A CAPTAÇÃO RESIDENCIAL DE ÁGUA DA CHUVA PARA FINS NÃO POTÁVEIS EM PORTO ALEGRE: ASPECTOS BÁSICOS DA VIABILIDADE E BENEFÍCIOS DO SISTEMA

Rafael Simões Mano

Porto Alegre
janeiro 2004

RAFAEL SIMÕES MANO

CAPTAÇÃO RESIDENCIAL DE ÁGUA DA CHUVA PARA FINS NÃO POTÁVEIS EM PORTO ALEGRE: ASPECTOS BÁSICOS DA VIABILIDADE E BENEFÍCIOS DO SISTEMA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia na modalidade Acadêmico

Porto Alegre

janeiro 2004

M285c Mano, Rafael Simões

Captação residencial de água da chuva para fins não potáveis em porto alegre: aspectos básicos da viabilidade e benefícios do sistema / Rafael Simões Mano, - 2004.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do sul. Escola de engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre, BR-RS, 2004.

Orientação da Profª. Dra. Carin Maria Schmitt.

1. Captação de água da chuva. 2. Drenagem urbana. 3. Desenvolvimento sustentável. I. Schmitt, Carin Maria, orient. II. Título

CDU-696.121(043)

RAFAEL SIMÕES MANO

CAPTAÇÃO RESIDENCIAL DE ÁGUA DA CHUVA PARA FINS NÃO POTÁVEIS EM PORTO ALEGRE: ASPECTOS BÁSICOS DA VIABILIDADE E BENEFÍCIOS DO SISTEMA

Porto Alegre, janeiro de 2004

Prof.a Carin Maria Schmitt
Doutora pela UFRGS
Orientadora

Prof. Américo Campos Filho
Coordenador do PPGEC/UFRGS

BANCA EXAMINADORA

Prof.a Marina Sangoi de Oliveira Ilha (UNICAMP)
Doutora pela USP

Prof. André Luiz Lopes da Silveira (UFRGS)
Doutor pela Universite de Montpellier II / França

Prof. Miguel Aloysio Sattler (UFRGS)
PhD pela Leeds University / UK

Prof. Luís Carlos Bonin (UFRGS)
Mestre pela UFRGS

Dedico este trabalho a meus pais
pela compreensão e sustento durante o período de seu
desenvolvimento

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Prof. Carin Maria Schmitt, orientadora deste trabalho pela dedicação, força e companheirismo que me transmitiu durante todo o processo, ensinando-me mais do que escrever uma dissertação, a pesquisar e acreditar.

Agradeço ao colega Engenheiro Luiz Ercole pela imensa contribuição e solicitude permanente, as quais tornaram possível parte significativa desta pesquisa.

Agradeço ao Professor Luiz Carlos Bonin pelo auxílio, principalmente no início do processo, com relação aos caminhos a seguir e como faze-lo de forma organizada e séria.

Agradeço ao Professor André Silveira pela valiosa ajuda com o tratamento estatístico dos números de chuva e também com importantíssimos apontamentos em relação à drenagem urbana.

Agradeço à Engenheira Daniela Bemfica, do DEP de Porto Alegre pela total solicitude e prontidão para a obtenção de dados, principalmente de pluviometria. Agradeço também ao restante da equipe que me atendeu com tanta simpatia no DEP: eng. Magda Carmona, eng. Stanlei Marcelo Martins do Amaral e a estagiária Cynthia Guaraldo Araripe.

Agradeço ao Professor Miguel Sattler pelo material bibliográfico cedido e por tantos outros imprescindíveis auxílios ao longo do curso.

Agradeço ao colega da Universidade Federal de Santa Catarina, o mestrando Yuri Oliveira pelas dicas de material de pesquisa e pelo material referente à sua própria, prontamente cedido.

Agradeço ao meu amigo Gabitz pelo indispensável auxílio com a sintaxe do Microsoft Excel, utilizado para os cálculos de balanço do reservatório, sem os quais não seria possível a realização desta pesquisa.

Agradeço aos professores Terry Thomas da University of Warwick, UK, e Alan Fewkes da The Nottinghan Trent University, UK, que por e-mail forneceram material e informações importantes, inteiramente sem custo e interesses ulteriores, infelizmente ao contrário de outros contatos estrangeiros, estabelecidos no decorrer da pesquisa.

Declaração Universal dos Direitos da Água

1. A água faz parte do patrimônio do planeta. Cada continente, cada povo, cada região, cada cidade, cada cidadão é plenamente responsável aos olhos de todos

2. A água é a seiva do nosso planeta. Ela é a condição essencial de vida e de todo ser vegetal, animal ou humano. Sem ela não poderíamos conceder como são a atmosfera, o clima, a vegetação, a cultura ou a agricultura. O direito à água é um dos direitos fundamentais do ser humano: o direito à vida, tal qual é estipulado no Art. 30 de Declaração Universal dos Direitos Humanos

3. Os recursos naturais de transformação da água em água potável são lentos, frágeis e muito limitados. Assim sendo a água deve ser manipulada com racionalidade, preocupação e parcimônia

4. O equilíbrio e o futuro de nosso planeta dependem da preservação da água e dos seus ciclos. Estes devem permanecer intactos e funcionando normalmente, para garantir a continuidade da vida sobre a Terra. Este equilíbrio depende, em particular, da preservação dos mares e oceanos por onde os ciclos começam

5. A água não é somente uma herança dos nossos predecessores, ela é sobretudo um empréstimo aos nossos sucessores. Sua proteção constitui uma necessidade vital, assim como uma obrigação moral do Homem para as gerações presentes e futuras

6. A água não é uma doação gratuita da natureza, ela tem um valor econômico: é preciso saber que ela é, algumas vezes, rara e dispendiosa e que pode muito bem escassear em qualquer região do mundo

