica média entre as diferentes quantidades de água descartada (FF1 – FF2 - ... - FF5).

Essa variação ocorre principalmente devido ao fator diluição da água da chuva. Segundo Almeida (2006), quanto maior a precipitação maior será a diluição da concentração iônica e vice-versa, ou seja, em precipitações menos intensas espera-se uma maior concentração iônica devido à baixa diluição.

Gráfico 41 – Relação Potencial da CE do FF x intensidade pluviométrica.

Gráfico 42 – Relação Potencial da CE do FF1 x intensidade pluviométrica.

Gráfico 43 – Relação Potencial da CE do FF2 x intensidade pluviométrica.

Gráfico 44 – Relação Potencial da CE do FF3 x intensidade pluviométrica.

Gráfico 45 – Relação Potencial da CE do FF4 x intensidade pluviométrica.

Gráfico 46 – Relação Potencial da CE do FF5 x intensidade pluviométrica.

2.3.4 Resultados de CE, NT, DIC e pH da água armazenada

Nos Gráficos 47 a 50 procurou-se avaliar os valores obtidos de pH, CE, NT e DIC da água armazenada na cisterna em relação aos mesmos parâmetros obtidos da água de chuva e do sistema de FF como um todo.

Gráfico 47 – Valores de pH da água armazenada na cisterna, da água de chuva e da água descartada no sistema de FF.

Gráfico 48 – Valores de CE da água armazenada nas cisternas, da água de chuva e da água descartada no sistema de FF.

Gráfico 49 – Valores de NT da água armazenada nas cisternas, da água de chuva e da água descartada no sistema de FF.

Gráfico 50 – Valores de DIC da água armazenada nas cisternas, da água de chuva e da água descartada no sistema de FF.

Os parâmetros observados da água armazenada nas cisternas apresentam valores intermediários entre o observado na água de chuva e o observado na água descartada pelo sistema de FF.

2.4 Discussão

Através das análises dos dados, foi possível avaliar que, dentre os parâmetros analisados, a CE, DIC e NT apresentaram-se como indicadores eficientes quanto aos objetivos propostos neste trabalho.

2.4.1 Qualidade da água de chuva

A qualidade da água de chuva, quanto ao parâmetro de CE, apresenta uma relação linear com o intervalo de estiagem com coeficiente de determinação de 0,68. Esta pode ser considerada uma relação significativa se tratando de um evento ambiental. Esta relação ocorre principalmente devido ao acúmulo de impurezas na atmosfera durante os períodos de estiagem entre eventos. Quanto maior o tempo entre eventos de chuva maior será a quantidade de impurezas acumulada e vice e versa.

O pH da água de chuva manteve-se em uma média de 5,6 que é considerado um pH neutro para água de chuva. Segundo Moschonas e Glavas (2002), valores de pH menores que 5,6 para água de chuva são considerados ácidos, uma vez que o pH referência (5,6 – 25°C) é resultado da dissolução de CO₂ atmosférico (360 ppmv) em água pura.

No ano 2000 as precipitações da região de Piracicaba eram consideradas ácidas com um pH variando de 4,4 a 4,5 (LARA, 2000). Esta melhoria observada no pH das precipitações da região se devem principalmente à diminuição da queima de cana de açúcar. Nesta última década liminares e decisões judiciais proibiram a prática de queima de cana de açúcar na região.

2.4.2 Qualidade da água descartada

Todos os parâmetros analisados apresentaram valores maiores do que os obtidos nas análises da água de chuva. Isto se deve principalmente à contaminação da superfície de captação.

O sistema de FF demonstrou ter importância significativa na qualidade da água coletada. Todos os parâmetros tenderam a diminuir conforme as primeiras águas captadas eram descartadas.

A CE tende a diminuir significativamente a cada 0,66 mm de água descartada. No entanto a CE apresenta uma diminuição mais significativa que os demais parâmetros apenas entre o primeiro ponto de descarte (FF1) e o segundo ponto de descarte (FF2), a partir do terceiro ponto de descarte (1,98 mm de água descartada) a CE parece não sofrer interferência significativa na sua variação.

