

# AVALIAÇÃO TÉCNICA E ECONÔMICA DE UM SISTEMA DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA PLUVIAL

*Leonardo Kenji Maeda<sup>1</sup> & João Luiz Boccia Brandão<sup>2</sup>*

**RESUMO** --- Este trabalho trata da questão do aproveitamento de águas pluviais através da sua captação a partir dos telhados das edificações. O tema é abordado na forma de um estudo de viabilidade técnica e econômica. São feitas considerações sobre vários aspectos relacionados com esse tipo de sistema, principalmente no que se refere à questões de qualidade da água e o seu armazenamento em cisternas ou reservatórios. Apresenta-se também um método de dimensionamento do reservatório que leva em conta a questão do risco de falha do sistema, fundamentado na equação da continuidade. Na seqüência, é feita uma avaliação de custos de implantação dos reservatórios e comparam-se tais custos com o volume de reservação e os níveis de garantia do abastecimento. O estudo de caso contempla a estimativa de um sistema para os prédios onde funciona o curso de Engenharia Ambiental no campus II da USP em São Carlos-SP.

**ABSTRACT** --- This research concerns the use of water from rainfall collected by roof edifications. The subject is approached by means of a technical and economical feasibility study. Some considerations are made on quality and quantity matters as well, especially those related to the water stored in local reservoirs, also called “cisternas”. It is also presented a method to calculate water reservoir storage capacity, taking into account supply risk analysis, based on the continuity equation applied to the local water reservoir. Next, a construction cost evaluation is done and those results are compared to the reservoir size and the related level of supply guarantee. The case study refers to an ideal system collecting rainfall water from the Environmental Engineering buildings located at Campus II of University of São Paulo in the city of São Carlos, Brazil.

**Palavras Chave:** Captação de águas pluviais, cisternas, água de chuva.

---

<sup>1</sup> Estudante de Graduação em Engenharia Ambiental da EESC/USP, Av. Trabalhador São-carlense 400, 13566-590 São Carlos-SP. E-mail: [jaka\\_amb@yahoo.com.br](mailto:jaka_amb@yahoo.com.br)

<sup>2</sup> Professor Doutor da EESC/USP, Av. Trabalhador São-carlense 400, 13566-590 São Carlos-SP, E-mail: [jlbb@sc.usp.br](mailto:jlbb@sc.usp.br)

## 1. INTRODUÇÃO

No ambiente urbano, a água é captada, tratada e distribuída para a população e devolvida para os rios e lagos, na maioria das vezes, com uma carga poluidora alta, sem o devido tratamento. A rápida taxa de urbanização produz um dos principais impactos no ciclo hidrológico, alterando substancialmente a drenagem e a infiltração da água, além de gerar impactos como enchentes, deslizamentos e desastres provocados pelo desequilíbrio no escoamento das águas, produzindo problemas à qualidade de vida e à saúde humana.

Além dos problemas referentes à drenagem urbana das águas pluviais, são notórios os impactos provocados quanto à diminuição acentuada da oferta de água. À medida que cresce a população, mais água é consumida, seja para uso urbano, na irrigação, ou em processos industriais. O uso desordenado, a contaminação e a super-exploração dos mananciais têm pressionado irreversivelmente alguns corpos d'água em todo mundo.

Ohnuma (2003) descreve que somente um terço da água que flui anualmente para o mar pode ser utilizada pelo homem. Desta quantidade, mais da metade já tem destino e está sendo utilizada. Muitas vezes, a água é encontrada na natureza degradada por esgotos, poluição industrial, produtos químicos, excesso de nutrientes e pragas de algas. A disponibilidade *per capita* de água potável de boa qualidade está diminuindo em todos os países desenvolvidos e em desenvolvimento.

Outros problemas bastante comuns e que agravam a escassez de água são a periodicidade e a irregularidade do suprimento, o desmatamento, a poluição das nascentes, falta de saneamento, a expansão das cidades e sua má gestão.

Com a crescente demanda por água, a tendência que se observa em diversas regiões do país e em diversos países é a intensificação dos conflitos gerados pelo uso da água pelos diversos agentes da sociedade, sejam eles públicos ou privados. Por outro lado, o desenvolvimento dos sistemas de abastecimento de água e de sua normatização torna cada vez mais exigente as características de qualidade da água consumida ou utilizada em suas diversas aplicações. Além disso, podemos notar um aumento expressivo no custo da água para abastecimento público. Partindo desse contexto, nota-se uma crescente preocupação com a busca de fontes alternativas de água que possam complementar o fornecimento público. Assim, faz-se necessário ampliar os conhecimentos referentes à conservação da água, para que esse recurso possa ser preservado de forma que no futuro próximo não se torne escasso.

O aumento da eficiência do uso da água irá liberar suprimentos de água para outros usos, tais como: alívio na pressão sobre o meio ambiente, garantia de reserva de mananciais para gerações vindouras e aumento na produtividade agrícola. A disponibilidade de água servirá como parâmetro básico para decidir a localização de qualquer empreendimento.

O uso sustentável de água depende fundamentalmente da adaptação das pessoas ao ciclo da água. O ser humano precisa desenvolver e disseminar habilidades, conhecimentos, procedimentos e instituições para administrar o uso da água de forma integrada e abrangente, a fim de manter a quantidade e a qualidade do suprimento.

Frente ao contexto exposto, o presente trabalho propõe estudar a captação de águas pluviais como forma de suprir demandas que não requerem níveis altos de potabilidade. Uma forma de conservar água é aproveitar a água de chuva em edificações.

A viabilidade do uso de água de chuva em edificações é caracterizada pela diminuição da demanda de água fornecida pelas companhias de saneamento, tendo como consequência a diminuição de custos com a água potável e a potencial redução do risco de enchentes em caso de chuvas fortes.

A viabilidade do sistema depende basicamente de três fatores: precipitação, área de coleta e demanda. O reservatório da água da chuva, por ser o elemento mais dispendioso do sistema, deve ser projetado de acordo com as necessidades do usuário e com a disponibilidade pluviométrica local, sem inviabilizar economicamente o sistema.

Baseado nos resultados das análises realizadas e na utilização do sistema de coleta e aproveitamento de água de chuva, seu uso para diversos fins deve ser estimulado.

## **2. OBJETIVOS**

O objetivo do trabalho é analisar a viabilidade de sistemas de captação e utilização águas pluviais. Para tal, pretende-se:

- Propor uma metodologia de cálculo de dimensionamento de reservatórios de águas pluviais;
- Realizar um estudo de caso com a utilização da água para irrigação.

Em atividades humanas, industriais e agrícolas, onde o consumo de água é elevado, a sua escassez induz à procura de novas alternativas para minimizar esse problema. A reciclagem da água da chuva, o reuso de água servida e o aproveitamento de água de chuva, são alternativas que podem ser consideradas, após análise técnica e econômica.