7. A água não deve ser desperdiçada, nem poluída, nem envenenada. De maneira geral, sua utilização deve ser feita com consciência e discernimento, para que não se chegue a uma situação de esgotamento ou de deterioração de qualidade das reservas atualmente disponíveis

8. A utilização da água implica o respeito à lei. Sua proteção constitui uma obrigação jurídica para todo o homem ou grupo social que a utiliza. Esta questão não deve ser ignorada nem pelo Homem nem pelo Estado

9. A gestão da água impõe um equilíbrio entre os imperativos de sua proteção e as necessidades de ordem econômica, sanitária e social

10. O planejamento da gestão da água deve levar em conta a solidariedade e o consenso em razão de sua distribuição desigual sobre a Terra

Organização das Nações Unidas, 1992

RESUMO

MANO, R.S. **Captação residencial de água da chuva para fins não potáveis em Porto Alegre: aspectos básicos da viabilidade técnica e benefícios do sistema.** 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

A construção civil ocupa uma posição muito importante no contexto da degradação ambiental, a qual o Planeta vem assistindo nas últimas décadas, sendo responsável por uma parcela significativa do consumo total de recursos naturais. Além disso, considerando uma análise do ciclo de vida de edifícios, a fase de uso dos mesmos tem tomado crescente importância no impacto total gerado pela edificação. Alterações no ciclo hidrológico e poluição dos meios hídricos são exemplos de importantes impactos gerados pelo uso de edificações. Em meio urbano são co-responsáveis também pelas cheias e inundações, que com freqüência geram importantes perdas humanas e materiais. Soluções técnicas alternativas têm sido desenvolvidas e apresentadas pelo mundo. Porém mostram-se pouco adaptáveis às condições nacionais, entre outros, por causa do aspecto econômico, muito importante em países subdesenvolvidos como o Brasil. Neste sentido, a pesquisa objetiva uma caracterização dos benefícios diretos e indiretos decorrentes da implantação de sistemas de captação e aproveitamento de água da chuva, para utilização não potável, em meio urbano, principalmente sob o aspecto econômico. Para tanto, revisa alguns aspectos relativos à contextualização e à viabilidade técnica destes sistemas, apresentando desde o tema da água no planeta até suas interações mais objetivas, no meio urbano. Um estudo experimental, sobre a edificação denominada Protótipo Alvorada, é desenvolvido em paralelo, a fim de ilustrar e balizar os estudos das variáveis dimensionais do sistema, dos números de chuva, neste caso para Porto Alegre/RS, e também o levantamento dos principais tipos e componentes de sistemas existentes. Os resultados para os benefícios diretos, sobre o aspecto econômico, demonstram em geral que o custo de implantação do sistema é o maior entrave à sua aplicação. Este fato deve-se, em grande parte à disponibilidade do recurso em Porto Alegre, entregue dentro das residências por um baixo custo. O estudo em torno dos benefícios indiretos revelou o potencial do sistema como auxiliar na drenagem urbana. Dependendo ainda de estudos mais aprofundados, o sistema conta com a possibilidade receber subsídio público para sua implantação, gerando economia para o mesmo e maximizando também o benefício direto.

Palavras-chave: captação de água da chuva; drenagem urbana; sustentabilidade

ABSTRACT

MANO, R.S. **Captação residencial de água da chuva para fins não potáveis em Porto Alegre: aspectos básicos da viabilidade técnica e benefícios do sistema.** 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

During the past few decades the building industry was becoming increasingly responsible for a large portion of environmental degradation. In addition, considering the life cycle analysis of buildings, the building utilization phase is gaining importance in building environmental impact. Alterations in the water cycle, often resulting in human and economic loses because of urban flooding, is an example where the building utilization phase plays a significant role in environmental degradation. One answer to these problems is alternative technical solutions that are being developed and presented to environmental forums throughout the world; however, most of the alternative solutions are not economically feasible for sub-developed countries like Brazil. The objective of this research is to characterize the direct and indirect benefits provided by residential urban rainwater catchment systems and the implementation for non-potable use in the urban environment for economic gain. Towards this goal, the dissertation reviews some contexts and technical viability concerns about urban water interactions and drainage systems. A study, developed simultaneously with the research, was conducted on the building Protótipo Alvorada to gain an understanding of the variables of system dimensions, rain water distribution and volume. The study also explores existing systems, principal types of systems and components of existing systems. The results of this study have shown that, from an economic standpoint, the cost of system implementation is generally the main barrior to implemention of rainwater catchment systems. One reason that rainwater catchment systems are not economically feasible choice for the city of Porto Alegre is in large part due to the availability of potable water in the city. Water distribution to residences within the city is very inexpensive and widely available. The study about the indirect benefits of rainwater catchment systems has shown the potential of systems to help alleviate urban drainage problems. Despite the necessity for further studies, the feasibility of system implementation here in Porto Alegre/RS counts on the possibility of initial public funding in order to maximize the direct benefits of catchment systems. Installation of rainwater catchment systems would ultimately save money for the municipal government of Porto Alegre.