Após o descarte de 3,3 mm o NT foi o único parâmetro avaliado que se aproximou dos valores de NT analisados na água de chuva.

O sistema de FF também demonstrou ter uma importância significativa na homogeneização da água captada. Observou-se que o coeficiente de variação dos parâmetros CE e NT foram altos na primeira etapa de descarte (FF1) e tenderam a diminuir conforme a água foi descartada a cada 0,66 mm (Tabela 7).

Tabela 7 – Coeficiente de variação dos parâmetros de pH, CE e NT para cada etapa de descarte.

Pontos do Sistema	σ		
	pH	Condutividade	NT
FF1	3,9%	60,0%	82,5%
FF2	3,5%	36,8%	48,4%
FF3	3,4%	35,7%	54,5%
FF4	4,0%	37,3%	60,3%
FF5	3,9%	32,2%	38,7%

Importante realçar que os altos valores para o coeficiente de variação eram esperados e ocorrem devido as grandes diferenças ambientais entre cada evento pluviométrico, cada chuva apresentou concentrações totalmente distintas devido a diversos fatores, como intervalo de estiagem entre chuvas, intensidade pluviométrica, duração e condições atmosféricas.

A qualidade da água descartada apresenta uma relação linear com o intervalo de estiagem entre chuvas e uma relação potencial com a intensidade pluviométrica. A relação do FF com o intervalo de estiagem apresentou um R^2 de 0,96 e uma relação com a intensidade pluviométrica de R^2 de 0,77.

As relações da água descartada com as características pluviométricas se intensificaram, quando comparadas as relações da água de chuva, pois sofreram influência direta da superfície de captação. Não só as impurezas acumuladas na

atmosfera, mas também as impurezas acumuladas na superfície de captação, foram carreadas para dentro do sistema de FF.

Isto faz com que não só a relação de intervalo de estiagem se intensifique, mas também faz com que apresente uma relação mais forte com a intensidade pluviométrica, pois quanto maior a intensidade mais impurezas foram carreadas para dentro do sistema.

2.4.3 Qualidade da água armazenada

Para todos os parâmetros foi possível observar que as concentrações na cisterna foram consideravelmente abaixo do último ponto de descarte (FF5), isto ocorreu devido ao fator diluição que ocorre dentro da cisterna, pois a cada milímetro de chuva captado, após o descarte do ponto FF5, os parâmetros continuaram a diminuir suas concentrações devido a diluição contínua.

Se considerarmos que grande parte de uma chuva é direcionada para cisterna, uma vez que é preciso apenas 3,3 mm de chuva aproximadamente para encher o sistema de descarte, o fator diluição se tornou o principal fator para as baixas concentrações encontradas na cisterna.

Os parâmetros avaliados na água da cisterna apresentaram valores intermediários em relação à água de chuva e à água descartada no sistema de FF. Isto era esperado uma vez que a água de chuva armazenada nas cisternas foi contaminada pela superfície de captação e por todo o trajeto até a cisterna e o único meio de tratamento utilizado foi o descarte das primeiras águas.

3 CONCLUSÃO

De acordo com as características pluviométricas verificou-se que em intervalos grandes de estiagem entre chuvas e baixa intensidade pluviométrica a água de chuva captada apresentava baixa qualidade, devido ao acúmulo de impurezas na atmosfera e na superfície de captação.

Assim como quanto maior a quantidade de primeiras águas descartada melhor seria a qualidade da água captada e armazenada nas cisternas.

Importante ressaltar que o pH das chuvas coletadas foram neutros e mostraram uma melhoria significativa em relação à trabalhos feitos na região de Piracicaba (região de estudo) na última década, onde constaram-se que grande parcela das chuvas na região apresentavam um pH ácido. Acredita-se que esta melhoria, no pH da água de chuva da região de Piracicaba, deva-se principalmente à proibição de queima da cana de açúcar na região por órgãos estatais.