Portanto, o objetivo deste trabalho é analisar a viabilidade do aproveitamento de água de chuva coleta em edificações. Espera-se com isso, que o uso da água de chuva para consumo seja incentivado de forma que não proporcione riscos de saúde em seus usuários e que o aproveitamento da água coletada alivie a pressão sobre os mananciais, para que no futuro muito próximo esse recurso não se torne escasso.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Segundo Tomaz (2001), a conservação da água é um conjunto de atividades com o objetivo de:

- Reduzir a demanda de água;
- Melhorar o uso da água e reduzir as perdas e desperdícios da mesma;
- Implantar práticas para economizar água.

O mesmo autor ainda divide as medidas de conservação de água no espaço urbano, residencial, comercial e industrial, entre duas formas distintas, convencionais ou não, que são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Medidas de conservação de água

Convencional	Não-convencional
Conserto de vazamentos nas residências;	Reuso de águas cinzas (águas servidas);
Conserto de vazamentos nas redes públicas;	Utilização das excretas de vasos sanitários em compostagem;
Redução de pressão nas redes públicas;	Aproveitamento de água de chuva;
Mudança nas tarifas;	Dessalinização de água do mar ou salobra;
Reciclagem e reuso de água;	Aproveitamento de água de drenagem do subsolo de edifícios.
Educação pública	

Tomaz (2001) afirma que as questões referentes ao abastecimento de água e ao combate às enchentes, influenciam muito no tema “meio-ambiente”, englobando aspectos sociais, políticos e de segurança pública. Racionalização do consumo, diminuição das perdas físicas nas redes de abastecimento, combate às ligações clandestinas, reciclagem das águas servidas e campanhas de conscientização são medidas necessárias à conservação de água, porém requerem tempo para surtirem efeito.

Segundo Palmier (2001), a questão dos recursos hídricos em diversos países apresenta um grande desafio para as autoridades responsáveis. De fato, em muitas regiões, a demanda de água excede a quantidade disponível. Nos últimos anos tem se observado o desenvolvimento de novas tecnologias referentes ao manejo da água. Com isso, observam-se novas expansões no uso de técnicas de aproveitamento de água de chuva, tanto em regiões onde já eram utilizadas, como em locais onde eram desconhecidas.

O manejo e o aproveitamento da água da chuva para uso doméstico, industrial e agrícola estão ganhando ênfase em várias partes do mundo, sendo considerado um meio simples e eficaz para se atenuar o grave problema ambiental da crescente escassez da água para consumo.

Atualmente, o uso desta prática é exercido em diversas partes do globo. Na Holanda, por exemplo, a água pluvial é coletada para evitar o transbordamento dos canais que atravessam o país,

situado abaixo do nível do mar. A água armazenada é utilizada na irrigação de lavouras e abastecimentos de fontes ornamentais. Na Alemanha, o processo de coleta e aproveitamento de água de chuva ajudou a solucionar os problemas acarretados pela péssima qualidade da água distribuída (Ohnuma, 2003).

Palmier (2001) apresenta sistemas alternativos de coleta de água de chuva em estados nordestinos do país e em Minas Gerais. No entanto, não há uma sistematização no uso dessas técnicas. Muitas dessas aplicações, não apresentam seus resultados monitorados. A construção de cisternas no semi-árido brasileiro trouxe diversos benefícios às pessoas que utilizam esse sistema, dentre outros:

- Facilitou as atividades domésticas;
- Diminui o índice de doenças onde são efetuadas manutenções adequadas das cisternas;
- Maior tempo para desenvolver outras atividades;
- Maior disponibilidade de água para beber, cozinhar e limpeza entre outros.

Segundo a Organização dos Estados Americanos (1997) apud Palmier (2001), na América do Sul e no Caribe os maiores problemas enfrentados para implementar as técnicas de gestão de águas de chuva são:

- Dificuldade de difusão de informação sobre as técnicas aplicadas com sucesso;
- Falta de conhecimento da existência e importância dessas técnicas nos vários níveis de participação pública e tomada de decisões;
- Limitações econômicas;
- Ausência de coordenação interinstitucional e multidisciplinar;
- Ausência de legislação adequada;
- Incapacidade de avaliar de forma apropriada o impacto da introdução de tecnologias alternativas nas situações existentes.

De acordo com May (2004), é importante fazer o planejamento da utilização do sistema de aproveitamento de água da chuva para verificar a quantidade de água que poderá ser coletada e armazenada, para verificar a necessidade de tratamento de água de chuva e para analisar os benefícios da mistura da água de chuva com a água servida. Certamente é preciso que a água coletada seja devidamente armazenada, filtrada e que garanta uma qualidade compatível com os usos previstos.

Existem dois fatores positivos no uso de água de chuva em áreas urbanas, a saber:

- Redução no consumo de água;
- Melhor distribuição da carga de água de chuva imposta ao sistema de drenagem urbana.

Uma desvantagem deste sistema é a diminuição do volume de água coletada em períodos de estiagem.

O sistema de aproveitamento de água de chuva pode ser aplicado na lavagem de vasos sanitários, sistemas de ar condicionado, sistemas de controle a incêndios, lavagem de veículos, lavagem de pisos e ainda na irrigação de jardins. Nas indústrias e estabelecimentos comerciais, a água de chuva pode ser utilizada para resfriamento de telhados e máquinas, climatização interna, lavanderia industrial, lavagem de caminhões, carros e ônibus e limpeza industrial.

O uso da água de chuva nas descargas é benéfico para a economia de água, já que a limpeza de vasos sanitários corresponde a 35% do consumo total de água de uma residência. O princípio do funcionamento do sistema de coleta e aproveitamento de água de chuva para a limpeza de vasos sanitários é o mesmo utilizado na irrigação de jardins. O fator de maior relevância para o sucesso desse tipo de sistema é o cuidado que se deve ter no processo de instalação do mesmo. Por motivos de contaminação, a água de chuva não pode ser misturada à água potável no mesmo sistema de distribuição, por isso são necessários dois sistemas separados. Outro fator é a necessidade de desinfecção da água, pois podem ocorrer respingos de água e causar riscos à saúde de seus usuários.

O sistema de aproveitamento de água de chuva funciona através da coleta da água por áreas impermeáveis, geralmente telhados. Em seguida, é filtrada (ou não) e armazenada em reservatório(s) de acumulação, que pode ser apoiado, enterrado ou elevado e ser construído com diferentes materiais, como: concreto armado, blocos de concreto, alvenaria de tijolos, aço, plástico, poliéster, polietileno, ferrocimento e outros.

Segundo Vivacqua (2005), os parâmetros principais envolvidos no sistema de coleta e aproveitamento de água de chuva são: área de coleta, quantidade de água a ser armazenada, qualidade da água, capacidade de armazenamento, coeficiente de *runoff* e confiabilidade.