Key-words: rainwater catchment; urban drainage; sustainability

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO ..... p. 14

2 METODOLOGIA DE PESQUISA ..... p. 18

2.1 PRESSUPOSTOS ..... p. 18

2.2 OBJETIVOS ..... p. 18

2.3 DELINEAMENTO DA PESQUISA ..... p. 19
2.3.1 Revisão bibliográfica ..... p. 20
2.3.2 Inventário de componentes do sistema ..... p. 20
2.3.3 Estudo experimental ..... p. 21
2.3.4 Análise dos benefícios..... ..... p. 22

3 A ÁGUA E O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL ..... p. 24

4 A ÁGUA E O MEIO URBANO ..... p. 29

4.1 INUNDAÇÕES URBANAS ..... p. 32
4.2 INUNDAÇÕES E DRENAGEM EM PORTO ALEGRE ..... p. 40
4.3 ABASTECIMENTO DE ÁGUA EM PORTO ALEGRE ..... p. 44

5 CAPTAÇÃO E UTILIZAÇÃO DE ÁGUA DACHUVA ..... p. 48

5.1 SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DA CHUVA PARA USO DOMÉSTICO.. p. 53
5.1.1 Áreas de captação ..... p. 55
5.1.2 Calhas, tubos de queda e seus complementos ..... p. 57
5.1.3 Cisterna ou reservatório e encanamentos de abastecimento ..... p. 61
5.1.4 Tratamento ..... p. 70

6 DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DA CHUVA..... p. 74

7 ESTUDO EXPERIMENTAL..... p. 84

7.1 APRESENTAÇÃO DA EDIFICAÇÃO..... p. 84

7.2 DIMENSIONAMENTO..... p. 87
7.2.1 Definição das demandas..... p. 88
7.2.2 Dados pluviométricos de Porto Alegre..... p. 89
7.2.3 Cálculo do volume do reservatório..... p. 92
7.2.4 Especificações dos componentes do sistema..... p. 95

8 ANÁLISE DOS BENEFÍCIOS..... p.101

8.1 BENEFÍCIOS DIRETOS..... p.102
8.1.1 Área de captação e população do edifício..... p.103
8.1.2 Especificação dos componentes..... p.104
8.1.3 Custo e economia gerada..... p.112

8.2 BENEFÍCIOS INDIRETOS..... p.114

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS..... p.121

REFERÊNCIAS..... p.124

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: desenho da pesquisa ..... p. 19

Figura 2: analogia entre o volume de água do planeta e o de um reservatório de 1.000 l p. 25

Figura 3: diagrama dos principais componentes do ciclo hidrológico ..... p. 30

Figura 4: inundação de áreas ribeirinhas ..... p. 33

Figura 5: hidrogramas hipotéticos para áreas urbanizadas e não urbanizadas ..... p. 35

Figura 6: destino das águas de precipitação nas diversas densidades urbanas p. 35

Figura 7: relação entre a área impermeável e a densidade populacional urbana, baseado em dados de São Paulo, Porto Alegre e Curitiba..... p. 39

Figura 8: cotas de inundações na cidade de Porto Alegre entre 1889 a 1994 e cotas de risco de 2, 10 e 50 anos..... p. 41

Figura 9: esquema demonstrativo do sistema de prevenção a inundações de Porto Alegre ..... p. 42

Figura 10: esquema demonstrativo do sistema de drenagem urbana de Porto Alegre ..... p. 43

Figura 11: a água e o contexto da captação de chuva ..... p. 53

Figura 12: esquema demonstrativo dos componentes básicos de um sistema de captação e armazenamento de água da chuva para uso doméstico..... p.54

Figura 13: exemplo de tela horizontal, colocada junto à calha pra reter poluentes maiores..... p. 57

Figura 14: sistema de lavagem de telhado..... p. 58

Figura 15: válvula para controle e limpeza do sistema de lavagem ..... p. 59

Figura 16: descartador do primeiro fluxo de água da chuva ..... p. 60

Figura 17: cisterna de residência no semi-árido brasileiro – água retirada por balde ..... p. 62

Figura 18: vantagens e desvantagens de tanques (instalados acima do solo) e cisternas (instalados abaixo do solo)..... p. 63

Figura 19: armação da parede e reboco externo de cisterna de placa ..... p. 64

Figura 20: cisterna de tela-cimento – à esquerda, colocação de argamassa sobre a tela; à direita, foto de unidade com 10.000 litros ..... p. 65

Figura 21: construção de cisterna de tijolos ..... p. 66

Figura 22: cisterna de cal – à esquerda, corte esquemático; à direita, foto de unidade em funcionamento ..... p. 67

Figura 23: fotografia de um reservatório-piscina instalado no Hawaii..... p. 68

Figura 24: foto 1 – reservatório de aço corrugado; foto 2 – reservatório em aço galvanizado enclausurado; foto 3 – reservatório em ferro-cimento; foto 4 – reservatório em blocos de concreto; foto 5 – reservatório em fibra de vidro; foto 6 – reservatório em madeira vermelha ..... p. 69

Figura 25: reservatório em polietileno, de produção industrial especialmente para armazenamento de água ..... p. 70

Figura 26: esquema da 3P-Technik para captação e armazenagem da água da chuva em residência ..... p. 71

Figura 27: componentes fabricados pela 3P-Technik: 1 – foto e desenho do freio d'água; 2 – desenho demonstrativo do funcionamento do filtro VF1; 3 – foto do sifão; 4 – foto do conjunto flutuante de sucção ..... p. 72

Figura 28: coeficiente de escoamento..... p. 76

Figura 29: uso doméstico da água em Porto Alegre..... p. 77

Figura 30: vazão nos pontos de utilização em função do aparelho sanitário e da peça de utilização..... p. 79

Figura 31: capacidade de calhas semi-circulares com coeficiente de rugosidade n=0,011..... p. 80

Figura 32: dimensionamento de calhas com seção semicircular..... p. 82

Figura 33: dimensões de condutores verticais de águas pluviais..... p. 82

Figura 34: dimensões de condutores horizontais de águas pluviais..... p. 83

Figura 35: Protótipo Alvorada – versão do projeto implantada no Campus da Agronomia da UFRGS..... p. 86

Figura 36: Evolução do indicador de conformidade setorial para bacias de volume reduzido no Brasil..... p. 88

Figura 37: dimensionamento do reservatório de consumo..... p. 89

Figura 38: quantidade de dias sem chuva na cidade de Porto Alegre para diferentes períodos de retorno..... p. 91

