

Universidade Federal de Ouro Preto
Programa de Pós-Graduação Engenharia Ambiental
Mestrado em Engenharia Ambiental

Frederico Moyle Baeta de Oliveira

“ APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA PARA FINS
NÃO POTÁVEIS NO CAMPUS DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DE OURO PRETO
OURO PRETO, MINAS GERAIS”

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Ouro
Preto, como parte dos requisitos necessários para a
obtenção do título: “Mestre em Engenharia Ambiental –
Área de Concentração: Saneamento Ambiental”

Orientador: Prof. Dr. Antenor Rodrigues Barbosa Júnior

Ouro Preto, MG

2008

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

O48a

Oliveira, Frederico Moyle Baeta de.

Aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis no Campus da Universidade Federal de Ouro Preto – Ouro Preto, Minas Gerais. [manuscrito] / Frederico Moyle Baeta de Oliveira - 2008. xv, 97f. : il., color; graf.; tabs.; mapas.

Orientador: Prof. Dr. Antenor Rodrigues Barbosa Júnior.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto. Mestrado em Engenharia Ambiental.

Área de concentração: Recursos hídricos.

1. Chuvas - Teses. 2. Água - Qualidade - Teses. 3. Irrigação - Teses. 4. Reservatórios - Teses. I. Universidade Federal de Ouro Preto. II. Título.

CDU: 628.111(815.1)

Catálogo: sisbin@sisbin.ufop.br

 UFOP <small>Universidade Federal de Ouro Preto</small>	Ministério da Educação Universidade Federal de Ouro Preto Programa de Mestrado em Engenharia Ambiental ICEB - Campus – Morro do Cruzeiro Ouro Preto – MG – CEP 35.400-000 Fone: (031)3559-1725 E-mail: proagua@iceb.ufop.br
---	--

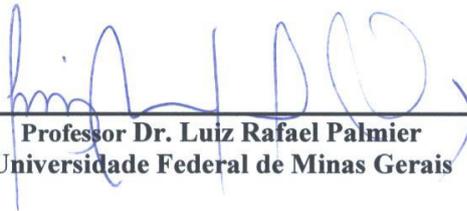
***“Aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis no Campus da
Universidade Federal de Ouro Preto – Ouro Preto, Minas Gerais”***

Autor: Frederico Moyle Baeta de Oliveira

Dissertação defendida e aprovada, em 05 de junho de 2008, pela banca examinadora
constituída pelos professores:



Professor Dr. Antenor Rodrigues Barbosa Júnior - Orientador
Universidade Federal de Ouro Preto



Professor Dr. Luiz Rafael Palmier
Universidade Federal de Minas Gerais



Professor Dr. Carlos Eduardo Ferraz de Mello
Universidade Federal de Ouro Preto

Agradecimentos

Aos meus pais, toda a minha família e amigos, pela força e apoio incondicionais.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Antenor Rodrigues Barbosa Júnior, pela orientação, pelos conselhos e pela paciência.

A minha prima Júlia Moreira Soares de Oliveira, pela colaboração essencial para a realização deste trabalho.

A Prof. Dr. Maria Célia da Silva Lanna, pelo apoio e incentivo, e a todos os funcionários do Laboratório de Microbiologia do ICEB, por toda ajuda durante a realização deste trabalho.

A Universidade Federal de Ouro Preto, pela concessão de bolsa de mestrado.

A todos os professores e funcionários da Universidade Federal de Ouro Preto que contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

Folha de aprovação	3
Agradecimentos	4
Sumário	5
Lista de Figuras	9
Lista de Tabelas	12
Lista de Equações	15
Resumo	16
Abstract.....	17
1-Introdução.....	18
2-Objetivos	22
3-Aproveitamento de Água de Chuva	23

3.1-Histórico	23
3.2-Conceitos e aplicações.....	26
3.3-Sistemas de captação e aproveitamento de água de chuva	33
3.3.1-Sistemas tradicionais	33
3.3.2-Sistemas de captação de água de chuva “in situ”	39
3.4-Qualidade da água de chuva	43
4-Metodologia	46
5-Estudo de caso 1: uso de água de chuva em irrigação de gramado	56
5.1-Characterização da área de estudo	56
5.2-Avaliação da qualidade da água de chuva	58
5.3-Previsão do volume de água de chuva	61
5.3.1-Determinação das precipitações mensais médias e totais anuais na região de Ouro Preto-MG	61
5.3.2-Volume de água de chuva aproveitável	63
5.4-Previsão do consumo de água no gramado	66
5.4.1-Determinação da evapotranspiração de referência (ET _o) para a região de Ouro Preto-MG	66

5.4.2-Determinação da evapotranspiração de cultura (ETc) para o gramado.....	80
5.4.3-Conclusões.....	82
5.5-Dimensionamento do reservatório para captação de água de chuva	83
5.5.1-Diagrama de Rippl para precipitações mensais médias	85
5.5.2-Diagrama de Rippl para ano com menor precipitação total anual	87
5.5.3-Diagrama de Rippl para ano com maior período de estiagem	89
5.6-Discussões	74
6-Estudo de caso 2: Uso de água de chuva para fins não potáveis em instalações prediais	96
6.1-Characterização da área de estudo	96
6.2-Previsão do volume de água de chuva	99
6.3-Previsão do consumo não potável de água.....	101
6.4-Dimensionamento dos reservatórios para captação de água de chuva	104
6.4.1-Prédio do DEMET	105
6.4.2-Prédio do DECAT/DEPRO	106
6.4.3-Prédio do DECIV	107

6.5-Discussões	108
7-Conclusões e recomendações	109
Referências bibliográficas.....	111

Lista de Figuras

Figura 3.1 - Pedra Moabita

Figura 3.2 - Fortaleza de Massada, Israel

Figura 3.3 - Fortaleza dos Templários, Portugal

Figura 3.4 - Cisterna do tipo calçadão

Figura 3.5 - Projeto de captação de água de chuva denominado “1-2-1”

Figura 3.6 - Sistema de aproveitamento de água de chuva

Figura 3.7 - Filtro para água de chuva

Figura 3.8 - Exemplo de mecanismo separador das primeiras águas de chuva

Figura 3.9 - Cisterna de polietileno disponível comercialmente

Figura 3.10 - Cisterna utilizada no nordeste brasileiro para armazenar água de chuva

Figura 3.11 - Sistema de captação de água de chuva do tipo *total flow*

Figura 3.12 - Sistema de captação de água de chuva do tipo *diverter*

Figura 3.13 - Representação do sistema de captação de água de chuva *in situ* com sulcos barrados

Figura 3.14 - Representação do sistema de captação de água de chuva *in situ* com camalhões

Figura 3.15 - Representação da utilização de barragens subterrâneas

Figura 4.1 - Recipiente coletor de água de chuva instalado no ICEB/UFOP

Figura 4.2 - Mapa de temperaturas médias anuais no Brasil, no período de 1931 a 1990

Figura 5.1 - Vista parcial do ginásio poliesportivo/UFOP

Figura 5.2 - Vista parcial do gramado do campo de futebol/UFOP

Figura 5.3 - Panorama geral do Centro Desportivo/UFOP

Figura 5.4 - Precipitações mensais médias na região de estudo no período de 1982 a 2004

Figura 5.5 - Precipitações totais anuais na região de estudo no período de 1982 a 2004

Figura 5.6 - Variação anual média do volume aproveitável de água de chuva no telhado do ginásio/CEDUFOP

Figura 5.7 - Mapa de evapotranspiração anual no Brasil, no período de 1931 a 1990

Figura 5.8 - Diagrama de Rippl para precipitações médias mensais

Figura 5.9 - Diagrama de Rippl para o ano com menor precipitação total anual/1990

Figura 5.10 - Diagrama de Rippl para o ano com maior estiagem/1999

Figura 5.11 – Área sugerida para a construção do reservatório

Figura 5.12 - Representação esquemática de um aspersor rotativo

Figura 6.1-Vista parcial do prédio do Laboratório do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais (DEMET)

Figura 6.2 - Vista parcial do prédio dos Laboratórios dos Departamentos de Engenharia de Controle e Automação de Engenharia de Produção (DECAT/DEPRO)

Figura 6.3 - Vista parcial do prédio do Laboratório do Departamento de Engenharia Civil (DECIV)

Figura 6.4 - Variação anual média dos volumes aproveitáveis de água de chuva para os prédios do DEMET, DECIV e DECAT/DEPRO

Lista de Tabelas

Tabela 4.1 - Relação entre teores de sólidos dissolvidos e valores de condutividade

Tabela 4.2 - Dados da estação pluviométrica de Saramenha

Tabela 5.1 - Informações sobre a área de estudo

Tabela 5.2 - Resultados das análises dos parâmetros de qualidade de água

Tabela 5.3 - Comparação entre os valores médios obtidos e os valores padronizados para os parâmetros analisados

Tabela 5.4 - Precipitações mensais, mensais médias e totais anuais observadas na estação pluviométrica de Saramenha, em Ouro Preto, no período de 1982 a 2004 (valores em mm)

Tabela 5.5 - Coeficientes de runoff adotados em alguns países

Tabela 5.6 - Coeficientes de runoff médios (C), segundo HOFKES e FRASIER (1996)

Tabela 5.7 - Coeficientes de runoff médios (C), segundo WILKEN (1978)

Tabela 5.8 - Volumes médios mensais e anual aproveitáveis de água de chuva

Tabela 5.9 - Dados climáticos de entrada dos métodos de estimativa da ETo

Tabela 5.10 - Dia Juliano

Tabela 5.11 - Valores mensais da distância relativa da Terra ao Sol

Tabela 5.12 - Valores mensais de declinação solar

Tabela 5.13 - Valores mensais de ângulo da hora do pôr do Sol

Tabela 5.14 - Número de horas de dia

Tabela 5.15 - Razão de insolação (n / N)

Tabela 5.16 - Valores mensais de radiação extraterrestre

Tabela 5.17 - Valores mensais de radiação útil de curto comprimento

Tabela 5.18 - Evapotranspiração de referência E_{To} por Turc, 1961

Tabela 5.19 - Evapotranspiração de referência E_{To} por Romanenko, 1961

Tabela 5.20 - Resumo dos valores de E_{To} por Turc e Romanenko, e valor médio entre eles

Tabela 5.21 – Valores genéricos de K_c conforme o consumo

Tabela 5.22 – Valores específicos de K_c conforme o consumo

Tabela 5.23 - Valores de evapotranspiração da cultura (E_{Tc})

Tabela 5.24 - Diferença entre precipitação e evapotranspiração da cultura mensais

Tabela 5.25 - Dados para a construção do digrama de massas de Rippl/Precipitações mensais médias

Tabela 5.26 - Dados para a construção do digrama de massas de Rippl/Ano com menor precipitação total anual (1990)

Tabela 5.27 - Dados para a construção do diagrama de massas de Rippl/Ano com maior estiagem (1999)

Tabela 5.28 - Volumes mensais e anuais aproveitáveis/Anos de 1990 e 1999

Tabela 5.29 - Tabelas de desempenho do aspersor da marca Sempre Verde 360°

Tabela 6.1 - Dados dos prédios dos Laboratórios da Escola de Minas

Tabela 6.2 - Volumes de chuva aproveitáveis dos prédios do DEMET e do DECIV

Tabela 6.3 - Volumes de chuva aproveitáveis do prédio do DECAT/DEPRO

Tabela 6.4 - Consumo específico de água em bacias sanitárias e irrigação de gramados

Tabela 6.5 - Número de pessoas que diariamente utilizam os prédios dos Laboratórios da Escola de Minas

Tabela 6.6 - Consumo não potável de água nos prédios dos Laboratórios da Escola de Minas

Tabela 6.7 - Método de Rippl para dimensionamento do reservatório para o prédio do DEMET

Tabela 6.8 - Método de Rippl para dimensionamento do reservatório para o prédio do DECAT/DEPRO

Tabela 6.9 - Método de Rippl para dimensionamento do reservatório para o prédio do DECIV

Lista de Equações

Equação 5.1 - Volume de chuva aproveitável

Equação 5.2 - Método de Turc para umidade relativa do ar menor que 50%

Equação 5.3 - Método de Turc para umidade relativa do ar maior que 50%

Equação 5.4 - Distância relativa da Terra ao Sol

Equação 5.5 - Declinação solar

Equação 5.6 - Ângulo da hora do pôr do Sol

Equação 5.7 - Conversão de graus para radianos

Equação 5.8 - Número de horas de dia

Equação 5.9 - Radiação extraterrestre

Equação 5.10 - Radiação útil de curto comprimento

Equação 5.11 - Método de Romanenko

Equação 5.12 - Evapotranspiração de cultura

Resumo

A captação de água de chuva é uma técnica milenar, usada em diversos países, podendo ser uma importante estratégia para promover a economia de água e contornar problemas de escassez.

Este trabalho teve como objetivo avaliar a viabilidade do aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis no Campus da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), em Ouro Preto, Minas Gerais.

A precipitação anual média na região de Ouro Preto foi estimada em 1649 milímetros por ano. Análises da qualidade da água de chuva mostraram que esta se enquadra na classe de uso nº 1, definida pela Resolução CONAMA 357, de 2005, sendo própria aos usos previstos neste trabalho.

No primeiro estudo de caso, desenvolvido no Centro Desportivo da instituição, foi considerada a utilização da água de chuva para a irrigação do gramado do campo de futebol, com uma área de 7140 m², utilizando-se como área de captação o telhado do ginásio poliesportivo, com uma área útil de 3190 m². Estimou-se ser possível captar anualmente aproximadamente 4200 m³ de água de chuva do telhado. A previsão do consumo de água do gramado mostrou a necessidade de um suprimento de 760 m³ de água, em média, através da irrigação, entre os meses de maio e agosto. A dimensão do reservatório para a água de chuva, obtida para uma situação crítica (ano da série histórica de precipitações com maior período de estiagem), foi estimada em 1500 m³.

No segundo estudo de caso, desenvolvido nos laboratórios da Escola de Minas, foi considerada a utilização da água de chuva para fins não potáveis (uso em descargas sanitárias). Observou-se que os consumos de água não potável estimados nos prédios da Engenharia Metalúrgica, das Engenharias de Produção e de Controle e Automação e da Engenharia Civil representam, respectivamente, 44%, 89% e 41% dos volumes médios de água de chuva possíveis de serem captados dos respectivos telhados. Os volumes dos respectivos reservatórios, necessários à regularização da demanda, também obtidos para uma situação crítica, foram estimados em 335, 238 e 305 m³.

Ambos os estudos de caso sugerem que a técnica de captação e aproveitamento de água de chuva é eficiente em termos qualitativos e quantitativos.

Abstract

The rainwater harvesting is a milenar technique, used in several countries, showing to be an important strategy to promote water saving and to mitigate water shortage problems.

This work had as purpose to evaluate the rainwater harvesting viability of for non potable uses at the Federal University of Ouro Preto, in Ouro Preto, Minas Gerais.

The average annual rainfall in the area was estimated in 1649 milimeters. The analysis of the rainwater quality showed that it follows the number 1 class of use, defined by the CONAMA 357 Resolution, being proper to the uses forseen in this work.

In the first study of case, developed at the institution's Sports Center, it was considered the use of the rainwater for irrigation of the football pitch, with a 7140 m² area, using as catchment area the gym's roof, with a 3190 m² area. It was estimated that is possible to harvest closely to 4200 m³ per year of rainwater from the roof. The forecast of the lawn's water consumption showed the need of a 760 m³ water supllly through irrigation, between the months of May and August. The capacity of the storage tank for the rainwater, calculated for a critical situation (year of the rainfall data with the longest drought period), was estimated in 1500m³.

In the second study of case, developed at the laboratories of the Escola de Minas, it was considered the use of rainwater for non potable uses (toilet flushing). It was observed that the non potable water consumptions in the buildings of the Metallurgyc Engineering, the Production Engineering and Control and Automation Engineering and the Civil Engineering represent, respectively, 44%, 89% and 41% of the rainwater volumes that are possible to being harvested from the respective roofs. The respective storage tanks, needed to supply the water needs, also calculated for a critical situation, were estimated in 335, 238 and 305 m³.

Both studies of case suggest that the rainwater catchment technique is efficient in terms of quality and quantity.

INTRODUÇÃO

A água exerce notável influência sobre todas as formas de vida existentes no planeta. Sem ela, seria impossível estabelecer as condições necessárias para a existência das espécies, bem como garantir as condições essenciais à manutenção da vida humana. É inquestionável a utilidade da água para o homem. Sua presença é fator determinante para a melhoria de seu bem-estar e o desenvolvimento de suas atividades.

No entanto, embora dois terços da superfície do planeta sejam formados por esse composto químico, a água potável é, na realidade, um recurso escasso. A quantidade de água doce na natureza é limitada a um percentual muito baixo em relação ao total existente no globo.

A problemática da água se agrava à medida que se constata demandas cada vez maiores, com limitado suprimento. O crescimento econômico desordenado, a ocupação não apropriada do solo, a expansão industrial e as atividades agrícolas têm contribuído para tornar a disponibilidade hídrica em certas bacias hidrográficas incompatível com as demandas nas suas múltiplas modalidades de uso. Ademais, o descarte de esgotamentos sanitários e efluentes industriais sem nenhum tratamento, aliados à disposição inapropriada dos resíduos sólidos urbanos e industriais, têm contribuído para degradar a qualidade das águas. Não raro são os casos de racionamento de água devido, principalmente, ao crescimento indisciplinado de certas regiões e à essencialidade da água em termos de serviços e necessidades sociais. Nesse sentido, começa a haver uma preocupação crescente com o futuro dos recursos hídricos, uma vez que a água vem se tornando um bem cada vez mais escasso (FERNANDEZ e GARRIDO, 2002).

Nas regiões áridas e semi-áridas, a água tornou-se um fator limitante para o desenvolvimento urbano, industrial e agrícola. Planejadores e entidades gestoras de

recursos hídricos procuram continuamente novas fontes de recursos hídricos para complementar a pequena disponibilidade hídrica ainda disponível.

Entretanto, o fenômeno da escassez não é atributo exclusivo das regiões áridas de uma grande parte de países e das regiões semi-áridas. Muitas áreas com taxas de precipitações anuais significativas, mas insuficientes para gerar vazões capazes de atender a demandas excessivamente elevadas, também experimentam conflitos de usos e sofrem restrições de consumo que afetam o desenvolvimento econômico e a qualidade de vida (MANCUSO *et al*, 2003).

Atualmente, a agricultura depende do suprimento de água em um nível tal que a sustentabilidade da produção de alimentos não poderá ser mantida sem que critérios inovadores de gestão sejam estabelecidos e implementados a curto prazo. Essa condição é fundamentada no fato de que o aumento da produção agrícola não pode mais ser efetuado por meio da mera expansão de terras cultivadas. Com poucas exceções, em contexto mundial, a terra arável se aproxima muito rapidamente de seus limites de expansão. Ante os problemas econômicos, sociais e ambientais associados ao desenvolvimento de novas áreas, a irrigação passou a constituir elemento prioritário para o aumento da produtividade agrícola (MANCUSO *et al*, 2003).

De acordo com os dados do Banco Mundial (2000), a agricultura brasileira consome cerca de 61%, a indústria 18% e o uso doméstico 21% da água doce utilizada no país. Destaca-se, ainda, que o consumo de água por habitante duplicou nos últimos 40 anos (GUILHERME e MATTOS, 2005).

Nas áreas urbanas, a demanda em ritmo crescente vem sendo sistematicamente reprimida, não só pela redução da disponibilidade específica (pressionada pelo crescimento populacional e pela expansão industrial), como também pela degradação sistemática dos mananciais, ainda passíveis de serem utilizados para usos mais restritivos (MANCUSO *et al*, 2003).

Essas condições têm levado à busca incessante de recursos hídricos complementares de bacias vizinhas, que trazem, como consequência direta, aumentos consideráveis de custos, além dos evidentes problemas legais e político-institucionais associados (MANCUSO *et al*, 2003).

Torna-se evidente que a reversão desse cenário crítico, em termos de suprimento de água, não poderá ser administrada meramente pela atenuação dos conflitos de uso, de estabelecimento de prioridades ou de mecanismos de controle de oferta, tais como os de

outorga e cobrança. Outros mecanismos de gestão deverão ser implantados para se estabelecer o equilíbrio entre oferta e demanda de água (MANCUSO *et al*, 2003).

Nessas condições, o conceito de “substituição de fontes” mostra-se como uma alternativa plausível para satisfazer as demandas menos restritivas, liberando as águas de melhor qualidade para usos mais nobres, como o abastecimento doméstico.

Em 1958, o Conselho Econômico e Social das Nações Unidas estabeleceu uma política de gestão para áreas carentes de recursos hídricos que suporta esse conceito: “a não ser que exista grande disponibilidade, nenhuma água de boa qualidade deve ser utilizada para usos que toleram águas de qualidade inferior.” (MANCUSO *et al*, 2003).

As águas de qualidade inferior, tais como esgotos, particularmente os de origem doméstica, águas de chuva, águas de drenagem agrícola e águas salobras, devem, sempre que possível, ser consideradas como fontes alternativas para usos menos restritivos. O uso de tecnologias apropriadas para o desenvolvimento dessas fontes constitui, hoje, em conjunção com a melhoria da eficiência do uso e controle da demanda, a estratégia básica para a solução do problema da falta universal de água (MANCUSO *et al*, 2003).

Uma nova conceituação vem se afirmando pela importância do reuso na atual gestão da água: a de que a água de reuso é um novo tipo de recurso hídrico. Dentre os objetivos do reuso de água para fins benéficos, encontra-se o uso racional e eficiente da água. Assim, não é mais admissível nos meios técnicos, científicos e políticos dissociar a gestão sustentável dos recursos hídricos do reuso de água (SILVA *et al*, 2003).