Os parâmetros obtidos de OD foram descartados após verificar que não havia diferenças entre os valores obtidos nos diferentes pontos do sistema. Isto aconteceu devido à oxigenação da água coletada ocorrer de forma padrão dentro do sistema.

Através deste estudo foi possível observar uma forte relação da intensidade pluviométrica, tempo de estiagem entre eventos e quantidade de água descartada influenciando na qualidade da água captada e armazenada.

A água de chuva captada foi de melhor qualidade quando o intervalo de estiagem entre chuvas foi pequeno com uma alta intensidade pluviométrica e vice e versa. A qualidade das primeiras águas descartadas com o intervalo de estiagem entre chuvas apresentou uma relação linear significativa, assim como uma relação potencial com a intensidade pluviométrica.

Já a qualidade da água de chuva, sem o contato com qualquer superfície, não apresentou qualquer relação com a intensidade pluviométrica, no entanto apresentou forte relação linear com o intervalo de estiagem entre eventos de chuva. Foi possível observar que quanto maior o intervalo de estiagem entre chuvas pior foi a qualidade da água analisada. Isto ocorre principalmente devido ao acúmulo de impurezas na atmosfera na falta de chuvas.

As diferenças nas relações entre a água de chuva captada e a água de chuva deve-se, principalmente, à influência da superfície de captação na qualidade da água analisada devido ao acúmulo de impurezas durante o período de estiagem.

O sistema de FF apresentou uma importância significativa nos parâmetros da água captada, segundo o que foi analisado quanto maior o descarte mais próximo os parâmetros analisados serão dos valores encontrados na água de chuva. No entanto observou-se que em condições ideais o descarte deveria ser proporcional à intensidade pluviométrica e principalmente ao intervalo de estiagem entre chuvas. Onde quanto maior o intervalo de estiagem entre chuvas maior deveria ser a quantidade de primeiras águas descartada.

Assim como sugerido na norma NBR 15527 de 2007, considerando um sistema de FF convencional, onde o volume de descarte é sempre o mesmo, foi possível concluir que o descarte de 2 mm apresenta a melhor relação de quantidade de água descartada e qualidade da água captada.

3.1 Considerações finais

Como sugestão para os avanços na área de estudos de coleta e aproveitamento de água de chuva muitos outros aspectos devem ser estudados e melhor aprofundados em relação à quantidade de água descartada e características pluviométricas, como análises de demais parâmetros específicos de qualidade de água, estudo da interferência das concentrações de aerossóis na qualidade da água de chuva coletada e estudos com períodos de coleta maiores que um ano hidrológico.

REFERÊNCIAS

- AGARWAL, A.; NARAIN, S. **Dying wisdom: rise, fall and potential of India's traditional water harvesting systems**. New Delhi: Centre for Science and Environment, 1997. 4 v.
- ALABURDA, J.; NISHIHARA, L. Presença de compostos de nitrogênio em águas de poços. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v.32, n.2, p.160-165, 1998.
- ALMEIDA, V.P.S. **Acidez orgânica da precipitação e uso do solo nas regiões dos Parques Estaduais de Intervales e Morro do Diabo (Estado de São Paulo)**. 2006. 97 p. Tese (Doutorado em Química na Agricultura e no Ambiente). Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.
- ARBEX, M.A.; CANÇADO, J.E.D.; PEREIRA, L.A.A.; BRAGA, A.L.F.; SALDIVA, P.H. do N. Queima de biomassa e efeitos sobre a saúde. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, Brasília, v. 30, n. 2, p. 158-175, mar/abr. 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.527: água de chuva: Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2007. 8 p.
- BASTOS, F.P. **Tratamento de água de chuva através de filtração lenta e desinfecção UV**. 2007. 135 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2007.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Social e do Combate à Fome. **Cisternas**. Disponível em: <<http://www.mds.gov.br/segurancaalimentar/acessoagua/cisternas>>. Acesso em: 03 fev. 2014.
- _____. Ministério de Estado da Saúde. Portaria MS nº 2914, de 12 de dezembro de 2011. Diário Oficial da União, Brasília, n. 3, s. 1, p. 43, 14 dez. 2011.
- COMITÊS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ. **Conclusão final para o Grupo de Quantidade de Água: (EIA – RIMA – CARIOBA II)**. 2003. Disponível em: <http://www.comitepcj.sp.gov.br/download/REL_FINAL_GRUPO_C.pdf>. Acesso em: 05 fev.2014.
- CRATA, F.M.; FASSO, C.A.; PATTA, F.; PUTZU, G. Carthaginian-Roman Cisterns in Sardinia. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON RAIN WATER CISTERN SYSTEMS, 1., 1982, Honolulu. **Anais...** Honolulu: IRCSA, 1982. v. 1, p. 37-45.
- DATAR, R. Designing and implementing rainwater harvesting systems for industries: a case study from Mumbai. In: JOINT INTERNATIONAL CONFERENCE ON "SUSTAINABLE ENERGY AND ENVIRONMENT (SEE 2006)", 2., 2006, Bangkok. **Proceedings...** Bangkok: JGSEE, 2006. Disponível em: <<http://www.jgsee.kmutt.ac.th/see1/cd/file/E-058.pdf>>. Acesso em: 03 fev. 2014.