Figura 39: análise estatística dos dias secos em Porto Alegre de 1991 a 2002..... p. 92

Figura 40: variação diária do volume do reservatório segundo balanço hídrico seriado.. p. 95

Figura 41: esquema das ligações hidráulicas do sistema de captação e aproveitamento de água da chuva..... p.97

Figura 42: esquema básico ilustrativo da base de apoio do reservatório de água da chuva..... p.100

Figura 43: gráfico demonstrativo da relação entre área de captação e a população consumidora da edificação, considerando os percentuais de cobertura da demanda para bacias convencionais..... p.103

Figura 44: gráfico demonstrativo da relação entre área de captação e a população consumidora da edificação, considerando os percentuais de cobertura da demanda para bacias de volume reduzido..... p.104

Figura 45: comparativo das possibilidades para reservatórios da edificação do estudo experimental..... p.107

Figura 46: médias mensais da distribuição do consumo de água na bacia sanitária e médias de extravasamento, para diferentes volumes de reservação considerando bacia convencional e de volume reduzido..... p.108

Figura 47: estereograma ilustrativo dos percursos dos encanamentos do sistema de captação e aproveitamento de água da chuva para o Protótipo Alvorada..... p.109

Figura 48: esquema das instalações hidráulicas para o conjunto de dois reservatórios de 1000 litros, em fibrocimento..... p.110

Figura 49: totalização do custo do sistema considerando diferentes possibilidades de reservatórios e amortização, do mesmo, pela economia em conta d’água gerada, considerando bacias convencionais e de volume reduzido..... p.113

Figura 50: Conservação e investimentos em obras de drenagem em Porto Alegre..... p.119

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: casos de óbitos por doenças de veiculação hídrica no Brasil (1981 a 1989) .... p. 27

1 INTRODUÇÃO

A questão ambiental é indiscutivelmente o grande tema deste século e, se ainda não está, por certo estará presente em todos os setores da sociedade num futuro próximo. Porém, não se pode pensar a natureza sem pensar no homem e nos paradigmas que marcaram sua evolução. Deste modo, o enfoque ambiental, necessariamente, está inserido num contexto maior, interdisciplinar, sistêmico. Noções como **eco-desenvolvimento, um outro desenvolvimento**, **desenvolvimento local endógeno,** e finalmente, **desenvolvimento sustentável,** surgiram há aproximadamente trinta anos, carregadas de conteúdo, mas, sobretudo, incertezas e vêm sendo desenvolvidas desde então (VIEIRA; WEBER, 2000).

Enfatizando a dimensão ambiental da sustentabilidade, Lyle (1994) afirma que o pressuposto de recursos ilimitados que prevaleceu por tanto tempo foi agora inteiramente desacreditado e, portanto, as coisas não podem permanecer como estão. Baldwin et al. (1998) colocam que as questões ambientais têm se tornado cada vez mais importantes no contexto do desenvolvimento sustentável e que o setor da construção é um dos responsáveis por vários impactos ambientais. Conforme dados do Departamento de Engenharia da Construção Civil da Universidade de São Paulo (PCC/USP, 2003), também apresentados por John (2000a), a construção civil é responsável por 15 a 50 % do consumo dos recursos naturais extraídos, sendo que em países como o Reino Unido o consumo de materiais de construção civil é de aproximadamente 6 toneladas/ano por habitante. John (2000b) afirma que os mesmos números, para o caso dos Estados Unidos, chegam a representar 75% de toda a matéria-prima consumida. Neste sentido, a busca pela sustentabilidade ambiental na indústria da construção deve ser encarada com urgência e seriedade.

Além disto, conforme coloca Sperb (2000), no que concerne à dimensão ambiental da sustentabilidade, uma edificação pode gerar impactos em todas as fases do seu ciclo de vida, ou seja, desde o projeto, que define suas características morfológicas, passando pela construção e utilização, até o destino final dos materiais componentes da mesma, quando de sua demolição.

Existem soluções técnicas alternativas que podem conferir um menor impacto ambiental às edificações em todas as fases citadas acima, porém, a indústria não se apropria destas

soluções na forma prescritiva e nem tampouco de seu conceito gerador, através, por exemplo, de uma abordagem de desempenho. Este fato tem causas contextuais, de origem histórica, que devem ser consideradas. Lyle (1994), por exemplo, apresenta a revolução industrial, com sua ambiciosa tarefa de remodelar a paisagem global à luz da visão renascentista e da lógica cartesiana, como o contexto que conduziu, inevitavelmente, ao mundo de fluxos unidirecionais que se tem hoje. Na mesma direção, Moura (1998) argumenta que o homem sempre utilizou os recursos e gerou resíduos despreocupadamente e que somente a partir do século XX, na década de sessenta, com a explosão demográfica e de consumo, é que se vislumbrou a dimensão dos danos à natureza e suas conseqüências sobre a vida no planeta.

Entretanto, o caráter emergencial da mudança acaba por esbarrar na grande complexidade do universo sustentável, multidimensional. Segundo Vieira e Weber (2000), "critica-se, muitas vezes, a insistência na comunicação de variações estilísticas de um tipo de discurso essencialmente ético normativo e pouco sensível à preocupação pelas condições de viabilidade de sua aplicação, controlada a contextos ecológicos e socioculturais específicos". Bursztyn (2001) afirma que neste momento a ciência se confronta com um *modus operandi* que nasceu e se desenvolveu em conformidade com os paradigmas que marcaram nossa era industrial: produtivismo, hegemonia da ciência sobre a natureza, especialização e disciplinaridade. Por este motivo e, também, por datar de anos recentes, a sustentabilidade carrega lacunas de conhecimento que a impedem de responder questões mais objetivas e realísticas concernentes a sua materialização.