Dentre as possíveis finalidades para se utilizar a técnica do reuso de água estão:

- ∅ Irrigação;
- ∅ Reserva de proteção contra incêndios;
- ∅ Paisagismo;
- ∅ Descargas sanitárias em banheiros públicos e em edifícios comerciais e industriais;
- ∅ Lavagem de automóveis;
- ∅ Usos industriais.

Porém, a maior dificuldade para definir reuso de água é saber o momento a partir do qual se admite que ele está sendo feito.

De acordo com a definição apresentada por SILVA *et al* (2003), o reuso de água é o aproveitamento de águas previamente utilizadas – uma ou mais vezes – em alguma

atividade humana, para suprir necessidades de outros usos benéficos, inclusive o original. Pode ser direto ou indireto, bem como decorrer de ações planejadas ou não.

Sendo assim, percebe-se que o termo “reuso” é mais adequado ao aproveitamento de águas residuárias, como esgotos domésticos ou provenientes de atividades em que a água é utilizada para um fim específico, como, por exemplo, fins industriais. Além disso, está vinculada a esse conceito a idéia de que esta água residuária precise passar por algum tipo de tratamento para poder ser reutilizada.

Quando se trata de águas pluviais, o termo “reuso” é muitas vezes aplicado por causa do conceito de que essas águas são residuárias, não por já terem sido utilizadas em atividades humanas, mas porque não teriam mais utilidade ao atingir e escoar pela superfície, incorporando a si diversos resíduos e contaminantes.

No entanto, a contaminação das águas pluviais é bem menor do que a sofrida pelas águas provenientes de atividades humanas. Estudos e experiências com a utilização de águas de chuva mostram que, devido a suas características, o termo mais correto para essa prática seria o “aproveitamento”, ou mesmo simplesmente “uso”.

O aproveitamento de água de chuva é uma prática milenar, utilizada no mundo todo. Além de servir como fonte de água para abastecer pessoas que vivem em áreas áridas e semi-áridas, inclusive para uso potável, a técnica tem se difundido e se consolidado como uma forma de amenizar os diversos problemas sociais e ambientais que o aumento da demanda e a falta de medidas de controle da poluição e de gestão ambiental causam em áreas urbanas e rurais.

O presente trabalho mostra dois estudos de caso sobre aproveitamento de água de chuva no Campus da Universidade Federal de Ouro Preto, em Ouro Preto, Minas Gerais.

No Capítulo 2 são apresentados os objetivos do trabalho.

O Capítulo 3 traz uma revisão bibliográfica sobre a técnica de aproveitamento de água de chuva.

No Capítulo 4 é apresentada a metodologia utilizada na realização do trabalho.

O Capítulo 5 mostra um estudo de caso, no qual é previsto o aproveitamento de água de chuva para irrigação de gramado. O Capítulo 6 mostra um estudo de caso sobre utilização de água de chuva em instalações prediais hidrossanitárias.

No Capítulo 7 são apresentadas as conclusões obtidas com a realização do trabalho e recomendações.

OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é historiar brevemente e apresentar o estado da arte do uso da água de chuva, além de avaliar, qualitativa e quantitativamente, a viabilidade de seu aproveitamento para fins não potáveis no Campus da Universidade Federal de Ouro Preto, em Ouro Preto, Minas Gerais, por meio de dois estudos de caso:

- ∅ Estudo de caso 1: uso de água de chuva na irrigação de gramado

- ∅ Estudo de caso 2: uso da água de chuva para fins não potáveis em instalações prediais hidrossanitárias

APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA

3.1 - Histórico

A coleta de água de chuva tem sido uma técnica popular em muitas partes do mundo, especialmente em regiões áridas e semi-áridas. A coleta de água de chuva foi inventada independentemente em diversas partes do mundo e em diferentes continentes há milhares de anos. Foi usada e difundida especialmente em regiões semi-áridas onde as chuvas ocorrem somente durante poucos meses e em locais diferentes. Uma das inscrições mais antigas do mundo é a conhecida Pedra Moabita (Figura 3.1), encontrada no Oriente Médio, datada de 850 a.C. Nela, o rei Mesha dos Moabitas sugere que seja feito um reservatório em cada casa para aproveitamento de água de chuva (GNADLINGER, 2000).



Figura 3.1 - Pedra Moabita
Fonte: www.pt.wikimedia.org

No palácio de Knossos, na Ilha de Creta, aproximadamente em 2000 a.C., era aproveitada água de chuva para descargas em bacias sanitárias.

Em 2750 a. C., na Mesopotâmia, utilizava-se água de chuva.

Foram descobertos em 1885, em Roma, doze reservatórios subterrâneos com entrada superior. Cada unidade tinha uma capacidade de 98 m³, utilizados para abastecimento público (TOMAZ, 2003).

No Planalto de Loess da China (Província Gansu) já existiam cacimbas e tanques para água de chuva há dois mil anos.

A famosa fortaleza de Massada (Figura 3.2), em Israel, tem dez reservatórios cavados nas rochas com capacidade total de 40 milhões de litros (GNADLINGER, 2000).



Figura 3.2 - Fortaleza de Massada, Israel
Fonte: www.pt.wikimedia.org

Sistemas de aproveitamento de água de chuva também são encontrados nas civilizações pré-colombianas. O México como um todo é rico em antigas e tradicionais tecnologias de coleta de água de chuva, datadas da época dos Aztecas e Maias. Ao sul da cidade de Oxkutzcab, ao pé do Monte Puuc, ainda hoje pode-se ver as realizações dos Maias. No século X, existia ali uma agricultura baseada na coleta de água de chuva. As pessoas viviam nas encostas e sua água potável era fornecida por cisternas com capacidade de 20 mil a 45 mil litros. Essas cisternas tinham um diâmetro de aproximadamente 5 metros e eram escavadas no subsolo calcário, revestidas com reboco impermeável. Acima delas havia uma área de captação de 100 a 200 m². Nos vales usavam-se outros sistemas de

captação de água de chuva, como *Aguadas* (reservatórios de água de chuva cavados artificialmente com capacidade de 10 a 150 milhões de litros) e *Aquaditas* (pequenos reservatórios artificiais para 100 a 50 mil litros) (GNADLINGER, 2000).

Na cidade de Tomar, Portugal, na grande fortaleza e convento dos Templários (Figura 3.3), cuja construção teve início em 1160, existem dois reservatórios para aproveitamento de água de chuva, sendo um com 215 m³ e outro com 145 m³ (TOMAZ, 2003).



Figura 3.3 - Fortaleza dos Templários, Portugal
Fonte: TOMAZ, 2003

O progresso técnico dos séculos XIX e XX ocorreu principalmente nos assim chamados países desenvolvidos, em zonas climáticas moderadas e mais úmidas, sem necessidade de captação de água de chuva. Como consequência da colonização, práticas de agricultura de zonas climáticas moderadas foram implantadas em zonas climáticas mais secas. Além disso, houve uma ênfase na construção de grandes barragens, no desenvolvimento do aproveitamento de águas subterrâneas, e em projetos de irrigação encanada com altos índices de uso de energia fóssil e elétrica; essas são algumas razões

porque as tecnologias de coleta de água de chuva foram postas de lado ou completamente esquecidas (GNADLINGER, 2000).

3.2 - Conceitos e aplicações

O manejo das águas pluviais, historicamente representado por galerias pluviais, canais e áreas de retenção, vem, nas últimas duas décadas, recebendo em muitos países do mundo a complementação por medidas como captação direta dos telhados, retenção temporária, aproveitamento e reinjeção no subsolo da chuva (KITAMURA, 2004).

Segundo MAY (2004), técnicas baseadas em práticas antigas e tradicionais, com uso de materiais modernos ou novas tecnologias, são chamadas de “técnicas de gestão de águas de chuva”, sendo as seguintes as mais representativas:

- Redução da evaporação
- Coleta de água de chuva
- Coleta de água de escoamento superficial
- Recarga artificial de aquíferos subterrâneos
- Conservação da umidade em solos
- Previsão de água de chuva para a agricultura.

A captação e o aproveitamento de água de chuva podem ser feitos visando dois objetivos diferentes:

- Contenção de excesso de água e escoamento superficial;
- Suprimento da demanda de água para diferentes fins.

A urbanização trouxe mudanças no ciclo hidrológico nas áreas urbanas. O aumento das áreas impermeabilizadas fez com que as áreas urbanas perdessem as funções de infiltração e armazenagem da água da chuva.

A utilização da água da chuva é considerada uma importante medida de controle contra a falta e o excesso de água, sendo bastante eficiente no controle do escoamento superficial e restauração do ciclo hidrológico em áreas urbanas (ZAIZEN *et al*, 1999).

Segundo FENDRICH e OLIYNIK (2002), além da coleta de águas pluviais promover a redução das enchentes, sua infiltração no solo pode trazer melhorias ambientais, garantindo suprimento de água no lençol freático e mantendo vazões adequadas nos rios em períodos de seca, colaborando para a diminuição da poluição hídrica e aumentando seu poder de autodepuração.

A água de chuva captada e armazenada poder ser utilizada para vários fins, tais como

- irrigação,
- uso em descargas sanitárias,
- lavagem de pátios e automóveis,
- ornamentação,
- usos industriais, entre outros.

Com a captação de água de chuva, em pequena ou grande escala, pode-se reduzir significativamente a demanda de água superficial ou subterrânea para irrigação. Segundo BRUNET (2001), aproximadamente 40% da água utilizada em áreas urbanas são destinados à irrigação.

O custo baixíssimo da água nas cidades, pelo menos para residências, inviabiliza qualquer aproveitamento econômico da água de chuva para beber. Já para as indústrias, para as quais a água é bem mais cara, é usualmente viável esse uso (NOGUEIRA, 2007). Nas indústrias e estabelecimentos comerciais, a água de chuva pode ser utilizada para resfriamento de telhados e máquinas, climatização interna, lavanderia industrial e limpeza industrial.

Esta utilização é especialmente indicada para o ambiente rural, chácaras, condomínios e indústrias. Sistemas completos de captação de água de chuva, capazes de prover água de acordo com a demanda total para uso doméstico, são encontrados principalmente em zonas rurais, por causa do tamanho e da área requerida para a construção dos reservatórios (BRUNET, 2001).

Segundo BAÚ (1991) apud MAY (2004), a utilização de água de chuva torna-se atraente nos seguintes casos:

- Áreas de precipitação elevada;
- Áreas com escassez de abastecimento;
- Áreas com alto custo de extração de água subterrânea;
- Áreas com distribuição muito irregular das chuvas, com grandes períodos de estiagem.

Os principais benefícios da coleta e aproveitamento de água de chuva são:

- Economia de água proveniente dos sistemas de tratamento e distribuição destinada a usos não potáveis ou menos exigentes;
- Controle do escoamento superficial;
- Prevenção de enchentes;
- Conservação da água;
- Disponibilização da água para usos diversos em regiões com escassez de água.

Os propósitos, conhecimentos e tecnologias das técnicas de aproveitamento de água de chuva variam de país para país. Mais do que as razões operacionais, o maior obstáculo ao uso disseminado dessas técnicas está relacionado com a falta de um gerenciamento eficiente da água.

Segundo a Organization of American States (1997) apud MAY (2004), 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 já existentes.

Segundo PALMIER (2003), apud VIEIRA e COIADO (2005), as técnicas de captação de água de chuva ainda não são aplicadas de forma sistemática no Brasil, e são estes os erros freqüentes nesse tipo de projeto:

- Falta de uma legislação adequada, para o uso de tais técnicas de captação de água de chuva;
- Incompatibilidade das técnicas de captação de água de chuva com as estratégias tradicionais de produção de alimento. Algumas tecnologias podem não ser apropriadas para algumas regiões. Em alguns casos tais projetos requerem mão-de-obra intensiva para construção e manutenção e dependem do uso de máquinas pesadas, geralmente não disponíveis em etapas posteriores do projeto;
- A falta de treinamento de mão-de-obra rural em atividades relacionadas ao projeto, construção e manutenção pode tornar os usuários dependentes de técnicos e incapazes de compreender os parâmetros técnicos dos projetos - por exemplo, intensidade de chuvas, coeficientes de escoamento superficial, etc.

No entanto, apesar das dificuldades, algumas iniciativas na área do aproveitamento de chuva estão sendo adotadas no Brasil, principalmente no Semi-árido nordestino.

No estado de Pernambuco, uma tecnologia desenvolvida pela Diaconia (instituição religiosa) capta água da chuva no nível do solo e a conduz à cisterna tipo “calçadão” (Figura 3.4), onde, devidamente tratada, é consumida nos meses secos. Essa solução simples vem aprimorando e aperfeiçoando a captação de água no atendimento às famílias mais pobres, que não dispõem em suas casas de telhado com o tamanho recomendado para satisfazer as necessidades básicas de uma família.

Seu principal objetivo é prover as famílias mais pobres das áreas rurais de segurança hídrica para beber, cozinhar e higiene do corpo (com exceção do banho), durante o verão e os períodos de seca. O Ministério do Desenvolvimento Agrário instalou essas cisternas em 13 municípios do sertão pernambucano. O custo de cada uma é de R\$ 1.400 (VIEIRA e COIADO, 2005).



Figura 3.4 - Cisterna do tipo calçadão
Fonte: VIEIRA E COIADO, 2005

A ASA, Articulação no Semi-Árido Brasileiro, que é um fórum de organizações da sociedade civil do qual fazem parte mais de 700 entidades dos mais diversos segmentos, como igrejas católicas e evangélicas, ONG's de desenvolvimento e ambientalistas, associações de trabalhadores rurais e urbanos, associações comunitárias, sindicatos e federações de trabalhadores rurais, iniciou, em julho de 2003, o Programa de Formação e Mobilização Social para a Convivência com o Semi-Árido: um Milhão de Cisternas Rurais - P1MC. O objetivo do P1MC é beneficiar cerca de 5 milhões de pessoas em toda região semi-árida, com água potável para beber e cozinhar, através das cisternas de placas.

Cada cisterna tem capacidade de armazenar 16 mil litros de água. Essa água é captada das chuvas, através de calhas instaladas nos telhados. As cisternas são construídas por pedreiros das próprias localidades, formados e capacitados pelo P1MC, e pelas próprias famílias, que executam os serviços gerais de escavação, aquisição e fornecimento da areia e da água. Os pedreiros são remunerados e a contribuição das famílias nos trabalhos de construção se caracteriza como a contrapartida no processo. Se a água da

cisterna for utilizada para beber, cozinhar e escovar os dentes, dura, aproximadamente, oito meses.

Até abril de 2007, foram construídas 190.300 cisternas e 1.018 municípios foram atendidos pelo programa (Fonte: www.asabrazil.org.br).

Outro país em desenvolvimento que apresenta um exemplo bem sucedido da utilização da água de chuva é a Tailândia. Segundo FENDRICH e OLIYNIK (2002), não há nenhum grande rio nas áreas agrícolas na região nordeste desse país. Recentemente, uma organização não-governamental, a Associação de Desenvolvimento da População (ADP), promoveu o desenvolvimento da área, por meio da instalação de reservatórios de água pluviais. As atividades da ADP, que são financiadas pela Alemanha e pela Austrália, permitiram a instalação de 12 milhões de reservatórios de águas pluviais na Tailândia.

No Quênia, a escassez de fontes de água potável faz com que, em certas regiões, as populações precisem buscar água em locais distantes. O Plano de Auxílio, que é uma ajuda internacional de organizações não-governamentais, fornece ajuda financeira às famílias para a instalação de reservatórios de águas pluviais, a fim de reduzir o problema do transporte de água (FENDRICH e OLIYNIK, 2002).

Em países desenvolvidos, as técnicas de uso de água de chuva são mais disseminadas, principalmente devido a fatores econômicos. Alta demanda de água potável, altos custos com tratamento e captação, problemas decorrentes da alta taxa de urbanização e impermeabilização do solo fazem com que as práticas de coleta e aproveitamento de água de chuva sejam medidas de gestão de recursos hídricos muito utilizadas em diversos países, tais como Estados Unidos, Alemanha e Japão.

A Environmental Protection Agency (EPA) – Serviço de Proteção Ambiental americano, aponta, nos Estados Unidos, a existência de mais de 200 mil reservatórios para o aproveitamento de água de chuva. No estado da Califórnia, são oferecidos financiamentos para a construção de sistemas de captação de água de chuva (TOMAZ, 2003).

Em muitas cidades da Alemanha, lençóis confinados são recursos hídricos utilizados para o abastecimento de água. Neste país, a utilização de água de chuva começou nos anos 80 do século XX, como medida para se conservar as águas subterrâneas e garantir o suprimento de água (FENDRICH e OLIYNIK, 2002). Segundo HERRMANN e SCHMIDA (1999), o mercado de produtos relacionados ao uso de água de chuva vem crescendo em tamanho e importância econômica nos últimos anos no país. Durante a

década de 90 do século XX, foram instalados mais de 100 mil modelos de reservatórios comerciais para utilização de água de chuva.

Na cidade de Hamburgo é concedido gratuitamente cerca de 1.500 a 2.000 dólares a quem aproveitar água de chuva, obra que também servirá para conter picos de enchentes (TOMAZ, 2003).

No Japão, segundo ZAIZEN *et al* (1999), desde 1985 é realizada a coleta da água de chuva de domos de grandes estádios, como os das cidades de Tokyo, Nagoya e Fukuoka para fins de aproveitamento e de contenção de picos de escoamento superficial.

A fim de evitar enchentes, o regulamento da área metropolitana de Tokyo obriga, desde o ano de 1993, a instalação de reservatórios de retenção (piscinões) em áreas de terreno maiores que 10 mil m², ou quando o edifício tenha mais que 3 mil m² de área construída (TOMAZ, 2003).

Na China, no Estado de Gansu, foi lançado pelo governo, em 1986, o Programa Tecnológico de Pesquisa e Desenvolvimento, que incluiu também o uso e captação de água de chuva para amenizar a escassez de água e deslanchar o desenvolvimento das áreas semi-áridas do país. Com isso, surgiu um programa denominado “1-2-1” (Figura 3.5), que visava o aproveitamento de água de chuva para fins potáveis e para irrigação em pequenas propriedades rurais. Até o final de 2004, mais de dois milhões de tanques para armazenar água de chuva foram construídos somente no Estado de Gansu (GNADLINGER, 2004).

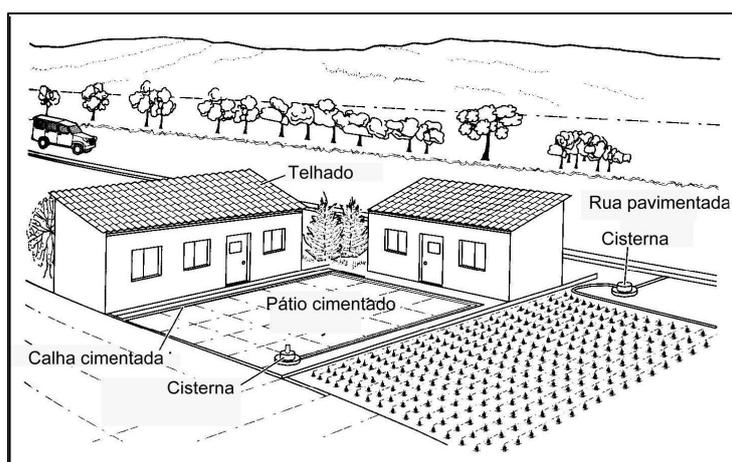


Figura 3.5 - Projeto de captação de água de chuva denominado “1-2-1”
Fonte: GNADLINGER, 2004

Segundo PNUMA (2001), *apud* MAY (2004), na Holanda a água de chuva é coletada para evitar o transbordamento dos canais que rodeiam o país, situado abaixo do nível do mar. A água armazenada é utilizada na irrigação de lavouras e abastecimento de fontes ornamentais.

3.3 - Sistemas de captação e aproveitamento de água de chuva

3.3.1 - Sistemas tradicionais

Os sistemas tradicionais de captação e aproveitamento de água de chuva são compostos, basicamente, por uma área de captação da água de chuva, que é dirigida a um reservatório por meio de calhas e tubos condutores para então ser direcionada a sistemas de distribuição. Antes de chegar ao reservatório, a água de chuva deve passar por um mecanismo de limpeza para a remoção de impurezas. A água captada e armazenada com o uso desses sistemas pode ter fins múltiplos, tais como utilização em residências, irrigação, entre outros. A Figura 3.6 mostra, esquematicamente, um sistema de aproveitamento de água de chuva em uma área urbana e seus respectivos fins.

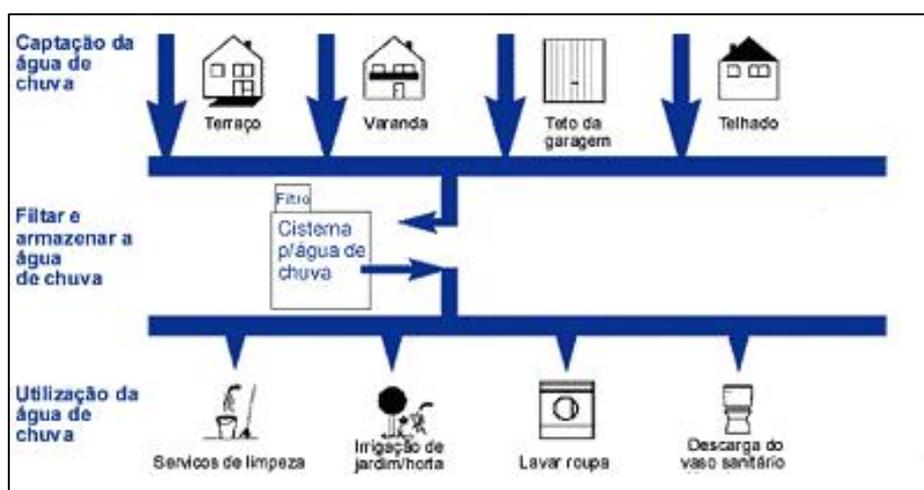


Figura 3.6 - Sistema de aproveitamento de água de chuva
Fonte: www.aguadechuva.com

A seguir são descritos os principais componentes de um sistema de captação e aproveitamento de água de chuva:

Ø Área de captação

Geralmente são os telhados de casas, prédios ou indústrias. Podem ser telhas cerâmicas, telhas de fibrocimento, telhas de zinco, galvanizadas, telhas de concreto armado, telhas de plástico, telhado plano revestido com asfalto etc. O telhado pode ser inclinado ou plano (TOMAZ, 2003).