Para a coleta de águas de chuvas é necessária a instalação de condutores verticais, condutores horizontais, dispositivos para descarte da água de limpeza do telhado e reservatório(s) de acumulação. Os condutores verticais e horizontais são dispositivos que em muitos casos já se encontram instalados nas edificações. Já outros componentes, como tanque para descarte e reservatório(s), deverão ser instalados. O sistema de coleta e aproveitamento de água de chuva em edificações é, portanto, constituído pelos seguintes componentes: área de coleta, condutores, grelhas, tanque de descarte, reservatório ou cisterna:

O problema do dimensionamento do reservatório pode ser visto de duas maneiras: a - volume de água para suprir a demanda e b - encontrar a demanda com um grau de confiabilidade alto para um dado volume de reservatório. As Figuras 1 e 2 mostram dois exemplos desses sistemas.

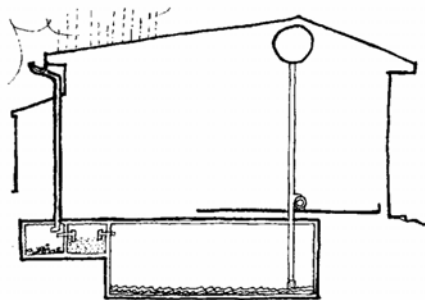


Figura 1 – Cisterna enterrada

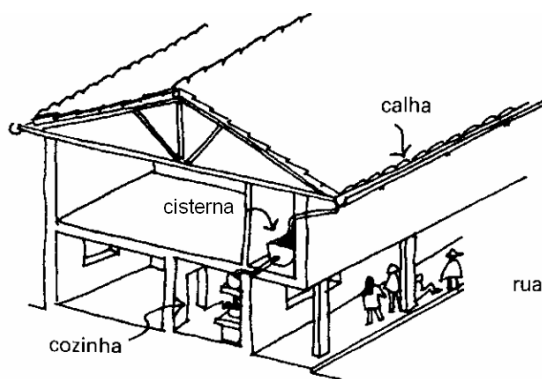


Figura 2 – Cisterna elevada

Geralmente, o reservatório de acumulação é o componente mais dispendioso do sistema, por isso seu dimensionamento requer cuidados para não tornar a sua implantação inviável. Dependendo do volume obtido no cálculo e das condições do local, o reservatório poderá ser implantado para atender a situações de armazenamento por dias, semanas, meses e até durante um ano inteiro.

A durabilidade, a segurança e o baixo custo são critérios normalmente utilizados para escolher o tipo de reservatório a ser implantado. Todavia, existem outros critérios que deverão ser considerados, a saber: segurança do modelo, preferência dos usuários, sustentabilidade e geração de empregos.

A coleta da água da chuva é um sistema de fácil manuseio, custo de implantação baixo, dependendo da tecnologia adotada, e de retorno de investimento rápido em regiões onde a precipitação anual é relativamente elevada. A água de chuva tratada de maneira simples pode ser aplicada com vantagens quando comparada com o sistema de reutilização de água servida, embora possua a desvantagem de, em tempos de estiagem, diminuir o volume de água coletado.

Para dimensionamento de um sistema de água de chuva é necessário conhecer o coeficiente de *runoff* da área de captação. Esse parâmetro é usado para corrigir a diferença entre a quantidade de água precipitada e a escoada pela área da cobertura. A diferença acontece em função das características do meio e da cobertura da área coletora, havendo perdas por evaporação, infiltração e vazamentos.

O seu valor é função de uma série de parâmetros, o que torna sua determinação um processo complexo. Mas de maneira geral, influem fundamentalmente a constituição do material usado no telhado e a inclinação do mesmo, uma vez que há maior coleta de água da chuva se o telhado estiver voltado no sentido dominante dos ventos.

A Tabela 2 mostra alguns valores para o coeficiente de *runoff* encontrados na literatura.

Tabela 2 – Valores de *runoff* para diferentes tipos de cobertura

Autor	Tipo de cCobertura	Coefficiente rRunoff
Khan (2001) apud May (2004)	Telhados verdes	0,27
Tucson (2002) apud May (2004)	Telhado: metal, cascalho, asfalto, fibra de vidro	0,90 a 0,95
Tucson (2002) apud May (2004)	Pavimentação: concreto, asfalto	1,00 a 0,90
Tucson (2002) apud May (2004)	Solo: c/ vegetação s/ vegetação	0,20 a 0,75 0,10 a 0,60
Tucson (2002) apud May (2004)	Gramado: c/ solo arenoso c/ solo barrento	0,05 a 0,10 0,13 a 0,17
Van den Bossche (1997) apud May (2004)	Cobertura plana c/ argila expandida	0,6
Van den Bossche (1997) apud May (2004)	Cobertura plana com betume	0,7 a 0,8
Van den Bossche (1997) apud May (2004)	Telhado inclinado com telha esmaltada	0,9 a 0,95
Khan (2001) apud May (2004)	Plástico	0,94

O adequado dimensionamento do reservatório de armazenamento é crucial para a viabilidade da implantação de um sistema de aproveitamento de águas pluviais, uma vez que ele determinará o volume de água que atenda a demanda requerida com um menor custo de construção e com baixo risco de falha. Existem diversas metodologias propostas que oferecem resultados distintos, mas dependendo do método de dimensionamento utilizado, pode-se chegar a valores proibitivos da capacidade do reservatório quer seja por razões físicas ou econômicas.

A capacidade de estoque depende de diversos fatores tais como a demanda de água a ser utilizada e possível variação sazonal; características dos períodos de estiagem, características de pluviosidade (precipitação total e intensidade); área de coleta disponível; e tipo de material utilizado na superfície de coleta ou cobertura.

A adequação da qualidade da água às exigências dos usos pretendidos é uma condição básica para a implementação de sistemas de exploração do recurso. Para tal, exige-se um conhecimento suficiente sobre suas características e seus efeitos, devendo-se conhecer os riscos que podem apresentar para a saúde e para o meio ambiente. A qualidade da água a ser utilizada, os padrões de potabilidade e o objetivo específico do reuso estabelecerão os níveis de tratamento recomendados, os critérios de segurança a serem adotados, os custos de capital, de operação e de manutenção associados. Ressalta-se que o controle da qualidade da água age na proteção e segurança do usuário da água e dos componentes do sistema de aproveitamento.

A análise da viabilidade de aproveitamento de água pluvial precisa necessariamente avaliar a qualidade do líquido disponível para captação. Entretanto, sabe-se da dificuldade de realizar tais testes sem a existência de aparatos e laboratórios adequados para tal fim, principalmente quanto à variação da qualidade da chuva ao longo de sua duração, uma vez que acontecem mudanças significativas em valores de parâmetros físicos, químicos e biológicos.