Neste sentido Hawken et al. (1999), Kinlaw (1997), Pearce et al. (1994), Romm (1996), entre outros, apresentam a abordagem econômica como uma forma viável para o processo de mudança até a realidade sustentável. Pensar a diminuição dos impactos ambientais da edificação sob o foco econômico aproxima o ideal do prático e contribui para a realização da sustentabilidade em curto prazo. De acordo com Hawken et al. (1999), a vantagem econômica do *design* sustentável se estende por toda a vida operacional do edifício e vai além, mas começa com o projeto, a aprovação e o processo de construção. O autor completa afirmando que, embora muitos incorporadores suponham que os prédios verdes necessariamente custam mais, a abordagem regenerativa pode minimizar os custos de construção, sobretudo nas infra-estruturas e no uso de técnicas passivas de aquecimento e refrigeração. Pearce et al. (1994) colocam que as vantagens relacionadas à fase de uso dos produtos estão gradativamente aumentando sua importância nos processos de decisão de compra pelos consumidores, sobretudo para o produto edificação, onde a fase de uso se prolonga por muitos anos.

Observa-se que, em sua maioria, os dados relativos a estes custos, disponíveis na bibliografia são provenientes de países estrangeiros, de economia desenvolvida, o que os desabilita a representarem a realidade brasileira. Além disto, raramente estão disponíveis dados mais específicos, concernentes aos benefícios ambientais e econômicos de técnicas sustentáveis, analisadas separadamente, como por exemplo, o sistema de captação e aproveitamento de água da chuva.

Fewkes e Butler (1999) afirmam que a coleta, armazenagem e utilização de água da chuva proveniente dos telhados é uma forma simples de redução das demandas municipais, para suprimento de água e tratamento de esgotos. O potencial do aproveitamento de água da chuva, dependendo da localização da edificação, é fundamental. Thomas (2001), por exemplo, afirma que é uma tecnologia-chave para o problema de abastecimento do sertão brasileiro. Lamenta, no entanto, que ela **não possa oferecer 100% de segurança hídrica**, porque necessitaria da instalação de cisternas enormes, com capacidade de, talvez, 50 m^3 por residência. Desde questões conceituais sobre a utilização de água da chuva, até questões específicas de dimensionamento e desempenho, aplicadas a estudos de caso em diversos países, como o Brasil, Canadá, Quênia, Nepal, Austrália e outros, são apresentadas na bibliografia. Porém não foram encontrados estudos com dados aplicáveis diretamente à realidade da cidade de Porto Alegre.

A pesquisa, neste sentido, contribui para uma aproximação da potencialidade do referencial sustentável à realidade material e imediata da indústria da construção, bem como para uma revisão e adaptação dos dados existentes, à realidade urbana e local de Porto Alegre. Partindo de dados provenientes da revisão bibliográfica e de levantamentos de campo é desenvolvido e apresentado um estudo técnico experimental para um sistema de aproveitamento e utilização de água da chuva, que fornece dados de onde são extraídas as variáveis e funções de dimensionamento do sistema. De posse destes resultados é realizado um levantamento do custo do sistema e da economia gerada pelo mesmo, considerando valores de mercado e tarifas de água reais fornecidas pelo Departamento Municipal de Águas e Esgotos (DMAE), de forma a compará-los e medindo a amortização do investimento no tempo.

No capítulo dois, a seguir, é apresentada a metodologia utilizada para esta pesquisa. Nos capítulos três e quatro o tema água é apresentado a fim de inserir e localizar a pesquisa em seu contexto maior, considerando o elemento água no planeta, sua relação com o homem, e também a água no meio urbano. Após é tomado um panorama em torno de sistemas de

captação e utilização de água da chuva, ao logo de todo o capítulo cinco, que além disto, apresenta alguns sistemas para uso humano, decompondo os mesmos e apresentando também seus elementos. O capítulo seis trata do dimensionamento do sistema, principalmente com relação ao volume de reservação, mas também dos demais elementos dependentes de dimensionamento.

No capítulo sete é apresentada a edificação do estudo experimental e realizadas algumas definições referentes ao sistema a ser simulado para mesma, simultaneamente às definições com relação às possibilidades para os componentes, objeto do inventário de componentes do sistema. O capítulo oito traz os desenvolvimentos e finalizações com relação aos benefícios gerados por uma hipótese de implantação do sistema, sob o ponto de vista particular do usuário, e coletivo, na escala urbana, com relação à drenagem. Por fim, as considerações finais, fazem um fechamento do argumento da pesquisa e recomendam possibilidades de continuidade para o trabalho.

2 METODOLOGIA DE PESQUISA

2.1 PRESSUPOSTOS

É pressuposto desta pesquisa que o sistema de captação e utilização de água da chuva classifica-se como uma técnica sustentável e minimiza o consumo de água da rede.

2.2 OBJETIVOS

Esta dissertação tem como objetivo principal a caracterização de benefícios diretos e indiretos da implementação de sistema de aproveitamento de água da chuva para fins residenciais na área urbana de Porto Alegre.

Como objetivos secundários pretende a:

a) caracterização das variáveis que envolvem o dimensionamento de sistemas de coleta e armazenamento de água de chuva destinada a usos não potáveis;

b) catalogação dos principais tipos de sistemas e seus componentes, destinados à coleta e armazenamento de água de chuva;

c) caracterização do potencial de chuvas de Porto Alegre, para a captação de água da chuva para fins residenciais;

2.3 DELINEAMENTO DA PESQUISA

A sistemática de desenvolvimento da pesquisa pode ser melhor compreendida no seu desenho, apresentado na figura 1. Esta figura demonstra o encaminhamento das etapas desta pesquisa. Cada uma das etapas será detalhada nos próximos itens.