Outras superfícies de captação podem ser ruas, calçadas e pátios.

Ø Calhas e condutores

Conduzem a água captada ao reservatório. Podem ser de PVC ou materiais metálicos. Peneiras podem ser acopladas nas calhas, a fim de evitar o carreamento de folhas ou materiais sólidos de maior porte que por ventura possam estar presentes na área de captação.

Ø Mecanismos de limpeza da água

A água das primeiras chuvas “lava” os telhados ou pisos, carregando todo tipo de impurezas, dissolvidas, suspensas, ou simplesmente arrastadas mecanicamente. Por isso, antes de atingir o reservatório, a água deve passar por um mecanismo de limpeza. Esses podem ser mecânicos ou automáticos.

Os mais utilizados são os filtros e os reservatórios de auto-limpeza (mecanismo separador das primeiras águas de chuva). A Figura 3.7 mostra o esquema de um filtro disponível comercialmente e a Figura 3.8 exemplifica um sistema separador das primeiras águas de chuva.

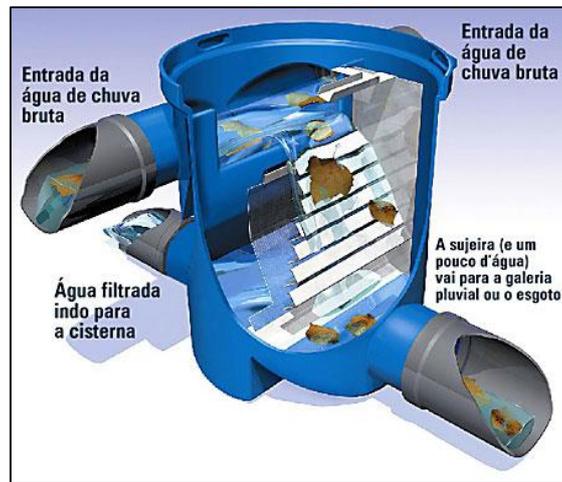


Figura 3.7 - Filtro para água de chuva
 Fonte: www.bellacalha.com.br



Figura 3.8 - Exemplo de mecanismo separador das primeiras águas de chuva
 Fonte: www.aguadechuva.com

Ø Reservatórios

Muitas vezes chamados de cisternas, têm como objetivo armazenar a água captada para posterior utilização. Podem ser feitos de vários materiais, como concreto armado, alvenaria, plástico, poliéster etc. Podem ser apoiados, enterrados ou elevados.

Geralmente, o reservatório é a parte mais onerosa de um sistema de captação de água de chuva, devido à área necessária à sua construção, para que possa armazenar volumes significativos de água.

As Figuras 3.9 e 3.10 mostram, respectivamente, exemplos de dois tipos de reservatórios: um disponível comercialmente no mercado, e outro mais simples, utilizado na região Nordeste do Brasil.



Figura 3.9 - Cisterna de polietileno disponível comercialmente
Fonte: www.bellacalha.com.br



Figura 3.10 - Cisterna utilizada no nordeste brasileiro para armazenar água de chuva
Fonte: VIEIRA E COIADO, 2005

Ø Extravasor

Deve ser instalado um extravasor (ladrão) no reservatório. O extravasor deve possuir dispositivo para evitar a entrada de pequenos animais.

Ø Sistemas de distribuição da água

Têm como objetivo fornecer e disponibilizar a água armazenada para os diferentes fins de aproveitamento. Podem ser: canais e sistemas de irrigação, canos, bombas, torneiras, válvulas etc.

HERRMANN e SCHMIDA (1999) descrevem dois tipos de sistemas de captação de água de chuva, mostrados, respectivamente, nas Figuras 3.11 e 3.12:

1) Tipo *total flow* (Figura 3.11): A água que escorre pelo telhado é limpa mecanicamente por meio de um filtro ou uma peneira. O volume total de água que escorre pelo telhado é armazenado em um reservatório após passar pelo filtro ou peneira. Quando o reservatório se enche, o volume sobressalente é direcionado ao sistema de esgotos. É considerado o sistema mais eficiente, pois toda a água captada chega ao reservatório.

2) Tipo *diverter* (Figura 3.12): Possui um sistema separador, logo após a calha, que desvia uma certa fração do volume total captado do telhado para o sistema de esgotos. Esses sistemas são típicos do período no qual o único objetivo do uso da água da chuva era economizar água potável.

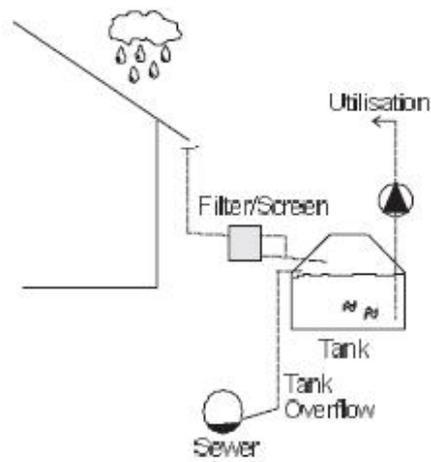


Figura 3.11 - Sistema de captação de água de chuva do tipo *total flow*
 Fonte: HERRMANN e SCHMIDA, 1999

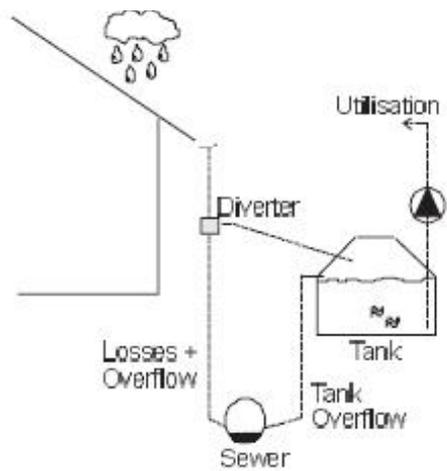


Figura 3.12 - Sistema de captação de água de chuva do tipo *diverter*
 Fonte: HERRMANN e SCHMIDA, 1999

3.3.2 - Sistemas de captação de água de chuva *in situ*

Os sistemas de captação de água de chuva *in situ* destinam-se ao aproveitamento da água na agricultura, sendo muito utilizados no semi-árido brasileiro.

Esses sistemas consistem na modificação da superfície do solo, de maneira que o terreno entre as fileiras de cultivo sirva de área de captação. Essa área apresenta uma inclinação que intensificará a produção de escoamento, ao mesmo tempo em que o conduzirá para a porção de solo explorada pelo sistema radicular da cultura (PORTO, 1999).

As principais vantagens dessa tecnologia são:

- Ø a produção de escoamento por unidade de área é mais eficiente;
- Ø não requer maquinário pesado para sua implementação;
- Ø é de fácil construção no campo;
- Ø os investimentos são baixos.

A capacidade de retenção de umidade do solo é fator extremamente importante para o sucesso dessa tecnologia, pois de nada vale produzir um excedente de água, se este não for absorvido pelo solo. Portanto, textura, estrutura, porosidade e profundidade do solo são características indispensáveis no planejamento desse sistema (PORTO, 1999).

Por outro lado, a adição de alguns produtos na área explorada pelo sistema radicular - tais como: adubo verde, esterco, resíduos de culturas e compostos - pode ser feita com a finalidade de melhorar a capacidade de retenção de umidade do solo (PORTO, 1999).

A seguir são descritos alguns dos principais sistemas de captação de água de chuva *in situ* utilizados no semi-árido brasileiro:

1) Sulcos barrados

O sistema de captação de água de chuva *in situ* com sulcos barrados, representado na Figura 3.13, foi desenvolvido pela Embrapa Semi-Árido, e consiste de uma aração e sulcamento do solo com 0,75 m de distância entre sulcos, seguidos da operação de barramento, que consiste na confecção de pequenas barreiras dentro do sulco, com a

finalidade de impedir o escoamento superficial da água de chuva O barramento dos sulcos deve ser realizado antes da semeadura (ANJOS *et al*, 1999).

A principal vantagem do sistema é que o uso de barrador de sulcos pode ser adaptado a diversos sistemas de cultivo, seja em regime de sequeiro ou sob irrigação, pois o porte S *et al*,
1999).

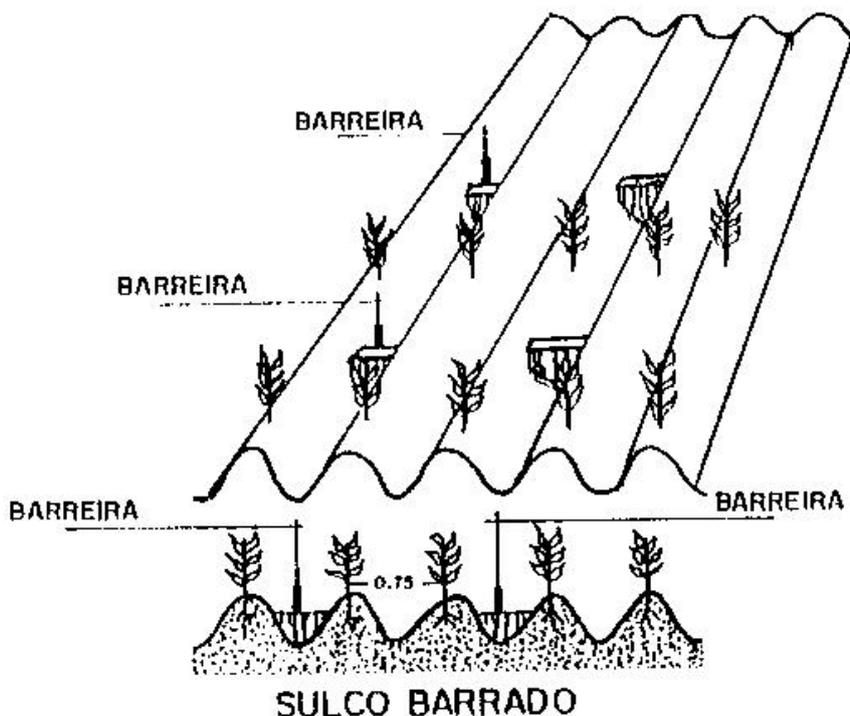


Figura 3.13 -Representação do sistema de captação de água de chuva *in situ* com sulcos barrados
Fonte: ANJOS *et al* (1999)

2) Camalhões inclinados ou sistema W

O sistema de captação de água de chuva *in situ* com camalhões inclinados ou W, representado na Figura 3.14 consiste de uma aração, seguida de sulcamento da área de captação de água e dos camalhões onde se faz o plantio, os quais são efetuados em uma só operação. É uma técnica pouco conhecida que apresenta um grande potencial para ser utilizada extensivamente no semi-árido brasileiro.

Para implantação dessa técnica, adaptam-se dois sulcadores, distanciados entre si de 0,75 m, por ser o espaçamento que mais se adapta ao trabalho efetuado com o chassi porta-
implementos com rodas (pneus), determinando, assim, o camalhão da área de plantio. A inclinação da área de captação de água é feita alongando-se as asas externas dos

sulcadores. Várias passagens sucessivas do equipamento no terreno dão origem ao sistema de captação de água de chuva *in situ* de forma em “W” (ANJOS *et al*, 1999).

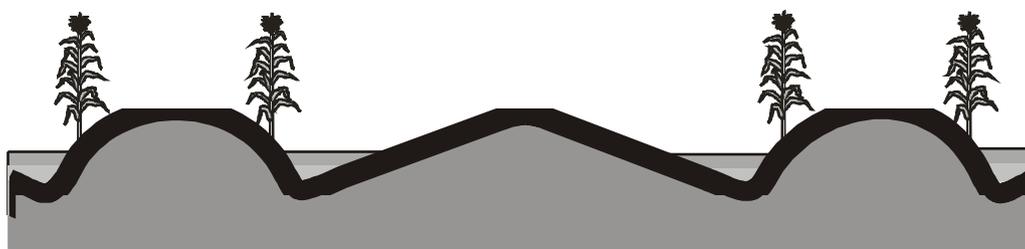


Figura 3.14 -Representação do sistema de captação de água de chuva *in situ* com camalhões inclinados
Fonte: ANJOS *et al* (1999)

3) Barragens subterrâneas

A barragem subterrânea nada mais é do que uma estrutura construída para deter o fluxo horizontal de água subterrânea que ocorre no perfil do solo. Através do balanço hídrico, se tem conhecimento do total de chuva que chega à superfície do solo. Parte retorna para a atmosfera, através da evaporação direta ou pela transpiração das plantas, parte escoar na superfície do solo, podendo ser armazenada superficialmente, e parte se infiltra indo formar os lençóis freáticos.

O deslocamento da água, tanto na superfície como no interior do perfil do solo, se dá por conta da formação de um gradiente hidráulico, e esse movimento pode se dar no sentido horizontal, vertical ou em ambos. Portanto, o fundamento básico da barragem subterrânea é a criação de um septo ou parede impermeável, transversal ao deslocamento horizontal do fluxo (PORTO, 1999).

Este tipo de barragem só deve ser construída em terrenos de aluvião. Esse tipo de solo é formado pela sedimentação das partículas sólidas que são transportadas pelos escorrimentos superficiais durante o período de chuvas, constituindo camadas contínuas ou bolsões de largura e espessura variáveis.

O septo impermeável é o principal componente da tecnologia. Para construí-lo, abre-se uma valeta no aluvião apropriado, com largura suficiente para um homem entrar,

ou da pá do equipamento utilizado. Essa valeta deve ter a profundidade limitada pela camada impermeável do perfil do solo, que geralmente é a rocha matriz. Depois de aberta a valeta, coloca-se uma lâmina de plástico na vertical, ou constrói-se uma parede de pedra ou de argila bem compactada. A parede é construída no centro da valeta. No caso do septo feito com plástico ou de pedra, ficam espaços entre o septo e a parede do perfil do solo. Esse espaço deve ser preenchido com o material retirado da escavação. Ao nível da superfície do solo, deve-se construir uma pequena parede, com 0,5 m de altura, para reter o fluxo superficial (PORTO, 1999).

A Figura 3.15 exemplifica a aplicação da técnica de barragem subterrânea.

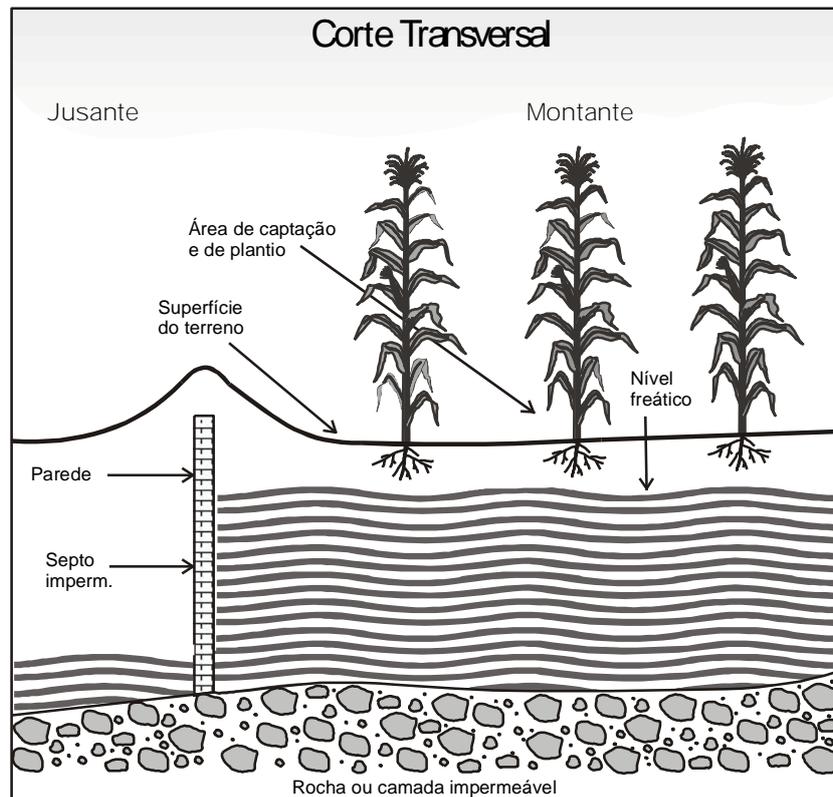


Figura 3.15 -Representação da utilização de barragens subterrâneas
Fonte: PORTO (1999)

Segundo PORTO (1999), desde 1996 essa tecnologia foi muito difundida no semi-árido brasileiro. Só no estado de Pernambuco, foram construídas, no ano de 1999, mais de 200 barragens subterrâneas.

3.4 - Qualidade da água de chuva

A qualidade da água é resultante de fenômenos naturais e da atuação do homem. Devido às suas propriedades de solvente e à sua capacidade de transportar partículas a água incorpora a si diversas impurezas, as quais definem sua qualidade (SPERLING, 1996).

Não existe água pura na natureza, a não ser as moléculas de água presentes na atmosfera na forma de vapor. Assim que ocorre a condensação, começam a ser dissolvidos na água, por exemplo, os gases atmosféricos (BRAGA *et al*, 2005). Os diversos componentes presentes na água, que alteram o seu grau de pureza, podem ser retratados em termos de suas características físicas, químicas e biológicas. Estas características podem ser traduzidas na forma de parâmetros de qualidade de água (SPERLING, 1996). As principais características da água podem ser expressas como:

- Características físicas: associadas, em sua maior parte, aos sólidos presentes na água.
- Características químicas: podem ser interpretadas por meio de uma das duas classificações: matéria orgânica ou inorgânica.
- Características biológicas: os seres, vivos ou mortos, presentes na água. Geralmente associadas aos microorganismos.

A qualidade da água da chuva pode ser encarada em quatro etapas (TOMAZ, 2003):

- Antes de atingir o solo;
- Após atingir e escorrer pelo telhado ou outra superfície coletora;
- Dentro do reservatório;
- No ponto de uso.

A composição da água da chuva varia de acordo com a localização geográfica, as condições meteorológicas (intensidade, duração e tipo de chuva, regime de ventos, estação do ano etc), com a presença ou não de vegetação e também com a presença de carga poluidora (TOMAZ, 2003).

Antes de atingir o solo, os principais elementos que podem estar presentes na água de chuva são gases presentes na atmosfera, tais como dióxido de enxofre (SO₂) e óxidos de nitrogênio (NO_x), provenientes de fontes de poluição atmosférica, e elementos tais como sódio, potássio e cloro, nas proximidades dos oceanos e elementos de origem terrestre.

No entanto, após atingir e escoar pelo solo ou pela superfície coletora, a água da chuva pode ser contaminada com matéria orgânica, sólidos e microorganismos, tendo sua qualidade deteriorada. Alguns exemplos de contaminantes são: fezes de aves, poeiras, folhas, revestimento do telhado, tintas etc (TOMAZ, 2003).

Outro fator que pode influenciar a qualidade da água da chuva é o material do qual é feito o telhado. Segundo BRUNET (2001), do ponto de vista microbiológico, o material ideal para a construção de telhados, para um melhor aproveitamento, é o metal, o qual se aquece muito quando exposto ao sol, fazendo com que os patógenos não consigam sobreviver. Segundo TERRY (2001), *apud* TOMAZ (2003), os melhores telhados quanto ao aspecto bacteriológico são, na ordem:

Metálico > fibrocimento > plásticos > telhas cerâmicas

No entanto, segundo NOGUEIRA (2007), após o início da chuva, somente as primeiras águas carregam ácidos, microorganismos e outros poluentes atmosféricos, sendo que normalmente após pouco tempo a mesma já adquire características de água destilada, que pode ser coletada em reservatórios fechados. A maioria dos autores afirma que um volume inicial correspondente aos primeiros 1 ou 2 milímetros de chuva deve ser descartado. Esse volume inicial, ou *first flush*, concentra a maior carga de poluentes e microorganismos.

Quando o reservatório é suficientemente grande, a primeira porção da chuva corresponde a uma porcentagem tão pequena que não chega a representar perigo, devido à diluição dos poluentes. Portanto, neste caso, não há necessidade de descarte de água. Porém, em reservatórios de pequena capacidade, isso poderá representar um risco e a primeira porção da chuva deve ser descartada (FENDRICH e OLIYNIK, 2002).

Dentro do reservatório, a maior preocupação com a qualidade da água é relativa aos sólidos e microorganismos que porventura tenham sido carregados com a água da chuva. A chuva pode levar materiais pesados que estão no ar ou na superfície coletora, os quais se depositarão no fundo do reservatório, onde se forma uma pequena camada de lama (TOMAZ, 2003).

Os microorganismos provenientes do telhado e dos encanamentos se desenvolverão no reservatório, podendo colocar em risco aqueles que usarem a água de chuva para fins potáveis.

Alguns cuidados devem ser tomados, tais como evitar a entrada de luz solar no reservatório devido ao crescimento de algas. A tampa deve ser hermeticamente fechada. Pelo menos uma vez por ano deve ser feita uma limpeza no reservatório, removendo-se a lama de fundo (TOMAZ, 2003).

Já nos pontos de uso, a exigência é que a água não forneça riscos de contaminação. Segundo IWANAMI (1985), *apud* MAY (2004), é importante fazer o planejamento da utilização do sistema de aproveitamento da água de chuva para verificar a quantidade de água que poderá ser coletada e armazenada, para verificar a necessidade de tratamento da água de chuva. Certamente é preciso que a água coletada seja devidamente armazenada, limpa e que garanta uma qualidade compatível com os usos previstos.