EVENARI, M. Ancient agriculture in the Negev. **Science**, Washington, v. 133, p. 976-986, 1961.

FAO. **Water harvesting**: a manual for the design and construction of water harvesting schemes for plant production. Rome, 1991. 9 p. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/u3160e/u3160e00.htm#Contents>>. Acesso em: 03 fev. 2014.

_____. **Making every drop count**: FAO heads UN water initiative. Rome, 2007. Disponível em: <<http://www.fao.org/newsroom/EN/news/2007/1000494/>>. Acesso em: 05 fev. 2014.

GARCEZ, L.N.; ALVAREZ, G.A. **Hidrologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1988. 304 p.

GOULD, J.; NISSEN-PETERSEN, E. **Rainwater catchment systems for domestic supply**: design, construction and implementation. Michigan: Intermediate Technology Publications, 1999. 335 p.

HASSE, R. **Rainwater reservoirs above ground structures for roof catchment**. Botswana: Friedr. Vieweg, 1989. 102 p.

HEGGEN, R.J. Rainwater catchment and the challenges of sustainable development. **Water Science & Technology**, London, v. 42, n. 1/2, p. 141-145, 2000.

HERNANDES, A.T.; AMORIM, S.V. Avaliação quantitativa e qualitativa de um sistema de aproveitamento de água pluvial em uma edificação na cidade de Ribeirão Preto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO E MANEJO DE ÁGUA DE CHUVA, 6., 2007, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: ABCMAC, 2007. Disponível em: <http://www.abcmac.org.br/files/simpósio/6simp_andre_avaliacao.pdf>. Acesso em: 05 fev. 2014.

INTERNATIONAL WATER MANAGEMENT INSTITUTE. **A coming water crisis?** 2012. Disponível em: <http://www.iwmi.cgiar.org/News_Room/pdf/A_Coming_Water_Crisis-American_Security_Project.pdf>. Acesso em: 05 fev. 2014.

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

KONIG, K.W. **The rainwater technology handbook**: rain harvesting in building. Dortmund: Wilo-Brain, 2001. 143 p.

KOVACS, G. **Traditions of rainwater harvesting in Europe**. Nairobi: UNEP; 1979. 30 p. (Report to UNEP Rain and Stormwater Harvesting Project).

LARA, L.B.L.S. **Caracterização química da precipitação na bacia do rio Piracicaba: variabilidade espacial e temporal**. 2000. 80 p. Tese (Doutorado em Energia Nuclear na Agricultura) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

LARA, L.B.L.S.; ARTAXO, P.; MARTINELLI, L.A.; VICTORIA, R.L.; CAMARGO, P.B.; KRUSCHE, A.; AYERS, G.P.; FERRAZ, E.S.B.; BALLESTER, M.V. Chemical composition of rainwater and anthropogenic influences in the Piracicaba River Basin, Southeast Brazil. **Atmospheric Environment**, Amsterdam, v. 35, p. 4937-4945, 2001.