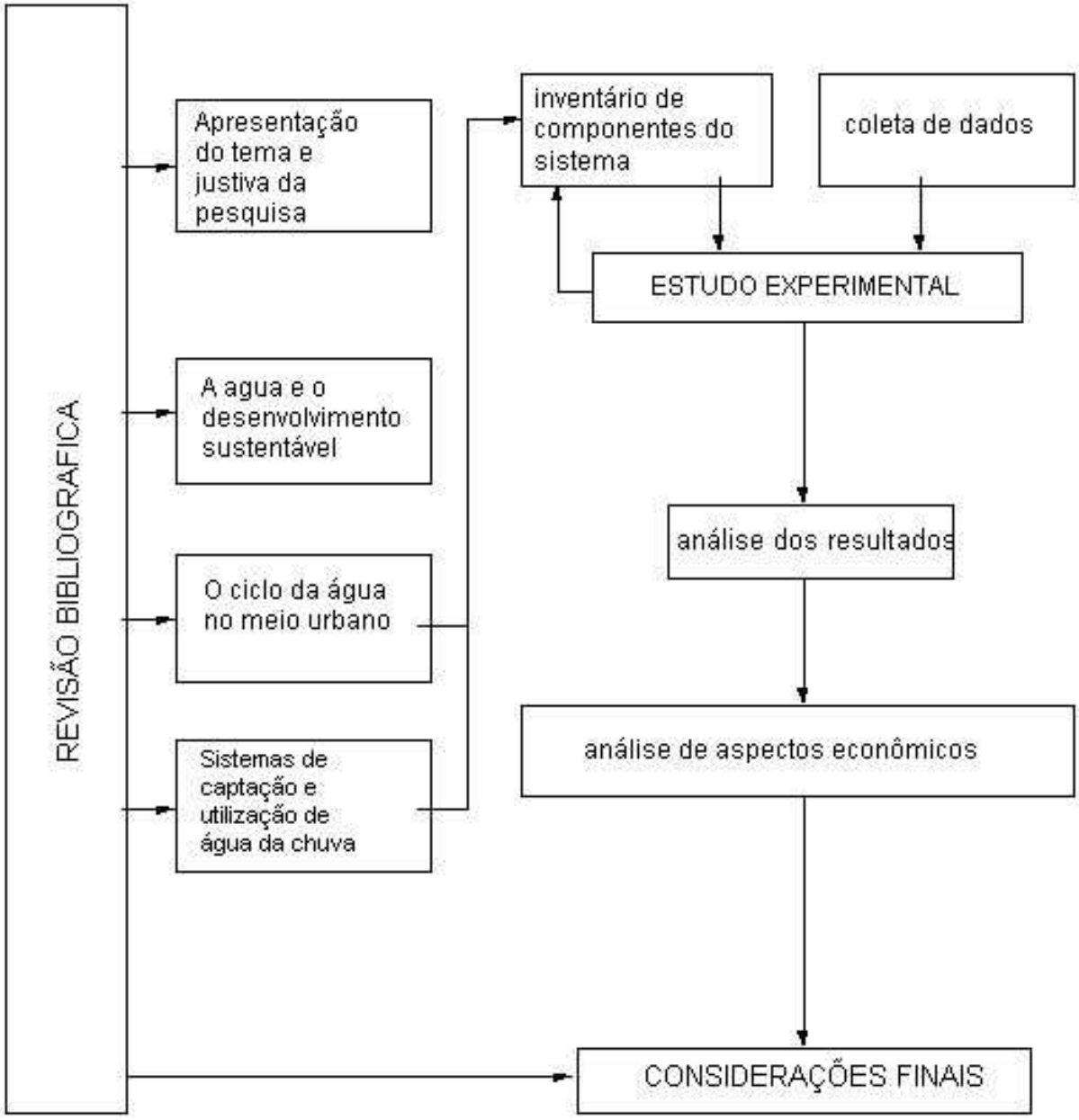


Figura 1: desenho da pesquisa

2.3.1 Revisão bibliográfica

Inicialmente examina-se a bibliografia referente ao tema da água, sob uma perspectiva histórica, apresentando a relação da civilização com a água, ressaltando o crescimento da degradação do recurso e, também, colocando dados a respeito da distribuição e disponibilidade futura da água. São também relacionados os dados de degradação da água e saneamento com outros de saúde pública, apresentando algumas diretrizes e propostas, elaboradas por instituições e congressos internacionais à luz de uma visão de sustentabilidade, considerando a gestão dos recursos hídricos.

Num segundo momento, o tema da água no meio urbano, foi o foco da pesquisa bibliográfica. Considerou-se dados relativos às suas interferências no ciclo hidrológico, problemas com escoamento de águas pluviais, inundações e poluição, no sentido de consolidar e justificar a captação de água chuva, inclusive para a escala urbana, como uma alternativa real de minimizar os efeitos danosos da urbanização. Na mesma direção, ainda são apresentadas conseqüências destes problemas no planejamento e manutenção das cidades, incluindo dados a respeito do processo de tratamento e distribuição em Porto Alegre.

Por fim é desenvolvida uma pesquisa bibliográfica a respeito da captação de água da chuva ao longo da história, com suas diferentes destinações. Também são comentadas algumas das experiências contemporâneas mais relevantes, no sentido de demonstrar a abrangência e consolidação da captação de água da chuva como uma solução sustentável ao problema da escassez de água. Reforça-se, ainda, a argumentação a respeito dos outros benefícios relativos à contenção de cheias e inundações. Em seqüência apresenta-se a inserção da captação de água da chuva no ciclo hidrológico, os componentes básicos de sistemas e faz-se uma classificação conforme a destinação da água coletada. Diferentes sistemas de captação e utilização de chuva, finalizando com um inventário de possibilidades de composição dos sistemas para uso residencial e suas particularidades referentes ao uso, foram pesquisados.