METODOLOGIA

O estudo de viabilidade do aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis na Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) foi realizado considerando-se duas situações:

1. Uso da água de chuva na irrigação do gramado do campo de futebol do Centro Desportivo da UFOP (CEDUFOP), utilizando-se como área de captação o telhado do ginásio poliesportivo.
2. Uso da água de chuva em fins não potáveis nas instalações hidrosanitárias dos prédios dos Laboratórios da Escola de Minas.

Os estudos foram realizados seguindo-se as seguintes etapas:

- Ø Caracterização da área de estudo;
- Ø Avaliação da qualidade da água de chuva;
- Ø Previsão do volume de chuva;
- Ø Previsão do consumo de água;
- Ø Dimensionamento dos reservatórios.

4.1 - Caracterização da área de estudo

A caracterização da área de estudo foi feita por meio de dados fornecidos pela Prefeitura Universitária da Universidade Federal de Ouro Preto.

4.2 - Avaliação da qualidade da água de chuva

A avaliação da qualidade da água de chuva foi realizada por meio da coleta de amostras de água de chuva e análises em laboratório de parâmetros de qualidade.

4.2.1 - Metodologia de coleta

As amostras da água de chuva foram coletadas do telhado do prédio do Instituto de Ciências Exatas e Biológicas (ICEB), no Campus da Universidade Federal de Ouro Preto, entre os meses de novembro de 2006 e fevereiro de 2007, com o uso de um recipiente coletor, constituído de uma garrafa PET com capacidade de dois litros, um funil de plástico e uma torneira de metal acoplada.

A Figura 4.1 mostra o coletor de água de chuva instalado no prédio do ICEB:



Figura 4.1 - Recipiente coletor de água de chuva instalado no ICEB/UFOP

Com o objetivo de se coletar amostras representativas e de evitar sua contaminação, os seguintes procedimentos foram adotados:

- O recipiente coletor foi disposto de forma a captar a água que escorre diretamente do telhado por meio de um cano.
- O volume das amostras coletadas era de aproximadamente 500 ml.
- O coletor era trocado, limpo e desinfetado com álcool antes de cada coleta.
- A coleta de amostras para fins de análises de coliformes termotolerantes era realizada com recipiente de vidro devidamente esterilizado, com uso de autoclave.

4.2.2 - Metodologia das análises

As análises dos parâmetros de qualidade de água da chuva foram realizadas nos laboratórios de Microbiologia e de Análises de Água, no Instituto de Ciências Exatas e Biológicas (ICEB), na Universidade Federal de Ouro Preto. As análises eram realizadas sempre nos mesmos dias das coletas.

As análises foram realizadas de acordo com os métodos descritos por MACÊDO (2005). A escolha dos parâmetros de qualidade de água a serem analisados foi feita de acordo com a premissa de que a água de chuva apresenta uma boa qualidade, sendo que os parâmetros escolhidos permitem uma avaliação geral e simplificada da qualidade da água.

Foram analisados os seguintes parâmetros de qualidade:

1) Turbidez

A turbidez, propriedade de desviar raios luminosos, é decorrente da presença de materiais em suspensão na água, finamente divididos ou em estado coloidal, e de organismos microscópicos (BRAGA *et al*, 2005).

As análises de turbidez são realizadas com o uso de um aparelho chamado turbidímetro, pelo princípio da nefelometria. Mede-se a quantidade de luz que emerge perpendicularmente a um feixe luminoso que atravessa a amostra, acondicionada em uma cubeta incolor e transparente. A turbidez é expressa em unidades nefelométricas de turbidez (UNT).

2) pH

Potencial hidrogeniônico. Representa a concentração de íons hidrogênio H^+ (em escala anti-logarítmica), dando uma indicação sobre a acidez, neutralidade ou alcalinidade da água. A faixa de pH é de 0 a 14 (SPERLING, 1996).

A determinação do pH pode ser realizada diretamente com o uso do pHmetro, que deve ser calibrado com soluções-tampão de pH igual a 4 e 7.

3) Condutividade

A condutividade elétrica é a capacidade que a água possui de conduzir corrente elétrica. Esse parâmetro está relacionado com a presença de íons dissolvidos na água, que são partículas carregadas eletricamente. Quanto maior for a quantidade de íons dissolvidos, maior será a condutividade elétrica da água (SPERLING, 1996).

A determinação da condutividade é realizada diretamente com o uso do condutivímetro digital.

4) Sólidos dissolvidos totais

Por convenção, diz-se que as partículas menores, capazes de passar por um papel de filtro de tamanho especificado, correspondem aos sólidos dissolvidos. De maneira geral, são considerados sólidos dissolvidos aqueles com diâmetro inferiores a 10^{-3} μm . Os sólidos dissolvidos podem ser micropoluentes orgânicos, metais pesados ou ainda contribuir para o teor de matéria orgânica na água (SPERLING, 1996).

O teor de sólidos dissolvidos totais pode ser estimado a partir dos valores de condutividade, de acordo com a Tabela 4.1:

Tabela 4.1 - Relação entre teores de sólidos dissolvidos e valores de condutividade

Condutividade ($\mu\text{S/cm}$)	Sólidos dissolvidos totais (mg/l)
< 50	1,365079 * cond
50 < cond < 166	0,947658 * cond
166 < cond < 333	0,769574 * cond
333 < cond < 833	0,715920 * cond
833 < cond < 10.000	0,758544 * cond
> 10.000	0,850432 * cond

Fonte: MACÊDO (2005)

5) Oxigênio dissolvido (OD)

O oxigênio dissolvido é de essencial importância para os organismos aeróbios (que vivem na presença de oxigênio). Durante a estabilização da matéria orgânica, as bactérias fazem uso do oxigênio nos seus processos respiratórios, podendo vir a causar uma redução de sua concentração no meio (SPERLING, 1996).

O teor de oxigênio dissolvido na água pode ser avaliado com o uso do oxímetro digital, que deve ser calibrado de acordo com uma tabela que relaciona a temperatura ambiente e a altitude do local com a concentração de saturação do oxigênio no ar.

6) Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

A matéria orgânica é uma característica de primordial importância, sendo a causadora do principal problema de poluição das águas: o consumo de oxigênio dissolvido pelos microorganismos nos seus processos metabólicos de utilização e estabilização da matéria orgânica. A DBO retrata, de uma forma indireta, o teor de matéria orgânica na água, sendo, portanto, uma indicação do potencial de consumo do oxigênio dissolvido (SPERLING, 1996). A DBO é expressa em miligramas por litro (mg/l).

A forma de DBO mais utilizada como indicadora do teor de matéria orgânica na água é a DBO₅. O método consiste em incubar a amostra de água em frascos especialmente utilizados para a DBO, à temperatura de 20°C, no escuro, por um período de cinco dias. No início, e ao final do quinto dia, mede-se a concentração de oxigênio dissolvido presente na amostra e obtém-se, por diferença, a demanda requerida pelos microorganismos para a oxidação da matéria orgânica presente na amostra. O valor obtido deve ser multiplicado por um fator de correção, que é função da altitude do local.

7) Coliformes fecais (ou termotolerantes)

Devido a grande variedade de microorganismos patogênicos que podem estar presentes na água, é difícil sua detecção individualizada. É mais fácil inferir sua existência a partir de indicadores de material fecal no meio líquido (BRAGA *et al*, 2005).

As bactérias usadas como indicadores de poluição da água por material fecal são os coliformes fecais, que vivem normalmente no organismo humano e no dos demais animais de sangue quente. Embora não sejam patogênicos, a presença dessas bactérias na água indica que ela recebeu material fecal e pode, portanto, conter microorganismos patogênicos. Entre as bactérias do grupo coliforme, a mais usada como indicadora da poluição fecal é a *Escherichia coli*.

A análise dos coliformes fecais é feita por meio da inoculação de uma amostra de água em meios de cultura seletivos para essa espécie, da seguinte forma e seqüência:

- Caldo lactosado
- inoculação de 1 ml de água em três tubos contendo caldo lactosado em concentração simples;
- inoculação de 0,1 ml em três tubos contendo caldo lactosado em concentração simples;
- inoculação de 10 ml em três tubos contendo caldo lactosado em concentração dupla;
- incubação por 24 horas.

- Caldo verde brilhante

- inoculação de amostras dos tubos que apresentaram resultado positivo após incubação de 24 horas em caldo lactosado em tubos com caldo verde brilhante;

- incubação por 24 horas.

- Caldo EC

- inoculação de amostras dos tubos que apresentaram resultado positivo após incubação de 24 horas em caldo verde brilhante em tubos com caldo EC;

- incubação por 24 horas.

O resultado considerado positivo para as análises é a observação da formação de bolhas de gás e de crescimento dos microorganismos nos tubos (que pode ser observado por meio da turvação do meio), após a incubação. Ao final da seqüência, o resultado final é dado por meio de uma tabela probabilística, que relaciona o número de tubos positivos ao número mais provável (NMP) de coliformes termotolerantes por 100 ml de amostra de água.

4.3 - Previsão do volume de água de chuva

A previsão do volume de água de chuva foi realizada com base na relação entre as áreas de captação (telhados do ginásio poliesportivo e dos prédios dos Laboratórios da Escola de Minas) e as precipitações observadas na região.

Foram determinadas as precipitações mensais médias, totais anuais e total anual médio com base na série histórica de alturas pluviométricas diárias registrada na estação pluviométrica de Saramenha, que compreende o período de 1982 e 2004.

A Tabela 4.2 mostra algumas informações da estação pluviométrica de Saramenha.

Tabela 4.2 - Dados da estação pluviométrica de Saramenha

Nome	Saramenha
Código	02043054
Município	Ouro Preto
Estado	MG
Rio	Doce
Código município	17460000
Operadora	ALUMINAS
Latitude	-20 18 00
Longitude	-43 29 00
Altitude (m)	1079

Fonte: www.ana.gov.br/hidroweb

4.4 - Previsão do consumo de água

4.4.1 - Estudo de caso 1

A previsão do consumo de água pelo gramado foi realizada por meio da determinação da evapotranspiração de referência (ET_o) na região e da evapotranspiração de cultura (ET_c) do gramado.

Os métodos utilizados, escolhidos por apresentarem aplicação simplificada e por melhor se adequarem aos dados climáticos disponíveis, foram os seguintes:

- ∅ Determinação da ET_o: métodos de Turc (1961) e de Romanenko (1961).
- ∅ Determinação da ET_c: uso do coeficiente de cultivo.

Os dados de entrada necessários à aplicação dos métodos citados foram obtidos de mapas climáticos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), construídos com dados observados no período de 1931 a 1990.

A título de ilustração, a Figura 4.2 mostra o mapa do INMET para temperaturas médias anuais.

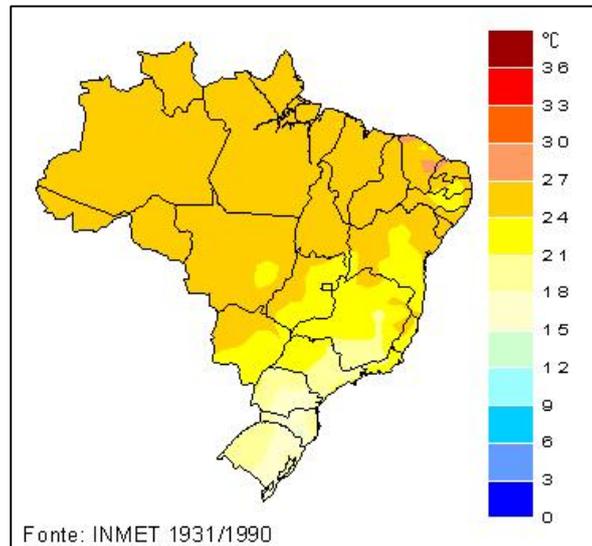


Figura 4.2 - Mapa de temperaturas médias anuais no Brasil, no período de 1931 a 1990
Fonte: www.inmet.gov.br/clima

4.4.2 - Estudo de caso 2

A previsão do consumo de água para fins não potáveis nos prédios dos Laboratórios da Escola de Minas foi realizada por meio de uma tabela de consumos específicos para irrigação de gramados e uso de água em bacias sanitárias.

4.5 - Dimensionamentos dos reservatórios

No primeiro estudo de caso, o dimensionamento do reservatório para captação de água de chuva do telhado do ginásio poliesportivo da UFOP foi realizado por meio do diagrama de massas de Rippl, utilizando-se três cenários distintos:

- ∅ Dimensionamento do reservatório para precipitações mensais médias no período de 1982 a 2004;
- ∅ Dimensionamento do reservatório para o ano da série pluviométrica com menor precipitação total anual;
- ∅ Dimensionamento do reservatório para o ano da série pluviométrica com maior período de estiagem.

No segundo estudo de caso, foram dimensionados reservatórios para captação de água de chuva dos telhados dos prédios dos laboratórios de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, de Engenharia de Controle e Automação e Engenharia de Produção e de Engenharia Civil, também pelo método de Rippl, considerando o ano da série pluviométrica com maior período de estiagem.

ESTUDO DE CASO 1

USO DE ÁGUA DE CHUVA EM IRRIGAÇÃO DE GRAMADO

5.1 - Caracterização da área de estudo

A Tabela 5.1 mostra algumas informações sobre o ginásio poliesportivo e sobre o campo de futebol, localizados no Centro Desportivo do Campus da Universidade Federal de Ouro Preto (CEDUFOP).

Tabela 5.1 - Informações sobre a área de estudo

Telhado do Ginásio	
comprimento	71 m
largura	45 m
Área útil total	3190 m ²
Gramado do campo de futebol	
comprimento	105 m
largura	68 m
área total	7140 m ²
Distâncias ginásio / gramado	
distância horizontal	165,5 m
desnível	8 m

Fonte: Prefeitura Universitária /UFOP

As Figuras 5.1 e 5.2 mostram, respectivamente, vistas parciais do ginásio poliesportivo e do gramado do campo de futebol.



Figura 5.1 - Vista parcial do ginásio poliesportivo/UFOP



Figura 5.2 - Vista parcial do gramado do campo de futebol/UFOP

A Figura 5.3 mostra o panorama geral do Centro Desportivo.



Figura 5.3 - Panorama geral do Centro Desportivo/UFOP
Fonte: Google Earth

5.2 - Avaliação da qualidade da água de chuva

A Tabela 5.2 mostra os resultados das análises realizadas para os parâmetros de qualidade da água, bem como o valor médio entre eles.

Tabela 5.2 - Resultados das análises dos parâmetros de qualidade da água de chuva

Parâmetros	Análises					Média
	1	2	3	4	5	
Datas das análises	13/11/2006	27/11/2006	12/12/2006	15/1/2007	12/2/2007	
Turbidez (UNT)	17	35	26	7	30	23
pH	7,46	6,97	7,05	7,2	6,3	6,99
Condutividade (µS/cm)	36	83	62	47	56	56,8
Sólidos dissolvidos totais (mg/l)	49,14	78,65	58,75	64,15	53	60,73
Oxigênio dissolvido (mg/l)	6	5,7	6,2	7,3	7,1	6,46
DBO ₅ (mg/l)	2,1	0,4	0,6	1,2	0,3	0,92
Coliformes fecias (NMP/100ml)	240	150	210	15	210	165

No período de novembro de 2006 a fevereiro de 2007, foram realizadas algumas outras análises de qualidade da água de chuva, que não foram mostradas na Tabela 5.2 por terem apresentado resultados incompletos, devido à impossibilidade do uso dos laboratórios em dias de sábado e domingo para a leitura dos resultados.

Ainda não existem legislações específicas no Brasil que tratem de padrões de qualidade de água de chuva para fins de aproveitamento. Portanto, como forma de se verificar se os valores médios obtidos para os parâmetros analisados são compatíveis com os usos previstos para a água, realizou-se a comparação dos mesmos com os padrões de qualidade para os parâmetros definidos pela Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, que trata da classificação dos corpos de água e de sua qualidade para seus usos previstos.

A Tabela 5.3 compara os valores médios obtidos para os parâmetros analisados com os valores padronizados pela Resolução CONAMA nº 357 para diferentes classes de uso de água.

Tabela 5.3 - Comparação entre os valores médios obtidos e os valores padronizados para os parâmetros analisados

Parâmetros	Média	Classe 1	Classe 2	Classe 3
Turbidez (UNT)	23	< 40	< 100	< 100
pH	6,99	6 a 9	6 a 9	6 a 9
Condutividade (µS/cm)	56,8	xxx	xxx	xxx
Sólidos dissolvidos totais (mg/l)	60,73	500	500	500
Oxigênio dissolvido (mg/l)	6,46	> 6	> 5	>4
DBO ₅ (mg/l)	0,92	< 3	< 5	< 10
Coliformes termotolerantes (NMP/100ml)	165	< 200	< 1000	< 4000

De acordo com a metodologia empregada na coleta das amostras, as parcelas iniciais das chuvas (*first flush*), que concentram a maior parte da contaminação, não foram descartadas. Mesmo assim, segundo os resultados obtidos, pode-se observar que os valores dos parâmetros de qualidade da água analisados se enquadram nas classes de uso de água previstas na Resolução CONAMA nº 357, inclusive na mais restritiva (classe 1), demonstrando a boa qualidade da água de chuva no Campus da Universidade Federal de Ouro Preto. Portanto, de acordo com a referida legislação, além de ser adequada à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas, culturas arbóreas, parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto, a água de chuva também poderia ser utilizada para outros fins não potáveis.

No entanto, é importante se observar que, na Tabela 5.2, o valor muito baixo para coliformes termotolerantes referente à análise de número 4 afeta o valor médio para este parâmetro. Se este valor específico fosse não fosse considerado, o valor médio para coliformes termotolerantes se enquadraria na classe de qualidade número 2 da Resolução CONAMA 357, não trazendo, porém, prejuízos às utilizações previstas para a água no presente trabalho.

A norma da ABNT NBR 15527, da Associação Brasileira de Normas Técnicas, que traz critérios técnicos para o aproveitamento de água de chuva, define alguns padrões de qualidade para água, tais como ausência de coliformes termotolerantes em 100 mL e turbidez abaixo de 5 uT para usos mais restritivos. Portanto, sugere-se adotar, para usos que apresentem risco de contaminação para as pessoas que entrem em contato com a água, o descarte do *first flush*, a adoção de sistemas de filtragem nos sistemas de captação e aproveitamento de água de chuva ou a desinfecção prévia da água de chuva antes de sua utilização.

O telhado do prédio do ICEB foi o local escolhido para a realização da coleta das amostras da água de chuva por apresentar melhores condições para a coleta (presença de calhas e menor altura) e pela proximidade aos laboratórios onde foram realizadas as análises. No entanto, pelo fato de o telhado do ginásio ser feito de material metálico que, segundo TERRY (2001), *apud* TOMAZ (2003) apresenta melhor qualidade em termos de água de chuva do que telhados de cerâmica, que é o material do telhado do ICEB, e considerando-se a proximidade entre os dois prédios, pode-se considerar que a qualidade da água de chuva proveniente do telhado do ginásio tenha qualidade compatível ou superior à da água proveniente do telhado do ICEB.

5.3 - Previsão do volume de água de chuva

5.3.1 - Determinação das precipitações mensais médias e totais anuais na região de Ouro Preto-MG

A Tabela 5.4 mostra os dados de precipitação pluviométrica mensais, mensais médias e totais anuais, observadas na estação pluviométrica de Saramenha, em Ouro Preto, no período de 1982 a 2004.

Tabela 5.4 - Precipitações mensais, mensais médias e totais anuais observadas na estação pluviométrica de Saramenha, em Ouro Preto, no período de 1982 a 2004 (valores em mm)

Ano	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Total
1982	394,7	86,7	386,7	68	21,3	16	18,9	18,4	28,2	163,1	131,3	444,3	1777,6
1983	353,5	194,5	218	146,7	55,8	11,8	32,1	7	199,2	259,9	178,4	276,4	1933,3
1984	301,3	62,4	93,2	48,7	5,3	0	10,8	102,8	69,7	50,1	220,9	395,5	1360,7
1985	635,5	310,3	296,3	92,7	13,4	0	0,9	8,5	67,7	145,7	200,5	429,3	2200,8
1986	304,7	193,1	228,2	41,9	87,4	21,3	47,1	59,1	8,7	28,7	186	517,6	1723,8
1987	216,8	88,2	297,1	114,9	93,4	12,8	5,8	5,3	74,7	48,3	214,3	456,7	1628,3
1988	292,6	99,5	0	205,4	211,2	11,2	0	0	33,4	80,2	127,7	177,7	1238,9
1989	176,6	317,5	188,1	16,2	1,1	40,9	50,7	28,5	93,7	154,3	212,8	559	1839,4
1990	93,6	141,4	109,9	75	61,9	12,4	30,7	54,4	44,9	69,8	159,4	167,6	1021
1991	618,9	256,1	310,1	65,1	37	7,5	2,6	2	93,4	115	158,1	285,3	1951,1
1992	694,2	304,8	91	116,6	95,2	2,7	29,4	38,4	186,4	194,7	347,7	411,3	2512,4
1993	144,8	204	162,3	165,1	40,4	8,9	0	11,6	67,1	200,4	136,2	284,7	1425,5
1994	367	59,5	206,1	60,8	35,6	3,9	2	0	1,2	119,6	130	329,5	1315,2
1995	152,1	188,5	225,1	64,7	24,3	4,5	1,7	0	15,7	178,3	198,3	514,5	1567,7
1996	148	275,3	167,4	51,6	49,4	0	0	5,6	96,5	153,2	407,3	400,5	1754,8
1997	572,9	138,1	208	96,5	20,8	0	0	3,1	90,6	194,3	189	165,6	1678,9
1998	322,4	299,3	114,9	70	70,5	0,7	3,2	41,4	18,8	164,3	233,5	166,7	1505,7
1999	152,9	120,2	336	23	1,5	3,9	0,1	0	37,8	87,6	298,6	252,8	1314,4
2000	490,5	131,9	179,4	20,4	4	0	12,3	29,7	75,9	77,2	337,1	272,5	1630,9
2001	251,9	75,4	188,8	24	38,9	0	2,5	16,2	60,8	114,2	341,2	347,7	1461,6
2002	343,6	280,1	112,3	25,8	71,5	0	1	44,5	127,4	30,6	368,3	449,1	1854,2
2003	502,1	59	158	61,6	15,8	0	1,4	33,5	22,4	70,1	279,1	265,5	1468,5
2004	261,4	318	241,7	149,6	50,3	21,6	43,4	0	0	68,9	221,7	390,9	1767,5
Média	338,7	182,7	196,5	78,4	48,0	7,8	12,9	22,1	65,8	120,3	229,5	346,0	1649,0

De forma gráfica, a Figura 5.4 mostra as precipitações mensais médias na região de estudo, no período de 1982 a 2004.