MARTINELLI, L.A.; CAMARGO, P.B.; BERNARDES, M.C.; OMETTO, J.P.H. B. Carbon, nitrogen, and stable carbon isotope composition and land-use changes in rivers of Brazil. In: ROOSE, E.J.; LAL, R.; FELLER, C.; BARTHÈS, B.; STEWART, B.A. **Soil erosion and carbon dynamics**. New York: Taylor & Francis Group, 2005. chap. 16, p. 239-254.

MAY, S. **Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações**. 2004. 159 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

MIERZWA, J.C.; HESPANHOL, I.; SILVA, M.C.C. da. Águas pluviais: método de cálculo do reservatório e conceitos para um aproveitamento adequado. **REGA**, Porto Alegre, v. 4, n. 1, p. 29-37, jan./jun. 2007.

MORUZZI, R.B.; MURAKAMI, M.F. Variação temporal da qualidade da água armazenada para fins de aproveitamento. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 6, n. 3, p. 243-254, set./dez. 2009.

MORUZZI, R.B.; NAKADA, L.Y.K. Coleta e tratamento de água pluvial para fins não potáveis com emprego de amido de milho como coagulante primário em filtração cíclica em escala de laboratório. **Revista de Estudos Ambientais**, Blumenau, v. 11, n. 1, p. 51-60, jan./jun. 2009.

MOSCHONAS, N.; GLAVAS, S. Weak organic acidity in a wet-only precipitation study at a Mediterranean coastal site, Patras, Greece. **Atmospheric Research**, Amsterdam, v. 63, n. 1, p. 147-157, 2002.

MURAKAMI M.F. **Caracterização físico-química e microbiológica de diferentes amostras de uma precipitação coletada e armazenada após passagem por telhado**. 2007. 54 p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro, 2007.

OLIVEIRA, N.N. **Aproveitamento de água de chuva de cobertura para fins não potáveis, de próprios da educação da rede municipal de Guarulhos**. 2008. 80 p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil) – Universidade Guarulhos, Guarulhos, 2008. 84

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Relatório mundial sobre o desenvolvimento dos recursos hídricos**. 2003. Disponível em: <[http://www.unesco.org.br/areas/ciencias/areastematicas/recursoshidricos/Recursos hidricosleiamais/mostra_padrao](http://www.unesco.org.br/areas/ciencias/areastematicas/recursoshidricos/Recursos_hidricosleiamais/mostra_padrao)>. Acesso em: 02 maio 2009.

PINHEIRO A.; VALLE, J.A.B.; TORDO, O.C.; MINATTI, G. Efeito da abstração inicial no aproveitamento da água de chuva. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23., 2005, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: ABES, 2005. Disponível em: <<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes23/l-025.pdf>>. Acesso em: 05 fev. 2014.

SHIKLOMANOV, I.A.; RODDA, J.C. (Ed.). **World resources at the beginning of the 21st century**. Cambridge: UNESCO, 2003. 417 p.

TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva em áreas urbanas para fins não potáveis**. Guarulhos: Ed. Navegar, 2009. 180 p.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Variáveis de qualidade das águas**. Disponível em: < <http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/aguas-superficiais/109-variaveis-de-qualidade-das-aguas> >. Acesso em: 05 fev. 2014.

ESTEVES, F.A. **Fundamentos de limnologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência; FINEP, 1998. 575 p.

NETTO, J.A.; SILVA C.C.A. **Processos simplificados para exame e análise de água**. São Paulo: Faculdade de Saúde Pública, 1970. 276 p.

RICHTER, C.A.; NETTO, J.A. **Tratamento de água**: tecnologia atualizada. Rio de Janeiro: Edgard Blucher, 1991. 332 p