De acordo com Peters (2006) entre os fatores que podem influenciar a qualidade da água da chuva podem-se destacar:

- Localização geográfica;
- Proximidade do oceano;
- Proximidade de áreas com vegetação;
- Proximidade de áreas industriais e de mineração;
- Condições meteorológicas;
- Estação climática do ano.

Além destes, influenciam também nos parâmetros qualitativos da água o local de coleta das amostras. Assim, existe diferenciação dos valores dos parâmetros das amostras coletadas sem interferência do material constituinte da área de cobertura, das amostras coletadas após a passagem da água sobre a área de cobertura, após a passagem pelo filtro e entre as amostras coletadas no interior da cisterna. De maneira geral, consideram-se quatro situações: a água ao “lavar” a atmosfera, ao lavar a superfície de captação, no reservatório e no ponto de uso.

Ao “lavar” a atmosfera, a água da chuva carrega substâncias presentes na mesma, como gases e material particulado. A solubilização de gases como gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ), óxidos nitrosos ( $\text{NO}_x$ ) e compostos de enxofre ( $\text{SO}_x$ ) fazem a acidez da chuva aumentar, ocasionando a chuva ácida. Apesar da chuva já ser naturalmente levemente ácida em função da presença destes gases na natureza, o modo de vida e de produção do homem geram emissões de muitos poluentes, inclusive tais gases mencionados. A chuva ácida pode gerar danos a rios, lagos, vegetação, vida aquática e a materiais utilizados nas construções urbanas, inclusive aos materiais e estrutura do sistema de captação.

Um grande potencial de contaminação da água de chuva ocorre na remoção das partículas acumuladas na superfície de captação. Poluentes atmosféricos, poeiras, fuligens, microrganismos patogênicos e até partículas constituintes do material da superfície podem ser encontrados na água que provém da superfície de captação, em concentrações altas nos instantes iniciais da chuva. Tais substâncias afetam substancialmente a qualidade da água, principalmente quanto à cor, turbidez, dureza e condições bacteriológicas e reforçam a necessidade de descarte das águas iniciais.

Segundo May (2004), as principais características físicas analisadas da água são: cor, turbidez, sabor, odor, temperatura e condutividade elétrica. As principais características químicas da água são: pH, alcalinidade, dureza, ferro, magnésio, cloretos, sulfatos, sólidos totais, impurezas inorgânicas, nitratos, oxigênio dissolvido, demanda de oxigênio, fenóis, detergentes e substâncias tóxicas. Já as características biológicas da água são coliformes fecais, coliformes totais entre outros microorganismos e são determinados através de exames bacteriológicos e hidrobiológicos.

A fim de se assegurar níveis seguros dos parâmetros de qualidade para os mais diversos usos, padronizaram-se os valores destes parâmetros em função do grau de pureza tolerada para o uso. Assim, podem-se garantir níveis seguros de substâncias presentes na água para os mais diversos usos.

No Brasil não existe um banco de dados com parâmetros qualitativos da água da chuva. Entretanto há diversos estudos de caracterização da chuva pontualmente, de modo que é possível realizar um levantamento bibliográfico. Peters (2006) elaborou um estudo acerca dos potenciais de reuso de águas pluviais e cinzas, aquelas provenientes de pias, tanques, e ralos, para fins não potáveis em uma residência, e realizou a análise de parâmetros de qualidade da água da chuva coletada em Florianópolis. Realizou ainda uma comparação com dados de alguns trabalhos sobre a qualidade da água da chuva.

Na região de Blumenau (SC), Tordo (2004) apud Cipriano (2004) realizou estudos para avaliar a qualidade da água da chuva utilizando três diferentes materiais na superfície de coleta, a fim de se determinar quais diferenças existem na qualidade da água coletada em função da superfície de coleta. Os materiais usados na superfície eram fibrocimento, cerâmica e metal e os parâmetros medidos: pH, alcalinidade total, cloretos, cor aparente, dureza total, ferro total, sílica, turbidez e coliformes (ver Tabela 3). Os resultados apontaram diferenças nas concentrações de alguns parâmetros. Destaca-se a diferença nos valores de pH e alcalinidade, demonstrando que os telhados de cerâmica e de chapas de zinco provavelmente reagem com a água da chuva.

Tabela 3 – Parâmetros de qualidade em diferentes tipos de telhado

Parâmetros	Fibrocimento	Cerâmica	Metálica (zinco)
pH	6,99	5,73	4,7
Alcalinidade Total (ppm)	37,06	11,73	9,71
Cloretos (ppm)	5,09	3,72	6,85
Cor Aparente (uH)	17,33	18,45	18,71
Dureza Total (ppm)	60,44	21,91	35,14
Ferro Total (ppm)	0,35	0,32	0,23
Sílica (ppm)	3,18	2,92	1,7
Temperatura (°C)	25,22	25,09	25
Turbidez (uT)	2,34	1,7	2,13
Escherichia coli (NMP/100mL)	280,79	236,93	269
Coliformes totais (NMP/100mL)	1453,85	1054,45	934,4

Fonte: Tordo (2004) apud Cipriano (2004)

Jaques *et al.* (2005) realizou estudos em Florianópolis no qual analisou a qualidade da água da chuva, variando o material da superfície e tempo de coleta. Analisou-se também a qualidade da água no reservatório de acumulação. Os materiais usados foram telhado de cimento amianto e telhado cerâmico, enquanto que o reservatório analisado abrigava água de telhados de zinco. Como o objetivo do trabalho era avaliar a possibilidade de destinação da água acumulada para consumo

humano, os parâmetros analisados foram baseados na Portaria 518 do Ministério da Saúde. A Tabela 4 organiza os valores obtidos.

Tabela 4 - Parâmetros de chuva com diferentes coberturas

Parâmetros	Unidade	Cimento Amianto	Cerâmico	Reservatório
Alumínio	mg/L	0,01	0,00	0,00
Amônia (NH <sub>3</sub> )	mg/L	0,83	0,90	0,68
Cloreto	mg/L	11,92	10,90	13,95
Escherichia coli	NMP/100ml	6,14x10 <sup>2</sup>	2,96x10 <sup>2</sup>	1,31x10 <sup>1</sup>
Coliformes totais	NMP/100ml	1,40x10 <sup>3</sup>	1,79x10 <sup>3</sup>	2,49x10 <sup>3</sup>
Cor aparente	mg PtCo/L	30,04	21,07	5,00
Dureza	mg/L CaCO <sub>3</sub>	38,43	16,37	11,78
Ferro	mg/L	0,49	0,21	0,02
Odor	-	Não objetável	Não objetável	Não objetável
Gosto	-	Não objetável	Não objetável	Não objetável
pH	-	7,35	6,49	5,13
Turbidez	UT	8,68	8,24	4,70

Fonte: Jacques (2005)

Os autores verificaram que a maioria dos parâmetros apresenta um decréscimo de concentração em função do tempo, por isso há necessidade de descarte dos primeiros 10 minutos da água de chuva a fim de diminuir a concentração de partículas e elementos poluidores localizados nos telhados que influenciam na elevação de sólidos suspensos, turbidez, cor e coliformes termotolerantes. A presença destes microrganismos deve-se à presença de fezes de animais de sangue quente e cadáveres no telhado, uma vez que a água analisada diretamente da chuva não apresentava valores para este parâmetro. Nota-se um valor bem menor da cor aparente e turbidez da água no reservatório que nos telhados, o que evidencia o efeito da sedimentação ao longo do sistema de coleta e no reservatório.