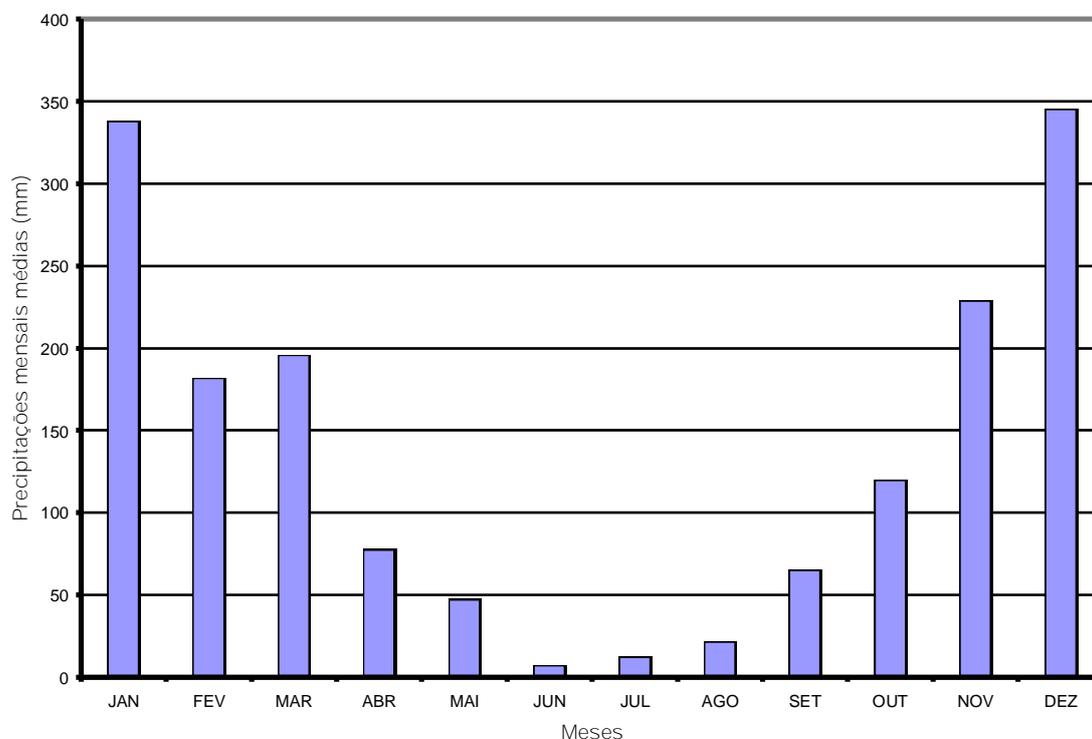


Figura 5.4 - Precipitações mensais médias na região de estudo no período de 1982 a 2004

A Figura 5.4 mostra a má distribuição das chuvas na região, com alturas pluviométricas que chegam a valores próximos de 350 mm nos meses de janeiro e dezembro, e outros próximos de zero nos meses de junho e julho. Considerando-se a média mensal das precipitações em torno de 137 mm/mês, pode-se observar que, em média, os meses de abril a outubro apresentam alturas pluviométricas abaixo da média.

Com base nos resultados mostrados na Tabela 5.4, pode-se estimar que a precipitação total anual média na região de estudo é de, aproximadamente, 1649 mm. A Figura 5.5 mostra as precipitações totais anuais para o período considerado.

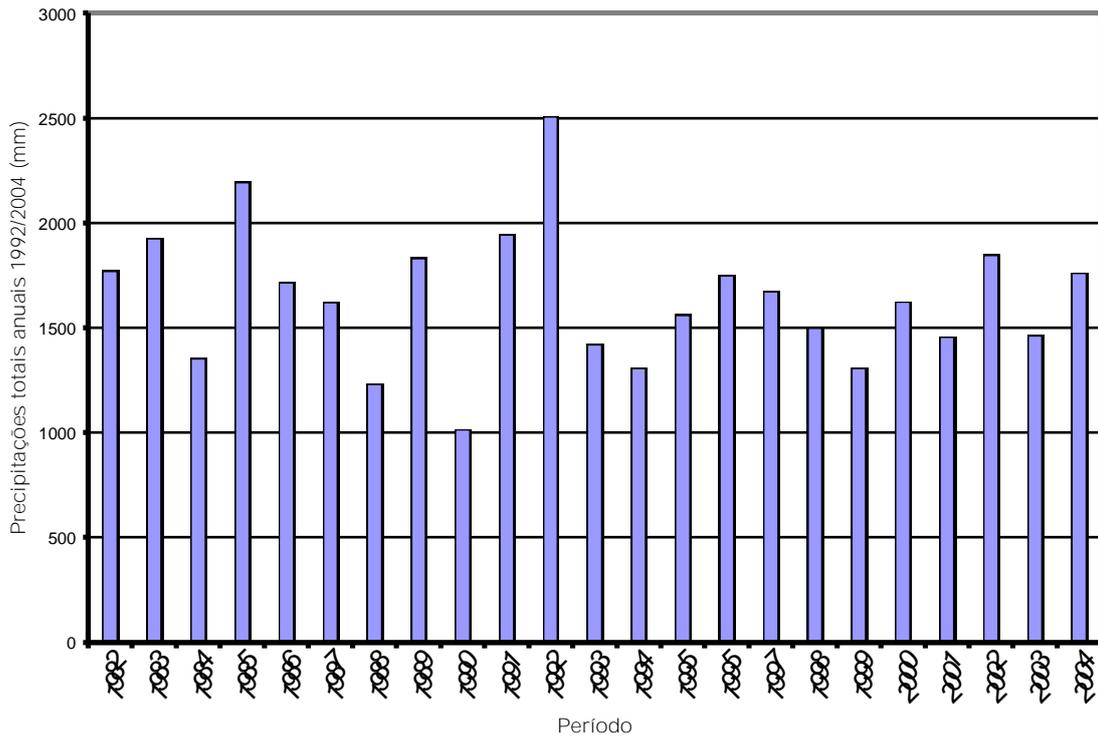


Figura 5.5 - Precipitações totais anuais na região de estudo, no período de 1982 a 2004

Da Figura 5.5, nota-se que, no período analisado, o ano de 1992 foi o mais chuvoso (mais de 2500 mm de precipitação total), e o ano de 1990 foi o que registrou o menor índice pluviométrico (pouco mais de 1000 mm).

5.3.2 - Volume de água de chuva aproveitável

O volume de água de chuva que pode ser aproveitado não é o mesmo que o precipitado. Segundo TOMAZ (2003), uma parte da água de chuva que cai sobre a superfície de captação perde-se por evaporação, retenção, limpeza do telhado etc. Portanto, no cálculo do volume de água que pode ser aproveitado, usa-se o coeficiente de escoamento superficial, ou coeficiente de runoff (C), que representa o quociente entre a água que esco superficialmente pela área de captação pelo total de água precipitada.

Assim, o volume de água de chuva que pode ser aproveitado é dado pela Equação 5.1:

$$V = (P * A * C) / 1000 \quad (5.1)$$

Sendo:

V = Volume de água de chuva (m³).

P = precipitação (mm).

A = área de captação (m²).

C = coeficiente de runoff.

A Tabela 5.5 mostra valores de coeficientes de runoff adotados em alguns países:

Tabela 5.5 - Coeficientes de runoff adotados em alguns países

Locais	C
Flórida (EUA)	0,67
Alemanha	0,75
Austrália	0,80
Ilhas Virgens	0,85

Fonte: TOMAZ (2003)

Segundo HOFKES e FRASIER (1996), *apud* TOMAZ (2003), os valores do coeficiente de runoff em função do material de que é feito o telhado são mostrados na Tabela 5.6.

Tabela 5.6 - Coeficientes de runoff médios (C), segundo HOFKES e FRASIER (1996)

Material	C
telhas cerâmicas	0,8 a 0,9
telhas metálicas	0,7 a 0,9

Fonte: TOMAZ (2003)

Já WILKEN (1978), *apud* TOMAZ (2003), considera diversos valores para diferentes superfícies de captação, conforme a Tabela 5.7

Tabela 5.7 - Coeficientes de runoff médios (C), segundo WILKEN (1978)

superfície	C
telhados	0,7 a 0,95
pavimentos	0,4 a 0,90
vias macadamizadas	0,25 a 0,60
quintais e lotes vazios	0,10 a 0,30

Fonte:TOMAZ (2003)

De acordo com as Tabelas 5.6 e 5.7, sendo a superfície de captação um telhado com telhas de metal (alumínio), TOMAZ (2003) sugere o uso do valor de coeficiente de runoff $C = 0,80$.

Sendo a área de captação (A) igual a 3190 m^2 , os volumes médios mensais e anual aproveitáveis de água de chuva, obtidos de acordo com a Equação 5.1, são apresentados na Tabela 5.8.

Tabela 5.8 : Volumes médios mensais e anual aproveitáveis de água de chuva

Meses	P (mm/mês)	V(m ³ /mês)
Jan	338,7	866
Fev	182,7	467,2
Mar	196,5	502,3
Abr	78,44	200
Mai	48	123
Jun	7,8	20
Jul	12,9	33
Ago	22,1	56,7
Set	65,8	168,3
Out	120,3	307,7
Nov	229,5	586,6
Dez	346	884,7
V total anual (m ³ /ano)		4215,5

Portanto, de acordo com a Tabela 5.8, o volume das precipitações na região de estudo permite que sejam captados do telhado do ginásio poliesportivo da UFOP cerca de 4200 m³ de água por ano.

A Figura 5.6 mostra a variação dos volumes captáveis (médios) do telhado do ginásio, de acordo com os dados da Tabela 5.8.

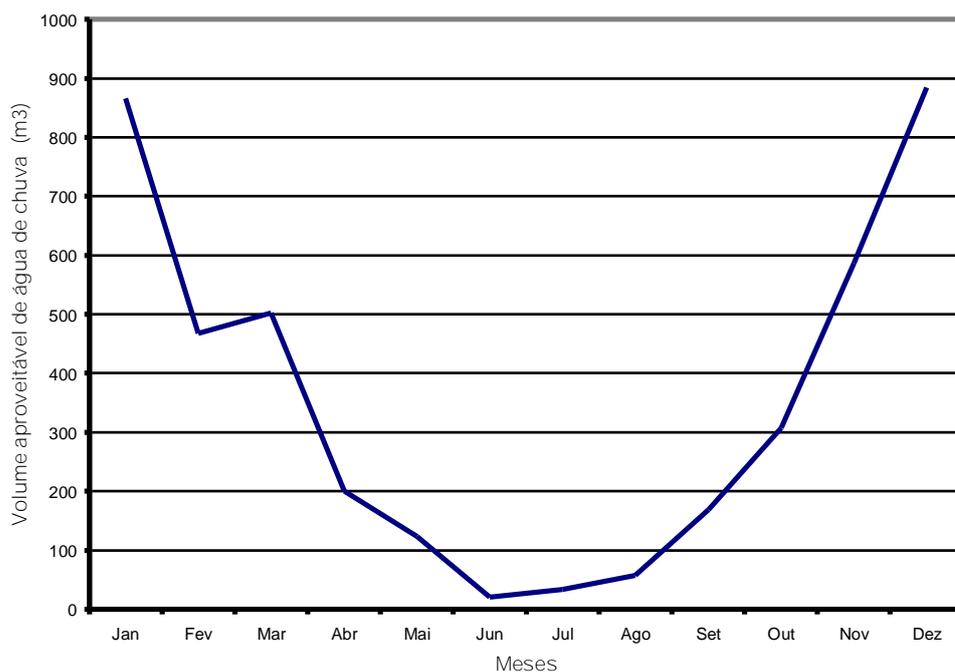


Figura 5.6 - Variação anual média do volume aproveitável de água de chuva no telhado do ginásio/ CEDUFOP

5.4 - Previsão do consumo de água no gramado

5.4.1 - Determinação da evapotranspiração de referência (ET_o) para a região de estudo

A evapotranspiração potencial (ETP), ou evapotranspiração de referência (ET_o), é a quantidade de água transferida para a atmosfera por evaporação e transpiração, na unidade

de tempo, de uma superfície extensa completamente coberta de vegetação de porte baixo e bem suprida de água (TUCCI *et al*, 2004).

Existem vários métodos numéricos que permitem estimar a evapotranspiração ETo. Os métodos apresentados neste trabalho são os métodos de Turc e de Romanenko, descritos por TOMAZ (2007).

A Tabela 5.9 mostra os valores de alguns parâmetros meteorológicos necessários à aplicação dos métodos para obtenção da ETo.

Tabela 5.9 - Dados climáticos de entrada dos métodos de estimativa da ETo

Meses	T _{méd} (°C)	Insolação(h/mês)	Insolação(h/dia)	Umidade relativa (%)
Jan	22,5	210	6,77	75
Fev	22,5	180	6,2	75
Mar	22,5	180	5,8	85
Abr	19,5	180	6	70
Mai	16,5	210	6,77	70
Jun	16,5	210	7	70
Jul	16,5	240	7,74	70
Ago	16,5	210	6,77	65
Set	19,5	210	7	65
Out	19,5	180	5,8	80
Nov	22,5	150	5	80
Dez	22,5	150	4,83	90
Média	19,75	192,5	6,3	74,5

Fonte: www.inmet.gov.br/clima

5.4.1.1 - Método de Turc, 1961

O método de Turc é empírico e baseia-se em dados de umidade relativa do ar, nebulosidade (relação n/N), temperatura média do ar e latitude. O método trabalha com duas equações, sendo uma para valores de umidade relativa do ar menor que 50% e outra para valores maiores que 50%.

Ø Para umidade relativa do ar $UR < 50\%$:

$$E_{To} = 0,013 \times [T / (T+15)] \times (R_s + 50) \times [1 + (50 - UR) / 70] \quad (5.2)$$

Ø Para umidade relativa do ar $UR \geq 50\%$:

$$E_{To} = 0,013 \times [T / (T+15)] \times (R_s + 50) \quad (5.3)$$

Sendo:

T= temperatura média mensal do ar (°C)

UR= umidade relativa do ar média mensal (%)

E_{To}= evapotranspiração de referência (mm/dia)

R_s= radiação solar total ($\text{cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$)

Os dados de entrada para cálculo da E_{To} pelo método de Turc são:

- Temperatura média mensal
- Umidade relativa do ar
- Latitude
- Dia Juliano
- Distância relativa da Terra ao Sol
- Declinação solar
- Ângulo da hora do por do sol
- Número de horas de dia
- Insolação
- Razão de insolação
- Radiação extraterrestre
- Radiação útil de curto comprimento

A seguir, seguem-se os cálculos dos parâmetros ainda não obtidos:

Ø Dia Juliano (J)

Refere-se à contagem dos dias do ano desde o número 1 ao número 365. Geralmente é o meio do mês contado deste o dia 1º, conforme a Tabela 5.10 :

Tabela 5.10 - Dia Juliano

Mês	Dia Juliano
Jan	15
Fev	46
Mar	74
Abr	105
Mai	135
Jun	166
Jul	196
Ago	227
Set	258
Out	288
Nov	319
Dez	349

Fonte: TOMAZ, 2007

Ø Distância relativa da Terra ao Sol (dr)

A distância relativa da terra ao sol dr é fornecida pela Equação 5.4:

$$dr = 1 + 0,033 \times \cos [(2 \times \delta / 365) \times J] \quad (5.4)$$

Sendo:

dr = distância relativa da Terra ao Sol (rad)

J = dia Juliano que varia de 1 a 365

A Tabela 5.11 mostra os valores mensais para a distância relativa da Terra ao Sol.

Tabela 5.11 - Valores mensais da distância relativa da Terra ao Sol

Meses	Dia Juliano	dr (rad)
Jan	15	1,03
Fev	46	1,02
Mar	74	1,01
Abr	105	0,99
Mai	135	0,97
Jun	166	0,96
Jul	196	0,96
Ago	227	0,97
Set	258	0,99
Out	288	1
Nov	319	1,02
Dez	349	1,03

Ø Declinação solar (ä)

A declinação solar delta, em radianos, pode ser calculada pela Equação 5.5.

$$\delta = 0,4093 \times \sin \left[\left(2 \times \frac{\delta}{365} \right) \times J - 1,405 \right] \quad (5.5)$$

A Tabela 5.12 mostra os valores mensais da declinação solar em função do dia Juliano.

Tabela 5.12 - Valores mensais de declinação solar

Mês	Dia Juliano	Declinação solar δ (rad)
Jan	15	-0,00819
Fev	46	-0,00438
Mar	74	-0,000968
Abr	105	0,00287
Mai	135	0,00656
Jun	166	0,0103
Jul	196	0,014
Ago	227	0,0178
Set	258	0,0216
Out	288	0,0253
Nov	319	0,0292
Dez	349	0,0328

θ Ângulo da hora do pôr do Sol (w_s)

O ângulo da hora do pôr do Sol pode ser calculado pela Equação 5.6:

$$w_s = \arccos [-\tan(\theta) \times \tan(\delta)] \quad (5.6)$$

Sendo:

w_s = ângulo da hora do por do sol em (rad)

θ = latitude do local considerado (em radianos), positiva no hemisfério norte e negativa no hemisfério Sul

δ = declinação solar (rad)

Considerando-se a latitude como sendo a mesma da estação pluviométrica de Saramenha, dada na Tabela 4.2 , de valor igual a $-20^\circ 18' 00''$, temos que a conversão para radianos pode ser feita aplicando-se a Equação 5.7.

$$\ddot{O} \text{ (rad)} = (\ddot{\delta} / 180) \times \ddot{O} \text{ (graus)} \quad (5.7)$$

$$\ddot{O} \text{ (rad)} = (\ddot{\delta} / 180) \times (-20^\circ) = -0,34 \text{ radianos}$$

Sendo assim, a Tabela 5.13 mostra os valores mensais de ws.

Tabela 5.13 - Valores mensais de ângulo da hora do pôr do sol

Mês	Declinação solar $\ddot{\delta}$ (rad)	ws (rad)
Jan	-0,00819	1,573
Fev	-0,00438	1,572
Mar	-0,000968	1,571
Abr	0,000346	1,569
Mai	0,00656	1,568
Jun	0,0103	1,567
Jul	0,014	1,565
Ago	0,0178	1,564
Set	0,0216	1,563
Out	0,0253	1,561
Nov	0,0292	1,56
Dez	0,0328	1,55

\emptyset Número de horas de dia (N)

Durante 24h, temos horas de dia e horas de noite. As horas totais de dia são denominadas N. O número de horas de dia em 24 horas pode ser determinado pela Equação 5.8.

$$N = (24 / \ddot{\delta}) \times ws \quad (5.8)$$

Sendo :

N = horas totais de dia

ws = ângulo da hora do pôr do sol (rad)

Sendo assim, a Tabela 5.14 mostra os valores de N (horas totais de dia) diárias e mensais.

Tabela 5.14 - Número de horas de dia diárias e mensais

Mês	ws (rad)	N (h/dia)	N (h/mês)
Jan	1,573	12	372
Fev	1,572	12	336
Mar	1,571	12	372
Abr	1,569	11,9	357
Mai	1,568	11,9	368,9
Jun	1,567	11,9	357
Jul	1,565	11,9	368,9
Ago	1,564	11,9	368,9
Set	1,563	11,9	357
Out	1,561	11,9	368,9
Nov	1,56	11,9	357
Dez	1,55	11,8	368,9

Ø Razão de insolação

A razão de insolação é a relação entre o número de horas diárias em que há a incidência direta de sol (n) e o número de horas de dia (N). Em um dia em que não ocorresse a formação de nuvens, a razão de insolação seria igual a um. Da mesma forma, em um dia nublado, a razão é igual a zero.

A Tabela 5.15 mostra os valores de n e N, e a respectiva razão de insolação (n/N).

Tabela 5.15 - Razão de insolação (n/N)

Meses	n (h/dia)	N (h/dia)	n / N
Jan	6,77	12	0,56
Fev	6,2	12	0,51
Mar	5,8	12	0,48
Abr	6	11,9	0,5
Mai	6,77	11,9	0,56
Jun	7	11,9	0,58
Jul	7,74	11,9	0,65
Ago	6,77	11,9	0,57
Set	7	11,9	0,58
Out	5,8	11,9	0,48
Nov	5	11,9	0,42
Dez	4,83	11,8	0,4
		Média	0,52

Ø Radiação extraterrestre (Ra)

A radiação solar extraterrestre Ra no topo da atmosfera da Terra em MJ/(m² x dia) pode ser estimada pela Equação 5.9.

$$Ra = (24 \times 60 / \delta) \times dr \times G_{sc} \times [(\cos(\delta) \times \sin(\alpha)) + \cos(\alpha) \times \cos(\delta) \times \sin(\omega_s)] \quad (5.9)$$

Sendo:

Ra = radiação solar no topo da atmosfera ou radiação extraterrestre [MJ/(m² x dia)].

G_{sc} = constante solar = 0,0820 MJ/(m² x min)

ω_s = ângulo solar (rad)

α = declinação solar (rad)

dr = distância relativa da Terra ao Sol (rad)

A Tabela 5.16 mostra os valores mensais para a radiação extraterrestre.