2.3.2 Inventário de componentes do sistema

Foi objetivo desta etapa o levantamento e tabulação de algumas possibilidades técnicas para especificação e execução de sistemas de captação de chuva, para uso residencial, disponíveis na região de Porto Alegre. Para tanto foram identificados os principais componentes do

sistema, principalmente em função do custo, e tabulados separadamente, de forma a ilustrar e subsidiar escolhas para o estudo experimental, que por sua vez, fornecerá também subsídio para delimitações das possibilidades para os componentes.

Os dados foram obtidos em pesquisa bibliográfica e em levantamentos junto a estabelecimentos comerciais especializados. Os levantamentos externos permitiram a comprovação da disponibilidade real do componente, e do seu custo. Quando o componente for de execução em obra, é comprovada a disponibilidade local dos materiais constituintes, pelas tomadas de preço e orçamentos constantes de documentos em anexo.

Preliminarmente estabelece-se como produto para este item as seguintes tabelas:

a) tabelas com cisternas que atendam o volume ótimo, definido no estudo experimental, e volumes menores: diferentes tipos (prontos ou executados em obra);

b) tabelas com componentes: joelhos, luvas, curvas, componentes de diversas bitolas com respectivo custo.

2.3.3 Estudo experimental

Conhecidos os diferentes tipos de sistemas para captação, armazenagem e utilização de água da chuva, foi feito um estudo preliminar para preparar o experimental, de maneira a adaptá-lo a uma aplicação urbana, sob as condições pluviométricas locais e considerando os padrões de consumo indicados pelo DMAE.

Foram então desenvolvidas especificações para o sistema a partir de um procedimento composto das seguintes etapas de encaminhamento:

a) apresentação da edificação: destinada a descrever e ilustrar a edificação do estudo experimental;

b) dimensionamento organizado em três módulos: definição da demanda, tratamento dos dados pluviométricos e o cálculo do volume do reservatório;

c) esquema das instalações hidráulicas do sistema: entradas e saídas, considerando a dupla alimentação de água da rede e de água da chuva (localização do reservatório de chuva, área de captação).

2.3.4 Análise dos benefícios

A análise foi estruturada sobre uma distinção entre benefícios diretos e indiretos, entendidos como aqueles percebidos diretamente pelo usuário da edificação e aqueles que se referem à escala urbana, respectivamente. É apresentada, justificada e definida tal distinção.

Então, como análise dos benefícios diretos, foi realizada uma verificação das variáveis que atuam no dimensionamento do sistema, gerando a partir dela considerações que levaram em conta dados de dimensionamento e desempenho, considerando a localização na cidade de Porto Alegre. Preliminarmente, demonstrarão as relações entre:

a) área de captação e a eficiência do sistema (%);

b) tamanho do reservatório e eficiência do sistema (%).

A economia gerada pelo sistema, foi estimada a partir da subtração da demanda prevista para a descarga da bacia sanitária (a ser servida pela água da chuva) da demanda total de água. Para tanto é apresentado orçamento detalhado do sistema, com preços provenientes diretamente de estabelecimentos comerciais especializados, bem como os de mão-de-obra, que serão advindos de consulta a profissionais liberais e empresas de Porto Alegre. A parcela economizada será expressa em m^3 e traduzida em valor monetário, segundo tarifas unitárias da companhia concessionária local, o Departamento Municipal de Águas e Esgotos (DMAE), indexado pelo CUB ponderado do Rio Grande do Sul, ao período mensal.

Por fim, são feitas considerações a respeito da viabilidade da inserção do sistema no projeto de edificações residenciais unifamiliares, conforme as variáveis acima relacionadas para a região de Porto Alegre.

Como análise dos benefícios indiretos, são apresentados dados de custos para drenagem em Porto Alegre, segundo o Departamento de Esgotos Pluviais (DEP) da cidade. São, também, disponibilizados dados como das relações entre áreas impermeáveis e densidade populacional,

que subsidiam comentários em torno da potencialidade de contribuição da captação de água da chuva para o problema da drenagem urbana. Também são feitas considerações em torno da contribuição para melhoria das perspectivas futuras para a água, em função do aproveitamento das chuvas para o abastecimento humano.

3 A ÁGUA E O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

A água é elemento essencial à maior parte das formas de vida existentes no Planeta. A Terra tem em torno de setenta por cento de sua superfície coberta de água. “Os recursos de água doce constituem um componente essencial da hidrosfera da Terra e parte indispensável de todos os ecossistemas terrestres” (BRASIL, 2002). Além de seus papéis geológico, ecológico e fisiológico, a água fornece um importante elemento simbólico ao homem. Ela é meio de transporte, é opção de lazer, é objeto de mitos e lendas mas, infelizmente, tornou-se também depositário final do lixo e dos esgotos humanos. A poluição das águas é um problema que vem crescendo a índices alarmantes, apesar de datar de tempos relativamente recentes.

Até o século XIX a utilização e poluição dos recursos hídricos não constituíam um problema de grandes proporções, conforme coloca SILVA (1998), afirmando que ao final do referido século, o paradigma higienista acabou por promover a reformulação dos planos urbanísticos em várias cidades. Foram implantados canais e redes de abastecimento de água e de esgoto, sem nenhuma preocupação ecossistêmica, que conseqüentemente elevou os níveis de poluição hídrica em escala exponencial. Paradoxalmente, o problema das diversas pestes e epidemias, que dizimaram milhares de pessoas, era causado pela falta de saneamento que, ao acontecer, veio a poluir os rios de onde retiravam a água para abastecimento.