Foi desenvolvido um estudo na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (May, 2004) acerca da viabilidade do aproveitamento de águas pluviais para fins não potáveis no qual foram analisados alguns parâmetros de qualidade. O levantamento foi feito em uma região onde há intenso fluxo de veículos, principalmente pela marginal do Rio Pinheiros, o que pode ter influenciado os resultados, principalmente quanto sólidos suspensos totais e pH das amostras. A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos no estudo.

Tabela 5 – Parâmetros da água de chuva em São Paulo

Parâmetros	Unidade	Características da água no reservatório		
		Mínimo	Médio	Máximo
DBO5	mg/l	0,3	1,17	3,3
SS	mg/l		1,7	5
SSV	mg/l		1,7	5
SDT	mg/l	5	23,3	77
NO3	mg/l	0,38	3,08	5,9
NO2	mg/l	0,01	0,08	0,26
Fe	mg/l	0,01	0,07	0,52
Cloreto	mg/l	6	12,2	30
Ca	mg/l	2,7	5,12	8,1
Sulfato	mg/l		5,1	16
Cor	uH	15	23	48
Turbidez	UNT	0,3	0,81	2
Alcalinidade	mg/l	12	18,8	30
Condutividade	µS/cm	7,2	25,72	51,1
Dureza	mg/l	7,2	25,72	51,1
Magnésio (Mg)	mg/l	0,4	0,69	1
Manganês (Mn)	mg/l	0,01	0,03	0,07
Fluoretos	mg/l	0,03	0,06	0,1
Sólidos totais (ST)	mg/l	10	25	80
Sólidos T. Voláteis (STV)	mg/l	10	25	80
Sólidos Dissolvidos Voláteis	mg/l	5	23,3	77
Oxigênio Dissolvido (OD)	mg/l	1,5	17,57	34,4

Fonte: May (2004)

Barcelos e Felizzato (2005) publicaram um artigo acerca do aproveitamento das águas atmosféricas da região de Brasília, Distrito Federal. Os autores implantaram um sistema de captação da água de chuva com um filtro de areia e brita antes da entrada da água no reservatório de acumulação, de modo que puderam avaliar a qualidade da água bruta, escoada diretamente da superfície de coleta, e a água tratada, após passar pelo filtro. A utilização do filtro, conforme dados da Tabela 6, deixa os parâmetros de qualidade da água mais aptos a demandas que exigem um nível de potabilidade mais restrito. Percebe-se que a água da chuva bruta é levemente ácida, e ao passar pelo filtro de areia torna-se mais alcalina. A condutividade também é maior na entrada do que na saída, uma vez que é tanto maior quanto maior a quantidade de sólidos na água.

Tabela 6 - Parâmetros de qualidade da água da chuva bruta e tratada.

Parâmetros	Água bruta	Água filtrada
Alcalinidade (mg/l de CaCO <sub>3</sub> )	25	37
pH	6,45	8,2
Cor (u/H)	109	83,5
Turbidez(U.T)	5,79	2,93
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/l)	43,5	41,7
Condutividade (ms/cm)	86,95	75,35
Sólidos Suspensos(mg/l)	33,5	1,2
Sólidos Totais(mg/l)	159,5	76,5
DBO(mg/l)	20	12
Coliforme Fecal (NMP/100ml)	228	27,8

Fonte: Barcelos (2005)

#### 4. DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO

O método de dimensionamento do reservatório para armazenamento da água de chuva utilizado neste estudo parte do balanço de massa do sistema, ou seja, a equação da continuidade aplicada ao volume de controle que é o próprio reservatório de acumulação.

Com dados de entrada como área de coleta, índices pluviométricos locais, coeficiente *runoff* da superfície de coleta, demanda de água e volume do tanque de descarte é possível estabelecer relação entre o volume do reservatório e a garantia do sistema, em termos de dias sem falta de água.

Com base nos resultados do balanço de massa, é possível, a partir de dados específicos de cada caso, realizar uma análise de custo-benefício entre os custos de construção do reservatório e o custo de complementar o abastecimento de água através de outras fontes, que pode não se mostrar armazenada em quantidade suficiente para abastecer a demanda em períodos com baixos índices pluviométricos. É também possível fazer uma análise de risco versus custos de construção e chegar a um volume de reservatório que atenda a demanda com certo risco de falha aceitável.

O cálculo do balanço de massa e da garantia do sistema pode ser feito através do programa EXCEL<sup>®</sup>, para o qual cria-se uma planilha com os dados de entrada indicados na Tabela 7.

Tabela 7 – Dados de entrada para cálculo da garantia do sistema

Dados de Entrada	
Área de Coleta (m <sup>2</sup> )	A
Coeficiente <i>runoff</i>	C
Vol diário demandado (m <sup>3</sup> )	Q dem
Volume do tanque de descarte (m <sup>3</sup> )	Vol desc.
Volume útil do Reservatório (m <sup>3</sup> )	Vol
Volume inicial do reservatório (m <sup>3</sup> )	Vol 0

A vazão de demanda exercida sobre o sistema é transformada em volume diário demandado a fim de se trabalhar com as mesmas unidades. Fornecidos os dados descritos na tabela acima, elabora-se a uma planilha conforme descrito na Tabela 8.

Tabela 8 – Planilha de cálculo

Data	I (mm)	I efetivo (mm)	Chuva efetiva (m <sup>3</sup> )	V entrada no res. (m <sup>3</sup> )	V res. no fim de cada dia (m <sup>3</sup> )	V saída (m <sup>3</sup> )	Dias com falta de Água	Déficit
------	--------	----------------	---------------------------------	-------------------------------------	---	---------------------------	------------------------	---------

Para cada dia, tem-se a precipitação (I) que foi registrada pelos pluviógrafos ou pluviômetros da região. A precipitação efetiva (I efetivo) é encontrada através da multiplicação de (I) pelo coeficiente *runoff*. A partir deste dado e da área da superfície de coleta, tem-se o valor do volume de chuva precipitado apto de ser captado pelo sistema, chamado de chuva efetiva. Para o cálculo do volume que entrará no reservatório de acumulação, é necessário considerar o volume

desviado pelo tanque de descarte. O volume de saída ( $V_{\text{saída}}$ ) corresponde à quantidade diária de água disponível para consumo.