Tabela 5.16 - Valores mensais de radiação extraterrestre

Meses	ws (rad)	dr (rad)	Ra(MJ*m ⁻² *dia ⁻¹)
Jan	1,573	1,03	35,77
Fev	1,572	1,02	35,35
Mar	1,571	1,01	34,93
Abr	1,569	0,99	34,14
Mai	1,568	0,97	33,41
Jun	1,567	0,96	32,99
Jul	1,565	0,96	32,94
Ago	1,564	0,97	33,2
Set	1,563	0,99	33,81
Out	1,561	1	34,08
Nov	1,56	1,02	34,69
Dez	1,55	1,03	34,95

Ø Radiação útil de curto comprimento (Rs)

A radiação útil de curto comprimento de onda (Rs), que é a energia total incidente sobre a superfície terrestre pode ser calculada pela Equação 5.10.

$$R_s = (a_s + b_s \times n / N) \times R_a \quad (5.10)$$

Sendo:

$a_s = 0,25$ e $b_s = 0,50$, que são coeficientes para climas médios

n = número de horas de sol forte por dia (h)

N = número máximo de horas de sol por dia (h)

n/N = nebulosidade ou fração de luz

R_a = radiação solar extraterrestre (MJ*m⁻²*dia⁻¹)

R_s = Radiação útil de curto comprimento (MJ*m⁻²*dia⁻¹)

No entanto, o método de Turc trabalha com o valor de Rs em $\text{cal}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$), sendo que : $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$ equivale a $23,9 \text{ cal}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$.

A Tabela 5.17 mostra os valores mensais para a radiação útil de curto comprimento:

Tabela 5.17 - Valores mensais de radiação útil de curto comprimento.

Meses	as	bs	n / N	Ra ($\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$)	Rs ($\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$)	Rs ($\text{cal}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$)
Jan	0,25	0,5	0,56	35,77	18,95	452,9
Fev	0,25	0,5	0,51	35,35	18,38	439,3
Mar	0,25	0,5	0,48	34,93	17,11	408,9
Abr	0,25	0,5	0,5	34,14	17,07	407,9
Mai	0,25	0,5	0,56	33,41	17,7	423,03
Jun	0,25	0,5	0,58	32,99	17,81	425,6
Jul	0,25	0,5	0,65	32,94	18,9	451,7
Ago	0,25	0,5	0,57	33,2	17,76	424,5
Set	0,25	0,5	0,58	33,81	18,25	436,17
Out	0,25	0,5	0,48	34,08	16,69	398,8
Nov	0,25	0,5	0,42	34,69	15,95	381,2
Dez	0,25	0,5	0,4	34,95	15,72	375,7

De posse de todos os dados, e observando-se que os valores de umidade relativa do ar encontram-se acima dos 50%, pode-se então determinar a evapotranspiração de referência ETo pela Equação 5.3, conforme mostrado na Tabela 5.18.

Tabela 5.18 - Evapotranspiração de referência ETo por Turc, 1961

Meses	Tméd(°C)	Rs (cal*cm ⁻² *dia-1)	ETo(mm/dia)	ETo(mm/mês)
Jan	22,5	452,9	3,92	121,52
Fev	22,5	439,3	3,81	106,68
Mar	22,5	408,9	3,57	110,67
Abr	19,5	407,9	3,36	100,8
Mai	16,5	423,03	3,22	99,82
Jun	16,5	425,6	3,23	96,9
Jul	16,5	451,7	3,41	105,71
Ago	16,5	424,5	3,23	100,13
Set	19,5	436,17	3,57	107,1
Out	19,5	398,8	3,29	101,9
Nov	22,5	381,2	3,36	100,8
Dez	22,5	375,7	3,32	102,9
Total (mm/ano)				1254,9

De acordo com a Tabela 5.18, conclui-se que a evapotranspiração de referência ETo anual pelo método de Turc é de aproximadamente 1255 mm/ano.

5.4.1.2 - Método de Romanenko, 1961

O método de Romanenko permite o cálculo da ETo a partir de dados de umidade relativa do ar (UR) e temperatura média mensal (T) conforme a seguinte equação:

$$ETo = 0,0018 \times (25 + T)^2 \times (100 - UR) \quad (5.11)$$

Sendo:

ETo = evapotranspiração (mm/mês)

T = temperatura média mensal (°C)

UR = umidade relativa do ar (%)

A Tabela 5.19 resume os dados de entrada e os valores de ETo obtidos pelo método de Romanenko.

Tabela 5.19 - Evapotranspiração de referência ETo por Romanenko, 1961

Meses	T _{méd} (°C)	Umidade relativa (%)	ETo (mm/mês)
Jan	22,5	75	101,53
Fev	22,5	75	101,53
Mar	22,5	85	60,91
Abr	19,5	70	106,93
Mai	16,5	70	93,0
Jun	16,5	70	93,0
Jul	16,5	70	93,0
Ago	16,5	65	108,5
Set	19,5	65	124,75
Out	19,5	80	71,28
Nov	22,5	80	81,22
Dez	22,5	90	40,61
Total (mm/ano)			1076,2

De acordo com a Tabela 5.19, conclui-se que a evapotranspiração de referência ETo anual pelo método de Romanenko é de aproximadamente 1076 mm/ano.

5.4.1.3 - Conclusões

Os valores de evapotranspiração de referência anuais obtidos com os métodos de Turc e de Romanenko apresentaram uma diferença de aproximadamente 178 mm/ano. No entanto, os resultados encontram-se bem próximos aos valores da faixa de variação de evapotranspiração anual para a região em questão (800 a 1200 mm/ano), mostrada no mapa do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (Figura 5.7).

Sendo assim, considerando-se que os dois métodos utilizados para obtenção da ETo mostraram-se concordantes com os valores mostrados no mapa do INMET, sugere-se considerar os valores médios entre eles. A Tabela 5.20 mostra os valores obtidos em cada método, bem como o valor médio de ETo.

Tabela 5.20 - Resumo dos valores de ETo por Turc e Romanenko, e valor médio entre eles

Meses	Métodos		Média (mm/mês)
	Turc	Romanenko	
Jan	121,52	101,53	111,52
Fev	106,68	101,53	104,1
Mar	110,67	60,91	85,79
Abr	100,8	106,93	103,86
Mai	99,82	93	96,41
Jun	96,9	93	94,95
Jul	105,71	93	99,35
Ago	100,13	108,5	104,32
Set	107,1	124,75	115,92
Out	101,9	71,28	86,59
Nov	100,8	81,22	91,01
Dez	102,9	40,61	71,75
Total(mm/ano)	1254,9	1076,2	1165,5

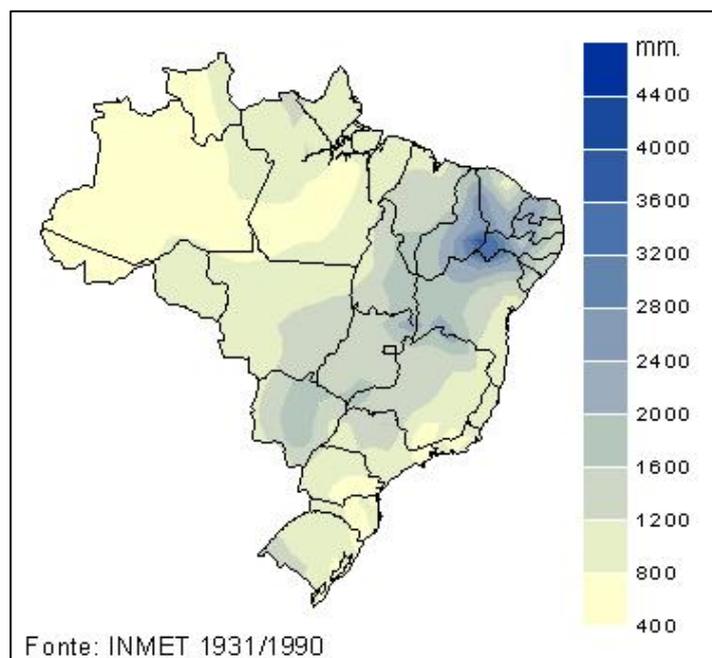


Figura 5.7 - Mapa de evapotranspiração anual no Brasil, no período de 1931 a 1990

Fonte: www.inmet.gov.br/clima

5.4.2 - Determinação da evapotranspiração da cultura (ET_c) para o gramado

Segundo TOMAZ (2007), a evapotranspiração da cultura é a quantidade de água consumida em um determinado intervalo de tempo pela cultura (uso consuntivo), sendo igual à soma da água absorvida e transpirada no desenvolvimento dos vegetais e da água evaporada pela superfície do solo no qual os vegetais estão cultivados. O uso consuntivo não compreende nem as perdas por percolação nem as perdas por escoamento superficial (TUCCI *et al*, 2004).

Segundo TUCCI *et al* (2004) e TOMAZ (2007), a evapotranspiração da cultura é função da evapotranspiração de referência (ET_o) e do coeficiente de cultura (K_c), que depende de suas características, conforme a Equação 5.12.

$$ET_c = K_c \times ET_o \quad (5.12)$$

O valor do coeficiente de cultura para paisagismo é considerado para plantas que consomem muita água, consomem medianamente e que consomem pouco, e, segundo TOMAZ (2007), pode ser determinado por meio das Tabelas 5.21 e 5.22, que consideram o nível de consumo de água das culturas.

Tabela 5.21 – Valores genéricos de Kc conforme o consumo

Consumo de água das plantas	Kc
Plantas que consomem muita água	0,50 a 0,80
Plantas com consumo médio de água	0,30 a 0,50
Plantas que consomem pouca água	< 0,30

Fonte: Water Efficient Landscape (1993), *apud* TOMAZ (2007)

Tabela 5.22 – Valores específicos de Kc conforme o consumo

Tipo de planta	Kc
Gramma de folhagem e raízes densas	0,70 a 1,0
Árvores, arbustos e gramados não tolerantes a secas	0,7
Árvores, arbustos e gramados que consomem pouca água	0,5
Árvore, arbustos e gramados tolerantes a secas	0,2
Área não irrigada	0,0

Fonte: Water Efficient Landscape (1993), *apud* TOMAZ (2007)

Considerando-se o que o gramado é resistente a secas e não consome muita água, adotou-se $K_c = 0,5$, que segundo a Tabela 5.22, é o valor do coeficiente de cultura para árvores, arbustos e gramados que consomem pouca água.

A Tabela 5.23 mostra os valores da evapotranspiração da cultura para o gramado obtidos por meio da Equação 5.12 utilizando-se os valores médios de evapotranspiração de referência obtidos na Tabela 5.20.

Tabela 5.23 - Valores de evapotranspiração da cultura (ETc)

Meses	ETo (mm/mês)	Kc	ETc (mm/mês)
Jan	111,52	0,5	55,76
Fev	104,1	0,5	52,05
Mar	85,79	0,5	42,9
Abr	103,86	0,5	51,93
Mai	96,41	0,5	48,2
Jun	94,95	0,5	47,47
Jul	99,35	0,5	49,67
Ago	104,32	0,5	52,16
Set	115,92	0,5	57,96
Out	86,59	0,5	43,3
Nov	91,01	0,5	45,5
Dez	71,75	0,5	35,87
Total (mm/ano)			582,7

5.4.3 - Conclusões

De acordo com a Tabela 5.23, considerando-se que a evapotranspiração da cultura seja igual à quantidade total de água consumida pelas plantas (uso consuntivo), conclui-se que o consumo de água do gramado é de aproximadamente 582 mm/ano. No entanto, de acordo com a Tabela 5.24, considerando as médias mensais das chuvas, percebe-se que, durante a maior parte do ano, a precipitação conseguiria suprir a demanda de água do gramado.

Tabela 5.24 – Diferenças mensais entre precipitação e evapotranspiração da cultura

Meses	P (mm/mês)	ETc (mm/mês)	P - ETc (mm/mês)
Jan	338,78	55,76	283,02
Fev	182,77	52,05	130,72
Mar	196,5	42,9	153,6
Abr	78,44	51,93	26,51
Mai	48,08	48,2	-0,12
Jun	7,83	47,47	-39,64
Jul	12,9	49,67	-36,77
Ago	22,17	52,16	-29,9
Set	65,83	57,96	7,87
Out	120,37	43,3	77,07
Nov	229,5	45,5	184
Dez	346,11	35,87	310,24

Acumulando-se os valores negativos obtidos na Tabela 5.24, conclui-se que, durante os meses de maio a agosto, período em que as precipitações mensais não suprem as necessidades de água do gramado, tem-se um déficit de aproximadamente 106 milímetros. Sendo a área do gramado igual a 7.140 m², pode-se concluir que ele demanda em torno de 760 m³ de água nos meses de seca.

5.5 - Dimensionamento do reservatório para captação de água de chuva

Segundo TOMAZ (2003), o método (ou diagrama de massas) de Rippl é comumente usado em Hidrologia para a regularização de vazões em reservatórios, com o objetivo de garantir o abastecimento de água constante. O diagrama de Rippl é obtido traçando-se gráficos do volume e da demanda acumulados (ordenada) versus o tempo (na abscissa). O volume do reservatório é obtido por meio do balanço entre a demanda e o volume de água acumulados no período de estiagem. Esse método pode ser aplicado para situações em que a demanda seja constante e para outras em que a demanda é variável.

A seguir são dimensionados reservatórios para captação de água de chuva, por meio do diagrama de Rippl, para três situações distintas, utilizando-se a série histórica de precipitações observadas na estação pluviométrica de Saramenha, em Ouro Preto-MG, no período de 1982 a 2004:

Ø Situação 1:

Reservatório para precipitações médias mensais entre 1982 a 2004.

Ø Situação 2:

Reservatório para o ano com menor precipitação anual total no período.

Ø Situação 3:

Reservatório para o ano com maior estiagem no período.

As tabelas para a construção dos diagramas de Rippl para demanda variável, nos três casos analisados, foram construídas por meio das seguintes colunas:

Ø Coluna 1: os meses de janeiro a dezembro.

Ø Coluna 2: alturas pluviométricas mensais.

Ø Coluna 3: volumes mensais de chuva afluentes ao gramado, obtidos por meio produto entre as alturas pluviométricas mensais e a área do gramado.

Ø Coluna 4: volumes mensais de chuva acumulados.

Ø Coluna 5: valores mensais de evapotranspiração de cultura (ETc) para o gramado.

∅ Coluna 6: demandas mensais de água do gramado, obtidas por meio do produto entre os valores mensais de ETc e a área do gramado.

∅ Coluna 7: demandas mensais de água acumuladas.

5.5.1 - Diagrama de Rippl para precipitações mensais médias

A Tabela 5.25 mostra os dados para a construção do diagrama de massas de Rippl para o gramado utilizando-se as precipitações mensais médias, no período de 1982 a 2004, observadas na estação pluviométrica de Saramenha.

Tabela 5.25 - Dados para a construção do digrama de massas de Rippl/Precipitações mensais médias

Meses	P (mm)	Vol. de chuva (m ³)	Vol. de chuva acumulado (m ³)	ETc (mm)	Demanda (m ³)	Demanda acumulada (m ³)
Coluna 1	Coluna 2	Coluna 3	Coluna 4	Coluna 5	Coluna 6	Coluna 7
Jan	338,7	2418,88	2418,88	55,76	398,12	398,12
Fev	182,7	1304,97	3723,85	52,05	371,63	769,75
Mar	196,5	1403	5126,85	42,9	306,3	1076,05
Abr	78,4	560	5686,85	51,93	370,78	1446,83
Mai	48	343,29	6030,14	48,2	344,15	1790,98
Jun	7,8	55,9	6086,04	47,47	338,93	2129,91
Jul	12,9	92,1	6178,14	49,67	354,65	2484,56
Ago	22,1	158,29	6336,43	52,16	372,42	2856,98
Set	65,8	470	6806,43	57,96	413,83	3270,81
Out	120,3	859,44	7665,87	43,3	309,16	3579,97
Nov	229,	1638,63	9304,5	45,5	324,87	3904,84
Dez	346	2471,22	11775,72	35,87	256,11	4160,95
Total	1649	11775,72		582,77	4160,95	

A Figura 5.8 mostra o diagrama de massas obtido com o uso da Tabela 5.25

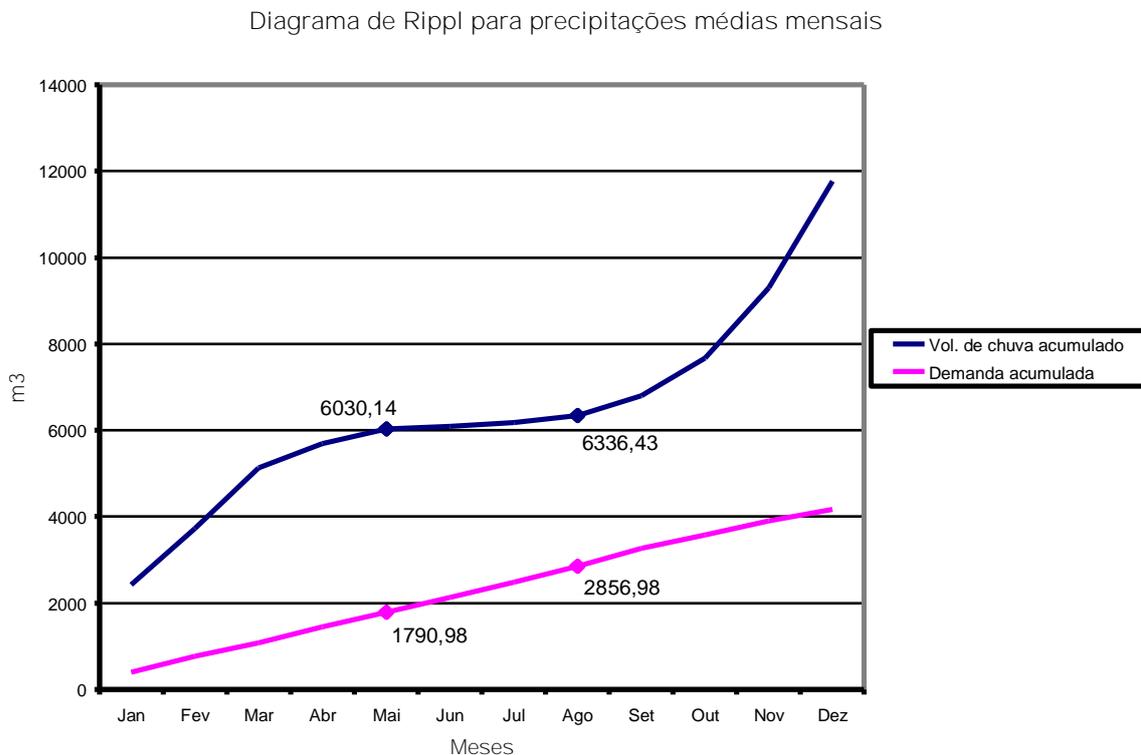


Figura 5.8 - Diagrama de Rippl.para precipitações médias mensais

Os pontos destacados na curva dos volumes acumulados correspondem aos pontos em que há uma mudança na inclinação de retas tangentes a eles em relação à inclinação de tangentes traçadas nos pontos correspondentes na curva de demanda acumulada, ou seja, caracterizam o início e o final do período em que a demanda é maior que o volume afluente ao gramado por meio da precipitação (período de estiagem).

Sendo assim, por meio da diferença entre a demanda (volume necessário para atender as necessidades do gramado) e o volume (volume de chuva disponível para o gramado) acumulados no período, conclui-se que é necessário um reservatório de aproximadamente 760 m³ para suprir a demanda de água do gramado no período de estiagem.

5.5.2 - Diagrama de Rippl para o ano com menor precipitação total anual

De acordo com a Tabela 5.4, que mostra os valores de precipitações anuais da série histórica registrada na estação pluviométrica de Saramenha, observa-se que, no período de 1982 a 2004, o ano de 1990 foi o que apresentou o menor valor de precipitação total anual, sendo este de 1021 milímetros.

A Tabela 5.26 mostra os dados para a construção do diagrama de massas de Rippl para o gramado, utilizando-se as alturas pluviométricas registradas no ano de 1990.

Tabela 5.26 - Dados para a construção do digrama de massas de Rippl/Ano com menor precipitação total anual (1990)

Meses	P (mm)	Vol. de chuva (m ³)	Vol. de chuva acumulado (m ³)	ETc (mm)	Demanda (m ³)	Demanda acumulada (m ³)
Coluna 1	Coluna 2	Coluna 3	Coluna 4	Coluna 5	Coluna 6	Coluna 7
Jan	93,6	668,3	668,3	55,76	398,12	398,12
Fev	141,4	1010	1678,3	52,05	371,63	769,75
Mar	109,9	784,68	2462,98	42,9	306,3	1076,05
Abr	75	535,5	2998,48	51,93	370,78	1446,83
Mai	61,9	442	3440,48	48,2	344,15	1790,98
Jun	12,4	88,53	3529	47,47	338,93	2129,91
Jul	30,7	219,2	3748,21	49,67	354,65	2484,56
Ago	54,4	388,4	4136,61	52,16	372,42	2856,98
Set	44,9	320,58	4457,19	57,96	413,83	3270,81
Out	69,8	498,37	4955,56	43,3	309,16	3579,97
Nov	159,4	1138	6093,56	45,5	324,87	3904,84
Dez	167,6	1196,6	7290,16	35,87	256,11	4160,95
Total	1021	7290,16		582,77	4160,95	

A Figura 5.9 mostra o diagrama de massas obtido com o uso da Tabela 5.26.

Diagrama de Rippl / Ano de 1990

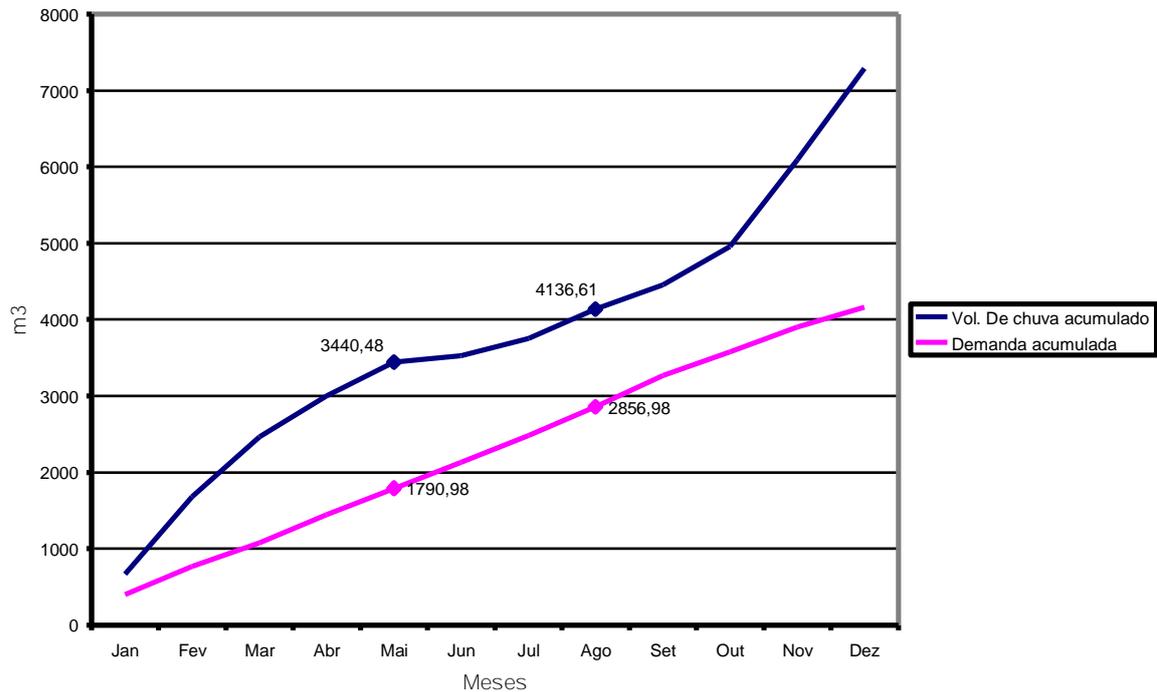


Figura 5.9 - Diagrama de Rippl para ano com menor precipitação total anual/1990

De acordo com a mesma definição exposta no item 5.5.1, o volume do reservatório pode ser obtido a partir da diferença entre a demanda e o volume acumulados no período de estiagem, que, de acordo com a Figura 5.9, começa no mês de maio e termina no mês de agosto. Portanto, pode-se concluir que, para os dados de precipitação utilizados, é necessário um reservatório de aproximadamente 370 m³ para suprir a demanda de água do gramado nos meses de estiagem.

Apesar de o ano de 1990 ter apresentado o menor valor de precipitação total anual no período analisado, o diagrama de Rippl mostrou que, para os valores de precipitações mensais desse ano, o volume do reservatório para garantir a demanda de água do gramado nos meses de estiagem é menor que o obtido para os valores médios de precipitação para o mesmo período. Isso mostra que nem sempre o ano com a menor precipitação total é o ano que apresenta a maior estiagem, indicando uma distribuição mais uniforme das chuvas durante o ano, fazendo com que o déficit hídrico nos meses em que tradicionalmente ocorre estiagem seja menor que a média.

5.5.2 - Diagrama de Rippl para o ano com maior período de estiagem

De acordo com a Tabela 5.4, que mostra os valores de precipitações anuais da série histórica registrada na estação pluviométrica de Saramenha, observa-se que, no período de 1982 a 2004, o ano de 1999, com uma precipitação total anual de 1314 milímetros, foi o que apresentou a maior estiagem, com precipitação acumulada entre os meses de maio a agosto de 5,5 milímetros. A Tabela 5.27 mostra os dados para a construção do diagrama de massas de Rippl para o gramado, utilizando-se as alturas pluviométricas registradas no ano de 1999.

Tabela 5.27 - Dados para a construção do digrama de massas de Rippl/Ano com maior estiagem (1999)

Meses	P (mm)	Vol. de chuva (m ³)	Vol. de chuva acumulado (m ³)	ETc (mm)	Demanda (m ³)	Demanda acumulada (m ³)
Coluna 1	Coluna 2	Coluna 3	Coluna 4	Coluna 5	Coluna 6	Coluna 7
Jan	152,9	1092	1092	55,76	398,12	398,12
Fev	120,2	858,2	1950	52,05	371,63	769,75
Mar	336	2400	4350	42,9	306,3	1076,05
Abr	23	164,2	4514,2	51,93	370,78	1446,83
Mai	1,5	10,7	4524,9	48,2	344,15	1790,98
Jun	3,9	27,9	4552,8	47,47	338,93	2129,91
Jul	0,1	0,714	4553,5	49,67	354,65	2484,56
Ago	0	0	4553,5	52,16	372,42	2856,98
Set	37,8	270	4823,5	57,96	413,83	3270,81
Out	87,6	625,5	5449	43,3	309,16	3579,97
Nov	298,6	2132	7581	45,5	324,87	3904,84
Dez	252,8	1805	9386	35,87	256,11	4160,95
Total	1314,4	9386		582,77	4160,95	

A Figura 5.10 mostra o diagrama de massas obtido com o uso da Tabela 5.27.

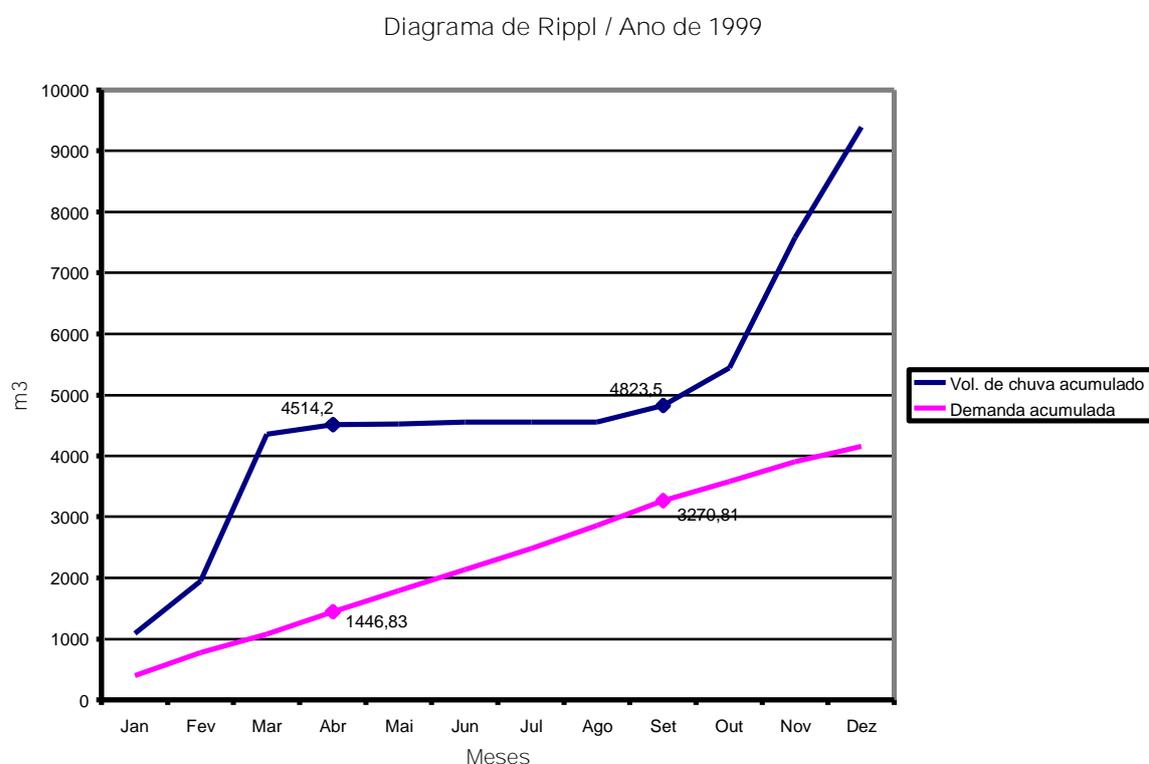


Figura 5.10 - Diagrama de Rippl para o ano com maior estiagem/1999

Portanto, de acordo com os valores destacados na Figura 5.10 pode-se concluir que, para os dados de precipitação utilizados, é necessário um reservatório de aproximadamente 1515 m^3 para suprir a demanda de água do gramado nos meses de estiagem, sendo esse valor praticamente duas vezes maior do que o volume do reservatório obtido para as precipitações mensais médias no período considerado.

Além de apresentar o menor valor de precipitação acumulada entre os meses de maio a agosto (período médio em que ocorre a estiagem), no ano de 1999, o período de estiagem foi maior em relação à média, começando no mês de abril e terminando no mês de setembro.

5.6 - Discussões

De acordo com os dados apresentados na Tabela 5.8, que mostra os volumes mensais médios de água de chuva possíveis de serem captados do telhado do ginásio poliesportivo do CEDUFOP, pode-se observar que os meses de dezembro e janeiro conseguem, independentemente entre si, fornecer o volume de chuva médio necessário para satisfazer a demanda média do gramado nos meses de estiagem, de cerca de 760 m³.

Na Tabela 5.28 são mostrados os volumes mensais e totais anuais de chuva possíveis de serem captados do ginásio, para o ano com menor precipitação total (1990) e para o ano com maior estiagem (1999).

Tabela 5.28 - Volumes mensais e anuais aproveitáveis/Anos de 1990 e 1999

1990			1999		
Meses	P (mm)	Vol (m ³)	Meses	P (mm)	Vol (m ³)
jan	93,6	241,3	Jan	152,9	394,2
fev	141,4	364,7	Fev	120,2	310
mar	109,9	283	Mar	336	866,3
abr	75	193,4	Abr	23	59,3
mai	61,9	159,6	Mai	1,5	3,9
jun	12,4	32	Jun	3,9	10
jul	30,7	79,2	Jul	0,1	0,25
ago	54,4	140,3	Ago	0	0
set	44,9	115,7	Set	37,8	97,5
out	69,8	180	Out	87,6	226
nov	159,4	411	Nov	298,6	770
dez	167,6	432	Dez	252,8	652
Total	1021	2632,2	Total	1314,4	3389,45

Por meio dos dados apresentados na Tabela 5.28, observa-se que, nas duas situações apresentadas, os volumes totais de água aproveitáveis do telhado do ginásio conseguem suprir a demanda para os reservatórios de, respectivamente, 370 m³ e 1515 m³.

Ø Adoção de sistema de auto-limpeza para a água de chuva

Apesar de os resultados obtidos com as análises dos parâmetros de qualidade da água de chuva mostrarem que a água é apropriada ao emprego de irrigação do gramado, os valores de outros parâmetros não analisados são desconhecidos. Portanto, por medida de segurança em relação a eventuais problemas na qualidade da água captada e problemas operacionais que impurezas presentes na água possam causar, é recomendável a utilização de um sistema de auto-limpeza, que evite a chegada do *first flush* ao reservatório.

Existem diversos tipos de sistemas de auto-limpeza, manuais ou automáticos. A escolha de determinado sistema deve ser feita com base em questões financeiras e operacionais e também levar em consideração o uso final da água de chuva.

É recomendado o descarte de uma parcela correspondente aos primeiros 1 a 2 milímetros de chuva. Considerando-se que a área do telhado do ginásio é de 3195 m², e adotando-se o descarte de 2 milímetros iniciais de chuva, conclui-se que o reservatório de auto-limpeza deve ter um volume de aproximadamente 6,5 m³.

O reservatório de auto-limpeza deve ser esvaziado e limpo regularmente, sempre após períodos sem a ocorrência de precipitação. Outra medida que deve ser adotada para se garantir uma boa qualidade de água de chuva é captá-la durante os meses de maior incidência de precipitação.

Ø Localização do reservatório

A área sugerida para a construção do reservatório foi a localizada ao lado do ginásio poliesportivo, por não ter uso previsto para outros fins, por estar em cota elevada em relação à área a ser irrigada e por apresentar grande área superficial. A adoção de um reservatório enterrado pode garantir o uso futuro dessa área.

A área sugerida para a localização do reservatório é mostrada na Figura 5.11.



Figura 5.11 – Área sugerida para a construção do reservatório
Fonte: Google Earth

Ø Sistema de irrigação por aspersão

A irrigação por aspersão é um método de aplicação de água às plantas em forma de chuva artificial, por meio de dispositivos especiais, abastecidos com água sob pressão. Esses dispositivos, denominados aspersores, têm a função de pulverizar os jatos d'água que saem das tubulações, e devem assegurar uma distribuição adequada da água sobre a superfície do terreno (GOMES, 1997).

A Figura 5.12 mostra uma representação esquemática de um aspersor e seus componentes.

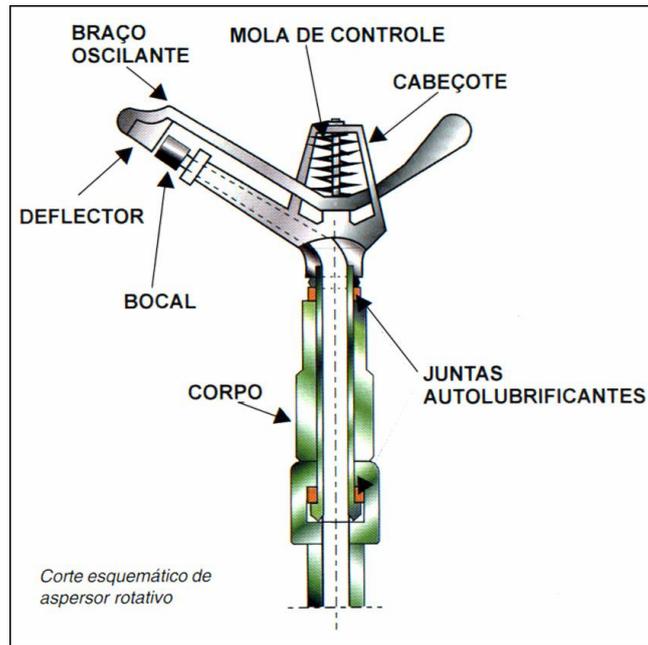


Figura 5.12 - Representação esquemática de um aspersor rotativo
 Fonte: www.fabrimar.com.br

As empresas fabricantes de aspersores fornecem catálogos que especificam as características técnicas de cada aspersor. Para cada aspersor, caracterizado pelo diâmetro dos bocais, se especificam a vazão e o alcance, correspondentes a diversas pressões de funcionamento (GOMES, 1997). A Tabela 5.29 mostra um exemplo de um catálogo de aspersor.

Tabela 5.29 - Tabelas de desempenho do aspersor da marca Sempre Verde 360°

TABELAS DE DESEMPENHO

Sempreverde 360°			
pressão na base (mca)	vazão total m ³ /h	raio ou alcance (m)	Altura máx. do Jato (m)
5	0,34	1,5	0,8
10	0,47	2,7	0,9
15	0,57	3,6	1,1
20	0,65	4,2	1,3
25	0,72	4,7	1,4
30	0,79	5,0	1,5

Fonte: www.fabrimar.com.br

Segundo dados da Prefeitura do Campus da UFOP, o desnível entre a superfície da área lateral ao ginásio e o gramado pode fornecer uma pressão de 8 metros de coluna d'água (m.c.a) ao sistema de irrigação. Sendo assim, um sistema de irrigação com aspersores de pressão de serviço muito baixa (que operaram com pressão entre 4 e 10 m.c.a) é o mais indicado para a irrigação do gramado, permitindo que a pressão de funcionamento dos aspersores seja garantida pelo desnível entre o reservatório e o gramado.

Considerando-se o exemplo de especificações dos aspersores mostrados na Tabela 5.29, observa-se que um reservatório enterrado com profundidade de até 2 metros poderia fornecer uma pressão próxima à mínima (6 metros de coluna d'água) para o funcionamento do modelo de aspersor disponível.

De acordo com a Tabela 5.8, que mostra os volumes médios mensais e anual que podem ser captados do telhado do ginásio, cerca de 4200 m³ de água de chuva poderiam ser captados. Adotando-se uma profundidade máxima de 2 metros para o reservatório, a fim de não comprometer o funcionamento do sistema de irrigação, um volume de chuva muito maior do necessário à utilização no gramado poderia ser captado, na hipótese de haver a disponibilidade de área superficial.

Reservando-se o volume necessário à irrigação do gramado durante os meses de estiagem, a água de chuva ainda poderia ser aproveitada em outras atividades tais como:

- utilização em descargas sanitárias;
- lavagens de pisos e equipamentos;
- reserva para prevenção de incêndios;
- rega de jardins e plantas;
- outros fins não-potáveis.

ESTUDO DE CASO 2

USO DE ÁGUA DE CHUVA PARA FINS NÃO POTÁVEIS EM INSTALAÇÕES PREDIAIS HIDROSSANITÁRIAS

6.1 - Caracterização da área de estudo

O conjunto dos Laboratórios da Escola de Minas, localizado no Campus da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), é formado por três prédios, sendo eles:

- ∅ Laboratório do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais (DEMET)
- ∅ Laboratórios dos Departamentos de Engenharia de Controle e Automação (DECAT) e de Engenharia de Produção (DEPRO)
- ∅ Laboratório do Departamento de Engenharia Civil (DECIV)

As Figuras 6.1, 6.2 e 6.3 mostram, respectivamente, as vistas parciais dos prédios do Departamento da Engenharia Metalúrgica e de Materiais, dos Departamentos das Engenharias de Controle e Automação e de Produção e do Departamento da Engenharia Civil. A Tabela 6.1 mostra dados dos prédios, obtidos junto à Prefeitura Universitária da UFOP.



Figura 6.1 -Vista parcial do prédio do Laboratório do Departamento da Engenharia Metalúrgica e de Materiais (DEMET)



Figura 6.2 -Vista parcial do prédio dos Laboratórios dos Departamentos das Engenharias de Controle e Automação e de Produção (DECAT/DEPRO)



Figura 6.3 - Vista parcial do prédio dos Laboratórios do Departamento da Engenharia Civil (DECIV)

Tabela 6.1 - Dados dos prédios dos Laboratórios da Escola de Minas

Telhados DEMET e DECIV	
comprimento	62,7 m
largura	22,8 m
altura	7 m
área útil total	1367,5 m ²
Telhado DECAT/DEPRO	
comprimento	30 m
largura	22,5 m
altura	7 m
área útil total	600 m ²
Canteiro frontal	
área útil total	1140 m ²

6.2 - Previsão do volume de água de chuva

A previsão dos volumes de chuva possíveis de serem captados de cada prédio foi realizada com base na Equação 5.1:

$$V = (P * A * C) / 1000$$

Sendo:

V = volume de chuva aproveitável

P = precipitações mensais médias, obtidas da série histórica observada na estação pluviométrica de Saramenha, apresentadas na Tabela 5.4

A = área útil do telhado

C = coeficiente de runoff, igual a 0,8

As Tabelas 6.2 e 6.3 mostram, respectivamente, os volumes médios de chuva possíveis de serem captados dos telhados dos prédios dos Departamentos de Engenharia Metalúrgica e de Materiais e de Engenharia Civil, e dos Departamentos de Engenharia de Controle e Automação e de Engenharia de Produção.

Tabela 6.2 - Volumes de chuva aproveitáveis dos prédios do DEMET e do DECIV

DEMET e DECIV		
Meses	P (mm/mês)	V (m ³ /mês)
Jan	338,78	371
Fev	182,77	200
Mar	196,5	215
Abr	78,44	86
Mai	48,08	52,6
Jun	7,83	8,6
Jul	12,9	14
Ago	22,17	24,25
Set	65,83	72
Out	120,37	164,5
Nov	229,5	251
Dez	346,11	378,6
V total (m ³ /ano)		1837,55

Tabela 6.3 - Volumes de chuva aproveitáveis do prédio do DECAT/DEPRO

DECAT/DEPRO		
Meses	P (mm/mês)	V (m ³ /mês)
Jan	338,78	162,6
Fev	182,77	87,7
Mar	196,5	94,3
Abr	78,44	37,65
Mai	48,08	23
Jun	7,83	3,76
Jul	12,9	6,2
Ago	22,17	10,65
Set	65,83	31,6
Out	120,37	57,8
Nov	229,5	110
Dez	346,11	166,2
V total (m ³ /ano)		791,46

De acordo com as Tabelas 6.2 e 6.3, pode-se concluir que é possível captar, aproximadamente, 1837 m³ por ano do telhado do DEMET e do telhado do DECIV (já que os telhados dos dois prédios possuem áreas iguais) e 791 m³ por ano do telhado do prédio do DECAT e DEPRO.

A Figura 6.4 mostra a variação anual dos volumes aproveitáveis de água de chuva para os três prédios.