A seguir, tem-se a descrição de cada variável:

- **Precipitação Efetiva (I efetivo):** é o valor de precipitação diária reduzido das perdas por infiltração no telhado e evaporação. Corresponde a  $I \times C$ ;
- **Chuva Efetiva:** É volume de chuva passível de ser aproveitado. Seu valor corresponde a  $(I_{\text{efetivo}} \times A)/1000$ ;
- **Volume entrada no reservatório:** Se o volume de água disponível em cada dia for maior que o volume de água descartado no tanque de descarte, o volume de água que entra no reservatório corresponde à chuva efetiva reduzida do volume descartado;
- **Volume do reservatório no fim de cada dia:** O volume do reservatório no fim de cada dia corresponde ao volume do reservatório no dia anterior acrescida do eventual volume de entrada no reservatório e reduzida da demanda requerida. O seu valor máximo é a capacidade volumétrica do reservatório;
- **Volume de saída:** O volume diário de saída corresponde à demanda requerida já estabelecida, salvo nos dias de déficit hídrico, no qual o volume de saída corresponde ao volume de água no interior do reservatório.
- **Dias com falta de água:** podem-se contabilizar os dias em que houve falta de água através da atribuição do número 1 para os dias nos quais o volume de saída do reservatório é menor que a demanda diária requerida, e do número 0 para os dias em que a água no reservatório é suficiente para atender a demanda. Assim, a soma dos números dessa coluna resulta no montante dos dias com déficit hídrico.
- **Déficit:** Pode-se contabilizar a quantidade de água que faltou para a demanda requerida através da diferença entre a demanda e o volume de água de saída do sistema. A somatória desta diferença resulta no valor total de água demandada que o sistema não pode oferecer e que terá que ter outra fonte a fim de não causar falta de abastecimento.

## 5. ESTUDO DE CASO

Durante o projeto de pesquisa foi elaborado um estudo de viabilidade da implantação de um sistema de captação e aproveitamento de águas pluviais para um conjunto de edifícios do Campus II da Universidade de São Paulo em São Carlos, visando o uso dessa água para irrigação das áreas verdes do Campus.

## 5.1 Área de estudo

A área do Campus II da USP - São Carlos localiza-se na bacia hidrográfica do córrego do Mineirinho, afluente da margem direita do córrego do Monjolinho que atravessa a cidade. Ela está situada ao lado de áreas já urbanizadas.

As regas das áreas verdes acontecem duas vezes por semana com o auxílio de um caminhão com tanque de 5.000 litros. Estima-se que se consumam cerca de 30.000 litros mensalmente. Além disso, o campus possui um viveiro de mudas que subsidia um projeto de reflorestamento, onde se consomem cerca de 1.000 litros mensais.

O conjunto de edifícios para os quais se pretende analisar o sistema de coleta da chuva são os três blocos existentes do curso de Engenharia Ambiental. Cada edifício possui 400 m<sup>2</sup> nas dimensões 20 x 20 m, seu telhado é constituído de chapas metálicas. Atualmente, a água pluvial dos três edifícios é coletada e reunida em um emissorirecionado para o solo, causando problemas de erosão a jusante do ponto de emissão. As Figuras 3 e 4 mostram a planta do Campus II e detalhe dos prédios da Engenharia Ambiental, respectivamente.

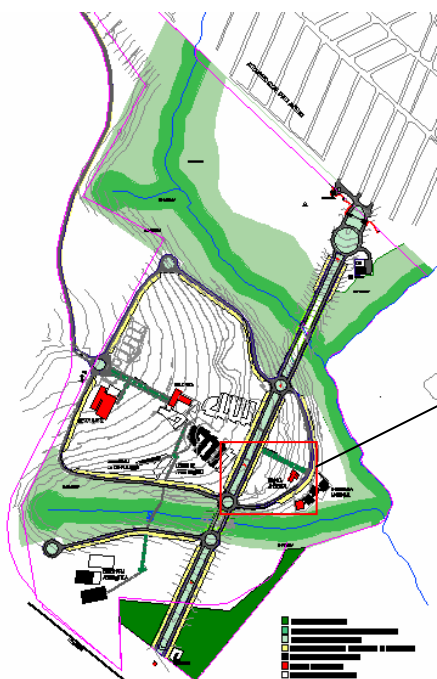


Figura 3 – Planta do Campus II da USP em São Carlos-SP

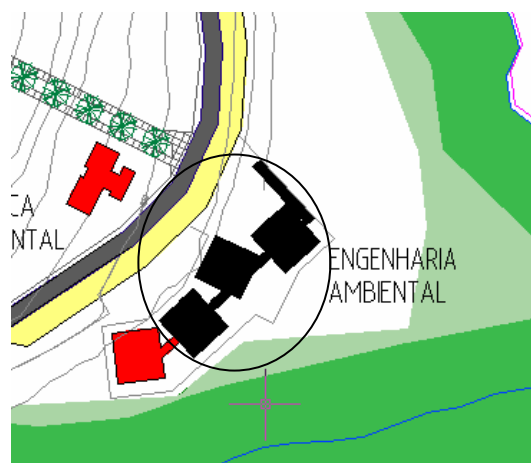


Figura 4 – Conjunto de prédios nos quais se pretende instalar o sistema de captação

Como já existe um sistema de coleta de águas pluviais, não é necessária a intervenção na estrutura do edifício, o que facilita e barateia os custos de implantação do sistema. Próxima à área pretendida, existe disponibilidade de espaço, o que garante uma menor quantidade de tubulações necessárias. A tecnologia de construção considerada para o levantamento dos custos é a de ferrocimento.

## 5.2 Qualidade da Água

A utilização direta da água da chuva para a irrigação de áreas verdes sem o contato humano não é recomendada se feita diretamente, sem qualquer tipo de tratamento. Em locais onde a área de captação corresponde a superfícies além do telhado, como pátios, jardins, parques ou ruas, podem ser encontrados valores de turbidez, DBO e cor aparente além dos valores máximos permitidos. A incompatibilidade da qualidade da água coletada com o uso pretendido provavelmente ocorre em função da contaminação da água por substâncias presentes na própria superfície de coleta. No caso proposto por este trabalho, a coleta da água pluvial para a irrigação será feita utilizando somente o telhado como superfície de coleta, o que já diminui as concentrações de muitos parâmetros que apresentam valores que ultrapassam os valores máximos permitidos. Além disso, conforme visto no item anterior, a utilização de sistemas simples de filtração e descarte das primeiras águas garante a adequação de muitos parâmetros.

De qualquer forma, a fim de se garantir níveis seguros para a utilização, no processo de implantação de um sistema de coleta, armazenagem e utilização das águas pluviais recomenda-se o levantamento da qualidade da água da chuva do local, assim como a alteração que o material da área de coleta pode ocasionar na água que escoar por ela. Além disso, recomenda-se o estudo da possibilidade de sistema simples de tratamento das águas pluviais, através da instalação de tanques de descartes das primeiras águas que escoam pela superfície de coleta e de filtros, para materiais grosseiros como resíduos de plantas, cadáveres de animais e outros materiais.