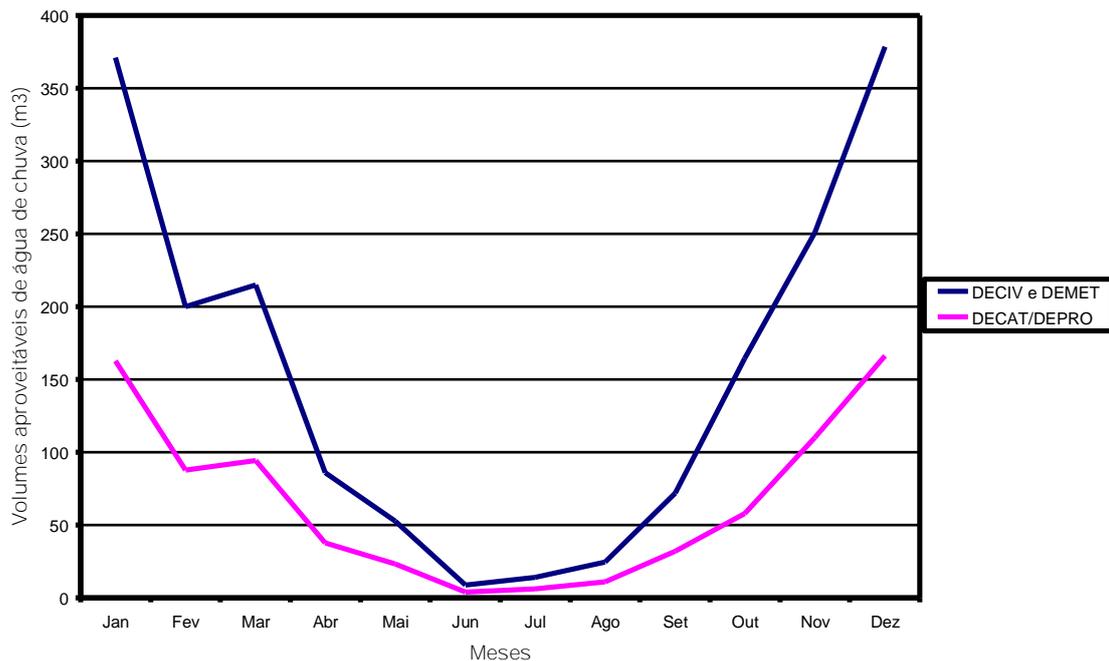


Figura 6.4 - Variação anual média dos volumes aproveitáveis de água de chuva para os prédios do DEMET, DECIV e DECAT/DEPRO

6.3 - Previsão do consumo não-potável de água

O Campus da Universidade Federal de Ouro Preto é abastecido de água por meio de captação de poços artesianos próprios, não utilizando o sistema municipal de distribuição de água. Por esse motivo, não existem no Campus hidrômetros e registros de consumo de água.

Portanto, a fim de estimar o consumo não potável de água nos prédios dos Laboratórios da Escola de Minas, considerou-se como usos não potáveis o uso de descargas sanitárias e a irrigação do jardim central. Para estimar o consumo dessas duas atividades, foi utilizada a Tabela 6.4, que mostra o consumo mensal de água em bacias sanitárias em função do número de pessoas que utilizam o prédio diariamente e o consumo de um gramado em função da área.

Tabela 6.4 - Consumo específico de água em bacias sanitárias e irrigação de gramados

Consumo em bacias sanitárias em função do nº de funcionários		Consumo de gramados em função da área	
peessoas.	consumo/mês	área	consumo/mês
nº	m ³	m ²	m ³
5	5	50	1
10	9	100	2
15	14	150	2
20	18	200	3
25	23	250	4
30	27	300	5
35	32	350	6
40	36	400	6
45	41	450	7
50	45	500	8
55	50	550	9
60	54	600	10
65	59	650	10
70	63	700	11
75	68	750	12
80	72	800	13
85	77	850	14
90	81	900	14
95	86	950	15
100	90	1000	16

Fonte: Adaptada de TOMAZ, 2003

A Tabela 6.5 mostra o número de funcionários e o número médio de estudantes que utilizam os prédios diariamente, fornecidos pelas Secretarias dos Departamentos da Engenharia Metalúrgica e de Materiais, da Engenharia de Controle e Automação, da Engenharia de Produção e da Engenharia Civil.

Tabela 6.5 - Número de pessoas que diariamente utilizam os prédios dos Laboratórios da Escola de Minas

	nº de funcionários	nº médio de estudantes	Total
DEMET	12	60	72
DECAT/DEPRO	4	60	64
DECIV	8	60	68

Fonte: Secretarias dos departamentos DEMET, DECAT, DEPRO e DECIV

A Tabela 6.6 mostra os valores aproximados do consumo de água em bacias sanitárias para os três prédios e o consumo na irrigação do jardim central. Os valores de consumo anual em descargas sanitárias foram obtidos considerando-se um consumo constante durante todo o ano; já o valor do consumo anual com irrigação do gramado do jardim central foi obtido considerando-se que a necessidade de irrigação somente exista no período compreendido entre os meses de maio e agosto, período em que, historicamente, ocorre estiagem na região de Ouro Preto - MG.

Tabela 6.6 - Consumo não potável de água nos prédios dos Laboratórios da Escola de Minas.

Consumo aproximado		
bacias sanitárias	m ³ /mês	m ³ /ano
DEMET	68	816
DECAT/DEPRO	59	708
DECIV	63	756
canteiro frontal	17	64

Conforme a Tabela 6.6, estima-se que os consumos não potáveis anuais (em descargas sanitárias) nos prédios do DEMET, do DECAT/DEPRO e do DECIV representam, respectivamente, 44%, 89% e 41% dos volumes médios possíveis de serem captados dos respectivos telhados.

6.4 - Dimensionamento dos reservatórios para captação de água de chuva

O dimensionamento dos reservatórios para cada prédio foi realizado por meio do método de Rippl para demanda constante, descrito por TOMAZ (2003). No item 5.5, concluiu-se que a situação crítica para o dimensionamento do reservatório ocorre com a utilização das precipitações mensais registradas no ano que apresentou o maior período de estiagem (ano de 1999) dentro da série histórica de precipitações observadas de 1982 a 2004 na estação pluviométrica de Saramenha. Portanto, no dimensionamento dos reservatórios para os prédios dos Laboratórios da Escola de Minas, foram utilizados os dados de precipitação do ano de 1999.

As tabelas do método de Rippl foram construídas com o uso das seguintes colunas:

- ∅ Coluna 1: Os meses de janeiro a dezembro
- ∅ Coluna 2: As precipitações mensais para o ano com maior período de estiagem (ano de 1999), observadas na estação pluviométrica de Saramenha, em Ouro Preto/MG
- ∅ Coluna 3: Os volumes mensais possíveis de serem captados dos telhados de cada prédios, obtidos por meio da Equação 5.1, utilizando-se as precipitações mensais do ano de 1999
- ∅ Coluna 4: As demandas mensais de água para uso em descargas sanitárias, apresentadas na Tabela 6.6
- ∅ Coluna 5: Diferença entre volume de chuva e demanda. Os valores positivos mostram que o volume disponível é maior que a demanda; os valores negativos mostram que a demanda é maior que o volume disponível
- ∅ Coluna 6: Diferença entre volumes de chuva e demanda acumulados. São acumulados os valores negativos, pois são os volumes de água necessários para satisfazer toda a demanda. O maior valor negativo obtido nesta coluna representa o volume do reservatório necessário para regularizar a disponibilidade de água nos meses de estiagem

Ø Coluna 7: Mostra a situação do reservatório em cada mês, por meio das seguintes legendas:

E = água escoando pelo extravasor (excesso de água)

D = nível da água baixando

S = nível da água subindo

6.4.1 - Prédio do DEMET

A Tabela 6.7 mostra o método de Rippl para o dimensionamento do reservatório de água de chuva para o prédio do Laboratório do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais (DEMET).

Tabela 6.7 - Método de Rippl para dimensionamento do reservatório para o prédio do DEMET

Meses	P (mm)	Vol. chuva (m ³)	Demanda (m ³)	Vol. de chuva - Demanda	(Vol. de chuva - Demanda) acum.	Situação
Col. 1	Col. 2	Col. 3	Col. 4	Col. 5	Col. 6	Col. 7
Jan	152,9	167,2	68	99,2		E
Fev	120,2	131,5	68	63,5		E
Mar	336	367,5	68	299,5		E
Abr	23	25	68	-43	-43	D
Mai	1,5	1,65	68	-66,35	-109,3	D
Jun	3,9	4,3	68	-63,7	-173	D
Jul	0,1	0,1	68	-67,9	-241	D
Ago	0	0	68	-68	-309	D
Set	37,8	41,4	68	-26,6	-335,5	D
Out	87,6	95,8	68	27,8	-307,7	S
Nov	298,6	326,5	68	258,5	-49,2	E
Dez	252,8	276,5	68	208,5	159,3	E
	1314,4	1437,5	816			

De acordo com a tabela, o maior valor negativo (em negrito) obtido na Coluna 6 corresponde ao volume do reservatório necessário para regularizar a disponibilidade de água nos meses de estiagem, ou seja, aproximadamente 336 m³.

6.4.2 - Prédio do DECAT/DEPRO

A Tabela 6.8 mostra o método de Rippl para o dimensionamento do reservatório de água de chuva para o prédio dos Laboratórios dos Departamentos de Engenharia de Controle e Automação e de Engenharia de Produção Materiais (DECAT/DEPRO).

Tabela 6.8 - Método de Rippl para dimensionamento do reservatório para o prédio do DECAT/DEPRO

Meses	P (mm)	Vol. chuva (m ³)	Demanda (m ³)	Vol. de chuva - Demanda	(Vol. de chuva - Demanda) acum.	Situação
Col. 1	Col. 2	Col. 3	Col. 4	Col. 5	Col. 6	Col. 7
Jan	152,9	73,4	59	14,4		E
Fev	120,2	57,7	59	-1,3	-1,3	D
Mar	336	161,3	59	102,3	101	E
Abr	23	11	59	-48	53	D
Mai	1,5	0,7	59	-58,3	-5,3	D
Jun	3,9	1,8	59	-57,2	-62,5	D
Jul	0,1	0,05	59	-59	-121,5	D
Ago	0	0	59	-59	-180,5	D
Set	37,8	18,2	59	-40,8	-221,3	S
Out	87,6	42	59	-17	-238,3	E
Nov	298,6	143,4	59	84,4	-154	S
Dez	252,8	121,4	59	62,4	-91,2	E
	1314,4		708			

De acordo com a tabela, o maior valor negativo (em negrito) obtido na Coluna 6 corresponde ao volume do reservatório necessário para regularizar a disponibilidade de água no período de estiagem, ou seja, aproximadamente 238 m³.

6.4.3 - Prédio do DECIV

A Tabela 6.9 mostra o método de Rippl para o dimensionamento do reservatório de água de chuva para o prédio do Laboratório do Departamento de Engenharia de Civil (DECIV).

Tabela 6.9 - Método de Rippl para dimensionamento do reservatório para o prédio do DECIV

Meses	P (mm)	Vol. chuva (m ³)	Demanda (m ³)	Vol. de chuva - Demanda	(Vol.de chuva - Demanda) acum.	Situação
Col. 1	Col. 2	Col. 3	Col. 4	Col. 5	Col. 6	Col. 7
Jan	152,9	167,2	63	104,2		E
Fev	120,2	131,5	63	68,5		E
Mar	336	367,5	63	304,5		E
Abr	23	25	63	-38	-38	D
Mai	1,5	1,65	63	-61,35	-99,3	D
Jun	3,9	4,3	63	-58,7	-158	D
Jul	0,1	0,1	63	-62,9	-221	D
Ago	0	0	63	-63	-284	D
Set	37,8	41,4	63	-21,6	-305,6	D
Out	87,6	95,8	63	32,8	-272,8	S
Nov	298,6	326,5	63	263,5	-9,3	E
Dez	252,8	276,5	63	213,5	204,2	E
	1314,4	1437,5	756			

Da mesma forma como exposto nos itens anteriores, o volume de reservatório para o prédio do DECIV deve ser de aproximadamente 306 m³.

6.5 - Discussões

Conforme apresentado anteriormente, são necessários reservatórios para água de chuva de 335 m³, 238 m³ e 305 m³ para garantir a regularização do suprimento da demanda de água não potável (uso em descargas sanitárias), respectivamente, nos prédios dos Laboratórios dos Departamentos de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, de Engenharia de Controle e Automação e Engenharia de Produção, e de Engenharia Civil.

Com o objetivo de preservar a qualidade da água a ser armazenada e evitar problemas operacionais no reservatório e no sistema de distribuição da água, devem ser adotados reservatórios de auto-limpeza, com dimensões de 3 m³ para os prédios do DEMET e DECIV, e de 1,5 m³ para o prédio do DECAT, considerando um descarte inicial de 2 mm de chuva.

Devido à quantidade de água captável dos telhados, esse descarte de água não compromete o abastecimento dos reservatórios de acumulação.

A demanda de água com irrigação do gramado do jardim central, no conjunto dos prédios, foi estimada em 64 m³, nos meses de estiagem (maio a agosto). Para satisfazer essa demanda, é recomendado o acréscimo desse volume em algum dos reservatórios obtidos anteriormente, de preferência nos reservatórios dos prédios do DEMET ou do DECIV, por apresentarem um maior volume de água de chuva disponível para captação, não prejudicando, assim, a disponibilidade de água para ser utilizada nos prédios.

Devido às dimensões dos telhados, principalmente dos telhados dos prédios dos laboratórios do DEMET e do DECIV, que possuem a mesma área útil, o volume de água de chuva captável é bem maior do que a demanda para o uso em descargas sanitárias. Sendo assim, outros usos não potáveis podem ser identificados nesses prédios.

Desta forma, o aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis nos prédios dos Laboratórios da Escola de Minas é viável, em termos da disponibilidade de água para aproveitamento, sendo que a viabilidade técnica e financeira fica dependente da disponibilidade de área para a instalação dos reservatórios.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Ambos os estudos de caso realizados com o objetivo de se avaliar a viabilidade do aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis no Campus da Universidade Federal de Ouro Preto sugerem que a aplicação dessa técnica pode ser eficiente, em termos qualitativos e quantitativos, restando analisar as questões financeiras envolvidas na aplicação prática dos sistemas de aproveitamento da água de chuva.

As análises da qualidade da água de chuva demonstraram que a mesma possui características compatíveis com os usos previstos neste trabalho, além de ser própria também para outros usos diversos.

As características das precipitações observadas na região de Ouro Preto, cujo valor total anual médio foi estimado em 1649 milímetros, mostraram que é possível captar-se grandes volumes de água de chuva. No Campus da Universidade Federal de Ouro Preto, a existência de telhados de grandes dimensões permite a coleta de volumes de água de chuva muito superiores às demandas estimadas no estudo de caso para o uso de água para irrigação de gramado e no estudo de caso para aproveitamento de água de chuva para usos não potáveis em instalações prediais hidrossanitárias.

Em ambos estudos de caso realizados, foram dimensionados reservatórios para acumulação da água de chuva para fins de aproveitamento para a situação considerada crítica, ou seja, os volumes dos reservatórios foram obtidos com a utilização de alturas pluviométricas observadas no ano da série histórica de precipitações utilizada que apresentou o maior período de estiagem. Com isso, grandes volumes para os reservatórios foram obtidos, de forma a garantir o suprimento de água de chuva nessa situação.

No entanto, levando-se em consideração os usos previstos para a água de chuva no presente trabalho, observa-se que esta situação pode não ser a mais adequada, pois, para a adoção destes reservatórios, seriam necessárias grandes áreas superficiais. Sugere-se, portanto, a adoção de reservatórios de menores volumes, complementando-se o suprimento

de água para os fins previstos (caso haja a necessidade) com água proveniente do sistema de abastecimento utilizado no Campus da Universidade Federal de Ouro Preto.

De acordo com a metodologia apresentada neste trabalho, outras aplicações da técnica de aproveitamento de água de chuva poderiam ser previstas no Campus da Universidade Federal de Ouro Preto. No entanto, apesar de ter-se comprovado a viabilidade (em termos de qualidade e quantidade de água) dos sistemas de aproveitamento de água de chuva no Campus, sua aplicação direta fica dependente da disponibilidade de área superficial para a construção dos reservatórios (o que muitas vezes pode tornar projetos de captação de água de chuva inviáveis), e de análises de viabilidade financeira.

Visando a redução nos custos envolvidos na aplicação dos sistemas, sugere-se a realização de estudos adicionais, relativos aos aspectos construtivos para os reservatórios, tais como estudos sobre a escolha das áreas para localização dos reservatórios (como por exemplo, a busca por áreas que apresentem solo com baixa permeabilidade, a fim de se reduzir a necessidade de utilização de material na construção dos mesmos), e estudos sobre a utilização de materiais que apresentem custos reduzidos.

Referências bibliográficas

ANJOS, José Barbosa *et al.* *Métodos de Captação de Água de Chuva in situ*. Conferência Internacional sobre Sistemas de Captação de Água de Chuva, 9, 1999, Petrolina. Anais....Petrolina: Associação Brasileira de captação e manejo de Água de Chuva, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15527: *Água de chuva- Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis*. Rio de Janeiro, 2007.

BRAGA, Benedito *et al.* *Introdução á Engenharia Ambiental*. 2º Edição. São Paulo: Editora Pearson Prentice Hall, 2005.

BRUNET, Gwen. *Rainwater Harvesting: a Win-win Option*. Austin. Texas State University. 2004. Disponível em < [http:// www.arcsa-usa.org](http://www.arcsa-usa.org) > . Acesso em: 09 de maio de 2007.

CONAMA (Brasil). Resolução nº 357, de 17 Março de 2005.

FENDDRICH, Roberto; OLIYNIK, Rogério. *Manual de utilização das águas pluviais*.1ª Edição. Curitiba: Editora Livraria do Chain, 2002.

FERNANDEZ, José Carrera; GARRIDO, Raymundo José. *Economia dos Recursos Hídricos*. 1ª Edição. Editora da Universidade Federal da Bahia: Salvador, 2002.

GNADLINGER, João. *Colheita de água de chuva em áreas rurais*. Haia. 2000. Disponível em < [http:// www.abcmac.com.br](http://www.abcmac.com.br) . Acesso em 30 de abril de 2007.

GNADLINGER, João. *Impressões e lições da Oficina Internacional de Captação e Manejo de Água de Chuva*. Oficina Internacional de Captação e Manejo de Água de

Chuva, 2004, Landzou. Anais....Landzou: Associação Brasileira de captação e manejo de Água de Chuva, 2004.

GOMES, Heber Pimentel. *Engenharia de Irrigação*. 2ª Edição. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1997.

GUILHERME, Lumenna Barros; MATTOS, Arthur. *Implantação do sistema de captação de águas de chuva para avaliar a viabilidade de sua utilização. Estudo de caso: Projeto-piloto LARHISA/UFRN*. Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 16, 2005, João Pessoa. Anais....João Pessoa: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2005.

HERRMANN, Thilo; SCHMIDA, Uwe. *Rainwater utilisation in Germany: efficiency, dimensioning, hydraulic and environmental aspects*. Elsevier. 1999. Disponível em: <[http:// www.elsevier.com/locate/urbwat](http://www.elsevier.com/locate/urbwat)>. Acesso em : 20 de novembro de 2006.

[http:// www.aguadechuva.com](http://www.aguadechuva.com). Acesso em 10 de julho de 2007.

[http:// www.ana.gov.br/hidroweb](http://www.ana.gov.br/hidroweb). Acesso em 25 de Julho de 2007.

[http:// www.asabrazil.org.br](http://www.asabrazil.org.br) . Acessado em 08 de Maio de 2007.

[http:// www.bellacalha.com.br](http://www.bellacalha.com.br). Acesso em 10 de julho de 2007.

[http:// www.fabrimar.com.br](http://www.fabrimar.com.br). Acesso em 20 de Outubro de 2007.

[http:// www.googleearth.com](http://www.googleearth.com). Acesso em 10 de Setembro de 2007.

[http:// www.inmet.gov.br/clima](http://www.inmet.gov.br/clima). Acesso em 03 de Agosto de 2007.

[http:// www.pt.wikipedia.org](http://www.pt.wikipedia.org). Acesso em 20 de Abril 2007.

KITAMURA, Mariana Cristina. *Aproveitamento de água pluviais para uso não potável na PUCPR*. 2004. Monografia (graduação em Engenharia Ambiental) – Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba.

MACEDO, Jorge Antônio Barros de. *Métodos Laboratoriais de análises físico-químicas e microbiológicas*. 3ª Edição. Belo Horizonte: Conselho Regional de Química – MG, 2005.

MANCUSO, Pedro Caetano Sanches et al. *Reuso de água*. 1ª Edição. Barueri: Editora Manole, 2003.

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

NOGUEIRA, Paulo Ferraz. *Escassez de Água*. Disponível em <<http://www.uniagua.org.br>>. Acesso em 02 de maio de 2007.

PORTO, Everaldo Rocha. *Captação e Aproveitamento de Água de Chuva na Produção Agrícola dos Pequenos Produtores do Semi-árido Brasileiro: O Que Tem Sido Feito e como Ampliar Sua Aplicação no Campo*. Conferência Internacional sobre Sistemas de Captação de Água de Chuva, 9, 1999, Petrolina. Anais...Petrolina: Associação Brasileira de captação e manejo de Água de Chuva, 1999.

SILVA, Ana Karla Pessoa et al. *Reuso da Água e suas implicações jurídicas*. 1ª Edição. São Paulo: Editora Navegar, 2003.

SPERLING, Marcos Von. *Introdução á qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 2º Edição. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade federal de Minas Gerais, 1996.

TOMAZ, Plínio. *Aproveitamento de Água de Chuva para Áreas Urbanas e Fins não Potáveis*. 2º Edição. São Paulo: Editora Navegar, 2003.

TOMAZ, Plínio. *Previsão de consumo de água em gramados*. 2007. Disponível em <<http://discovirtual.uol.com.br/discovirtual/pliniotomaz/arquivos>>. Acesso em 13 de fevereiro de 2007.

TUCCI, Carlos E. M. et al. *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. 3ª Edição. Porto Alegre: Editora UFRGS/ABRH, 2004.

VIEIRA, Kátia Regina Machado; COIADO, Evaldo Miranda. *Captação, armazenamento e utilização de água de chuva*. Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 16, 2005, João Pessoa. Anais....João Pessoa: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2005.

ZAIZEN, T. et al. *The collection of rainwater from dome stadiums in Japan*. Elsevier. 1999. Disponível em: <[http:// www.elsevier.com/locate/urbwat](http://www.elsevier.com/locate/urbwat)> . Acesso em : 20 de novembro de 2006.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)