## 5.3 Quantificação

O dimensionamento do reservatório foi feito em função da precipitação e das condições locais da superfície de coleta. O histórico dos índices pluviométricos foi levantado pela internet no sítio [www.sigrh.sp.gov.br](http://www.sigrh.sp.gov.br). Para o caso em questão, os dados utilizados provêm do posto pluviométrico Monjolinho, inserido no município de São Carlos. A Tabela 9, mostrada a seguir, contém as informações desse posto pluviométrico.

Tabela 9 – Posto pluviométrico Monjolinho

Prefixo:	D4-045
Nome do Posto:	Monjolinho
Município:	São Carlos
Bacia:	Jacaré-Guaçú
Altitude:	660 m
Latitude:	22°02'
Longitude:	47°58'

Para análise da distribuição e da quantidade de chuvas foi utilizada uma série histórica de precipitações diárias compreendida no período de outubro de 1939 a setembro de 1968.

A fim de se analisar a distribuição de chuvas ao longo do ano, foi traçado um gráfico com a média dos totais pluviométricos mensais na Figura 5. Esse gráfico demonstra que há uma



concentração das chuvas nos períodos inicial e final do ano. Apesar de não haver déficit hídrico, com a média anual de precipitação em torno de 1300 mm, a distribuição heterogênea das precipitações indica a necessidade de um reservatório de acumulação para suprir a demanda nos meses de estiagem (abril a setembro).

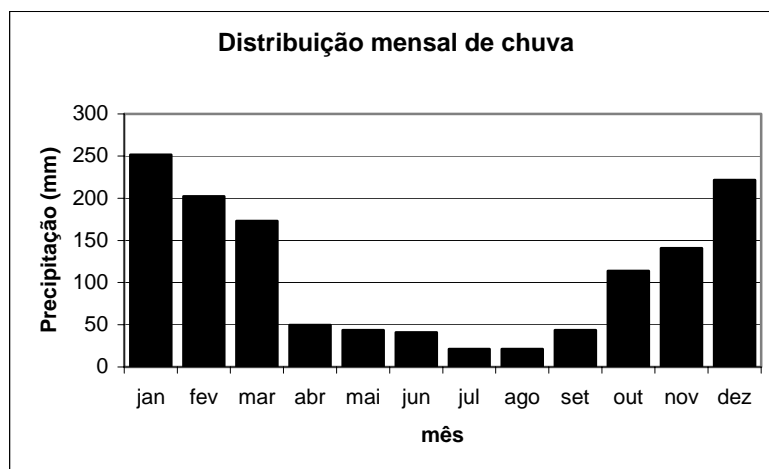


Figura 5 – Médias das precipitações mensais

O dimensionamento do reservatório foi realizado utilizando o método de cálculo descrito no item anterior, que se utiliza do princípio de conservação de massa para realizar o balanço dos fluxos de água, fundamentando-se em uma base histórica de dados pluviométricos. Não foram consideradas perdas da água por evaporação no interior da cisterna. Foram analisados a garantia do abastecimento e o custo de cinco volumes de cisternas, 10, 20, 30, 40 e 50 m<sup>3</sup>. Os dados relativos à área de coleta (telhados) e demais parâmetros das simulações são mostrados na Tabela 10.

Tabela 10 – Dados de entrada das simulações

Área de Coleta (m <sup>2</sup> )	1200
Coefficiente de runoff	0,95
Vol diário consumido. (m <sup>3</sup> )	1
Volume do tanque de descarte (m <sup>3</sup> )	0,1
Volume inicial do reservatório (m <sup>3</sup> )	cheio

Nota-se que, para o tipo de telhado instalado, o coeficiente de *runoff* foi fixado em 0,95 e a soma das áreas dos três edifícios é 1200 m<sup>2</sup>. O volume do tanque de descarte considerado foi de 100 litros. Com base nesses dados de entrada foram calculados os riscos de falha no atendimento da demanda, cujos resultados são mostrados na Tabela 11.

Tabela 11 – Resultados das simulações para os volumes de cisterna analisados

Volume da cisterna (m <sup>3</sup> )	Dias sem água na cisterna no ano	Risco de falha (%)	Garantia de abastecimento (%)	Déficit hídrico anual (m <sup>3</sup> )	Volume anual utilizado de água pluvial (m <sup>3</sup> )
10	126	34,42	65,58	123,8	7000.5
20	85	23,13	76,87	82,5	8185.6
30	66	18,00	82,00	64,4	8725.3
40	54	14,60	85,40	43,9	9079.4
50	43	11,68	88,32	41,5	9388.9

A análise do custo da construção da cisterna foi realizada através de metodologia proposta por Gnadlinger (1997) para cisternas de ferrocimento. O autor criou uma tabela digital na qual os preços dos materiais de construção são atrelados ao volume projetado para a cisterna, de modo que é possível determinar o custo aproximado das cisternas propostas. Esses custos aproximados são apresentados na Tabela 12, onde foram incluídas mais três alternativas: 2 cisternas de 10 m<sup>3</sup>; 2 cisternas de 20 m<sup>3</sup> e 2 cisternas de 30 m<sup>3</sup>. Ressalta-se que os custos de implantação não variam linearmente, uma vez que existem complicações estruturais em cisternas de grandes dimensões que encarecem excessivamente a sua implantação.

Tabela 12 – Custo aproximado das cisternas consideradas

Volume (m <sup>3</sup> )	Quantidade	Custo
10	1	R\$ 387,50
20	1	R\$ 1,165,50
30	1	R\$ 2,462,50
40	1	R\$ 4,278,00
50	1	R\$ 6,612,00
10	5	R\$ 1,938,00
20	2	R\$ 2,331,50
30	2	R\$ 4,925,00

Relacionando os custos de construção com a garantia de abastecimento (Figura 6) pode-se chegar à alternativa mais interessante do ponto de vista técnico-econômico.

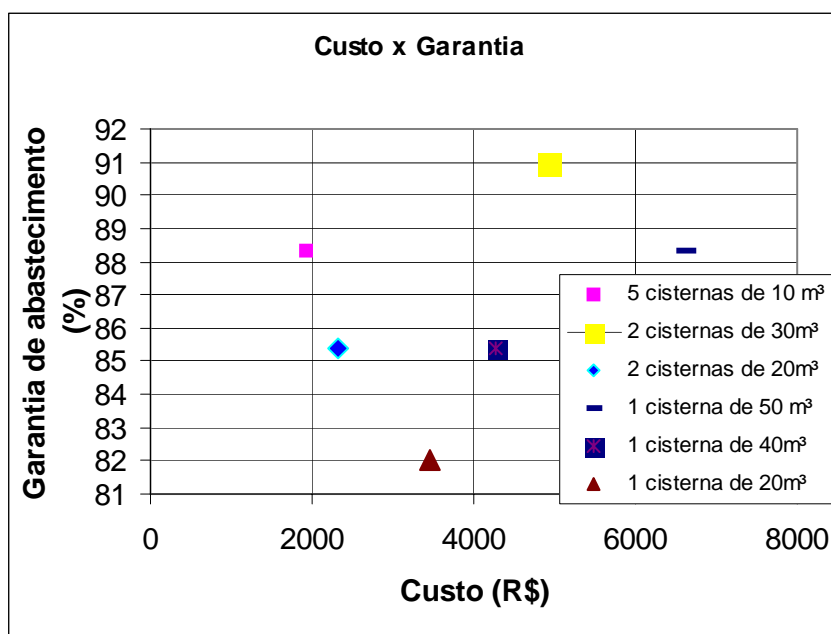


Figura 6 – Relação entre custo e garantia

A partir dos resultados mostrados no gráfico da Figura 6, nota-se que as maiores garantias estão relacionadas com os maiores custos. Assume-se que garantias em torno de 80 e 90% são aceitáveis para o tipo de uso pretendido, uma vez que o abastecimento para as regas pode ser interrompido ou utilizar-se a fonte atualmente usada para o abastecimento do campus (poços

profundos). De qualquer forma, em termos de custos, é melhor instalar 5 cisternas de 10 m<sup>3</sup> do que 1 cisterna de 50 m<sup>3</sup>. Também é melhor 2 de 20 m<sup>3</sup> do que 1 de 20 m<sup>3</sup>. Ambas as soluções estão dentro de uma margem de risco e de custos aceitáveis.

Desta forma, havendo a disponibilidade espacial, é mais interessante realizar a construção de várias cisternas ao invés de uma somente. Assim, além de aproveitar a malha já existente, é possível realizar eventuais reparos ou limpezas em um dos reservatórios enquanto se utiliza os restantes para armazenar água.

## **6. CONCLUSOES E RECOMENDAÇÕES**

O estudo procurou dar embasamento à viabilidade da instalação de um sistema de coleta e aproveitamento de água de chuva. A viabilidade do sistema depende basicamente de três fatores: precipitação, área de coleta e demanda.

O reservatório de acumulação de água de chuva, por ser um dos componentes mais caros do sistema, deve ser calculado levando-se em conta não somente os fatores citados anteriormente, como também a disponibilidade de área para a instalação. Em edificações que estejam em fase de projeto ou construção, o reservatório de acumulação de água de chuva pode estar localizado na edificação de tal forma que resultem menos gastos com tubulações, reservatórios, energia elétrica, bomba de recalque, entre outros.

A água de chuva tem potencial para ser utilizada na irrigação de jardins em parques, escolas, praças, estacionamentos, residências e condomínios, na lavagem de veículos, na lavagem de calçadas e pátios, na limpeza de vasos sanitários, em sistemas de ar-condicionado, em sistemas de combate de incêndios e em outros usos menos nobres que não requerem um alto nível de qualidade. Não havendo a necessidade da utilização de água potável para tais atividades, a coleta e o aproveitamento de água de chuva dispõem de uma série de benefícios, a saber:

- Redução do consumo de água potável fornecida pela companhia de saneamento;
- Conservação da água;
- Potencial redução do risco de enchentes.

O uso de cisternas para complementação no suprimento de água surge como alternativa muito interessante tendo em vista a crescente pressão sobre o uso da água, sendo um sistema relativamente simples e barato. No entanto, um ponto que deve ser ressaltado é a qualidade da água coletada. Antes de sua utilização, a verificação da qualidade e da necessidade de tratamento da água de chuva é fundamental para que não ocorram riscos de saúde aos seus usuários.

A região de São Carlos apresenta um alto nível de pluviosidade, favorecendo o uso de grandes volumes. Apesar disso, a má distribuição de chuvas ao longo do ano implica na adoção de reservatórios (cisternas) para uma maior regularização da vazão a ser consumida.

Para incentivar a coleta e o armazenamento de água de chuva, não basta tentar demonstrar a viabilidade dessa proposta pelo efeito visual e pelos relatos de experiências bem sucedidas. É preciso conscientizar as pessoas sobre a importância da coleta de água de chuva para o consumo humano, agrícola e industrial.

Conhecidas as vantagens da captação pluvial, o próximo passo é torná-la uma realidade. Não em uma ou outra construção, mas num número cada vez maior. Quanto mais água de chuva for captada, menos água potável será consumida, aliviando a pressão sobre os mananciais e disponibilizando-a para outros consumidores.

## 7. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao CNPq e à EESC/USP pela concessão de bolsa de estudos do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC).

## BIBLIOGRAFIA

BARCELLOS, B. R.; FELIZZATO, M. R. (2005). “Aproveitamento das águas atmosféricas”. In Anais do 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campo Grande, 2005, CD-ROM

CIPRIANO, R. F. (2004) *Tratamento das Águas de Chuva Escoadas sobre Telhados e Avaliação do seu Uso*. Dissertação (Mestrado) – URB – Blumenau.

GNADLINGER, J. (1997). “Apresentação técnica de diferentes tipos de cisternas construídas em comunidades rurais do semi-árido brasileiro”. In Anais do 1º Simpósio sobre Captação de Chuva no Semi-Árido Brasileiro. Petrolina, 1997.

JAQUES, R. C.; RIBEIRO, L. F. LAPOLLI, F.R. (2005). “Avaliação da qualidade da água de chuva da cidade de Florianópolis – SC”. In Anais do 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campo Grande, 2005, CD-ROM.

MAY, S. (2004). *Estudo da Viabilidade do Aproveitamento de Água de Chuva Para Consumo Não Potável em Edificações*. São Paulo. 159p. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

OHNUMA Jr., A.A. (2003). *Cenários de Reuso de Água Pluvial e Controle da Drenagem visando a recuperação ambiental da micro-bacia do Alto Tijuco Preto - São Carlos/SP*. 179p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

PALMIER, L. R. (2001) “A necessidade das bacias experimentais para a avaliação da eficiência de técnicas alternativas de captação de água na região semi-árida do Brasil”. In Anais do 3º Simpósio Brasileiro de Captação de Água de Chuva no Semi-Árido, João Pessoa, 2001.

PETERS, M. R. (2006). *Potencialidade de uso de fontes alternativas de água para fins não potáveis em uma unidade residencial*. Dissertação (Mestrado). 109p. UFSC, Florianópolis.

TOMAZ, P. (2001). *Economia de água: para empresas e residências*. Navegar São Paulo-SP, 112p.

VIVACQUA, M.C.R. (2005). *Qualidade da Água do escoamento superficial urbano visando o uso local*. 159 p. Dissertação (Mestrado), Escola Politécnica – Universidade de São Paulo, São Paulo.