No ano de 1892, dezoito mil pessoas morreram na Alemanha devido a uma epidemia de cólera, através das águas do rio Elba, que recebia seus esgotos não tratados. O desenvolvimento da tecnologia de tratamento da água ocorrido a partir da metade do século XIX levou à idéia de que, independente dos níveis de poluição dos mananciais utilizados para o abastecimento das cidades, os processos convencionais de tratamento seriam suficientes para tornar a água segura e com a qualidade adequada para o consumo. Entretanto, com o crescimento da industrialização após a década de 40, a qualidade total das águas de consumo tornou-se a cada tempo mais difícil, compreendendo aspectos físicos, químicos e bacteriológicos gradativamente mais complexos. O número de microcontaminantes evoluiu assustadoramente nestas duas últimas décadas, ressaltando a importância dos denomidados micropoluentes orgânicos sintéticos e metais tóxicos. Estes micropoluentes dificultam muito o tratamento da água, pois exigem sistemas de tratamento especialmente projetados e operados

para eliminá-los, como no caso do mercúrio, o cádmio e o chumbo. Da mesma forma, os micropoluentes orgânicos sintéticos, não são removidos pelos sistemas tradicionais de tratamento (REBOUÇAS, 1999).

Não obstante os níveis e qualificações da poluição dos recursos hídricos, a disponibilidade de água no mundo tem diminuído significativamente, existindo regiões onde a escassez chega a índices alarmantes. Segundo a UNESCO-WWAP (2003) fatores como o aumento populacional, o desperdício e o intenso uso da água na agricultura e na indústria exercem grandes pressões sobre os limitados recursos hídricos disponíveis. Dados do relatório denominado de *The polution of lakes and reservoirs* (UNEP, 1994) revelam que mais de 97% da água do planeta é salgada e a maior parte do restante está na forma de gelo polar ou se encontra em camadas profundas e inacessíveis, sendo que a quantidade de água potável que está acessível em lagos, rios ou represas, representa menos de 0,01% do total. A figura 2 apresenta uma analogia a respeito da distribuição volumétrica das águas na terra para uma dimensão mais compreensível à escala humana.

Figura 2: Analogia do volume de água do Planeta com o de um reservatório de 1.000 litros

Apesar das proporções não serem confortáveis, LEMOS (2003) afirma que o consumo de água no mundo aumentou de 1.060 km^3/ano em 1940, para 5.530 km^3/ano em 2000 e que entre 1900 e 1995, o consumo de água aumentou seis vezes ficando em mais que o dobro do crescimento da população. A UNESCO-WWAP (2003) coloca, que 20% da população do planeta não tem acesso à água potável para beber e 50% sofrem com problemas sanitários, sendo que as projeções para 2020 são de que dois terços da população sofrerão com a carência de água. LEMOS (2003) salienta que apenas para o atendimento da demanda futura para fins urbanos, seriam necessários investimentos na ordem de 11 a 14 bilhões de dólares por ano, durante os próximos trinta anos.

A Agenda 21 (2003) coloca que a escassez generalizada, a destruição gradual e o agravamento da poluição dos recursos hídricos em muitas regiões do mundo, ao lado da implantação progressiva de atividades incompatíveis, exigem o planejamento e manejo integrados desses recursos. É divulgado na Agenda 21 (2003) que as demandas por água estão aumentando rapidamente. A Organização Panamericada de Saúde (OPS, 2000) divulga dados alertando, entre outros, que:

a) a água, além de estar cada vez mais escassa, está se convertendo em um elemento que não pode ser utilisado para a maioria dos usos humanos e para ativar o processo da vida, devido a seus níveis de contaminação;

b) as doenças diarréicas causaram mais de 3 milhões de mortes no mundo em 1995, das quais cerca de 80% foram crianças menores de 5 anos;

c) Nos países em desenvolvimento, 80% das enfermidades e 33% das mortes ocorrem por deficiências na água potável;

d) 65% das internações hospitalares e 80% das consultas médicas se devem a doenças relacionadas com a falta ou inadequada qualidade da água e do saneamento.

No Brasil, segundo SILVA (1998), na região nordeste, 30,5% dos domicílios não possui nenhum tipo de instalação sanitária. Além disto, a maior parte dos municípios brasileiros não possui nenhum tipo de tratamento, apesar da existência da rede de esgotamento. Este autor apresenta dados da Secretaria de Política Urbana que revelam que mais de 80% do esgoto coletado por rede não sofre nenhum tipo de tratamento e os efluentes são lançados

diretamente em rios, canais, valas abertas ou diretamente no solo. Isto significa a poluição dos mananciais e a colocação em risco, dos lençóis freáticos, atingindo diretamente a saúde e a vida da população, que sofre intensamente com este problema. Como ilustração da magnitude do problema, na tabela 1 são apresentados dados que, apesar de estarem também ligados a outras variáveis, demonstram a estreita e direta ligação da qualidade das águas com a vida dos cidadãos, ao revelarem os óbitos relacionados à veiculação hídrica, principalmente por infecções gastro-intestinais.

Tabela 1: Casos de óbitos por doenças de veiculação hídrica no Brasil (1981/1989)

Número de Óbitos (% do total)				
Causas	**Infecções Gastro-intestinais**		**Outras Infecções** (cólera, febre tifóide, poliomielite, amebíase, esquistossomose, shiguelose)	
IDADE	1981	1989	1981	1989
Menos de 1 ano	28.606 (81,8%)	13.598 (72,0%)	87 (9,4%)	19 (2,9%)
Entre 1 e 14 anos	3.908 (11,2%)	1.963 (10,4%)	44 (4,8%)	21 (3,2%)
Mais de 14 anos	2.439 (7,0%)	3.330 (17,6%)	793 (85,8%)	608 (93,8%)
TOTAL	34.953	18.891	924	648

FONTE: Motta (1996) apud SILVA (1998)

BRASIL (2002), indica que 61% da população brasileira se abastece de mananciais de superfície, tais como poços rasos (6%), nascentes e fontes (12%) e poços profundos (43%). Estes percentuais alertam para a análise da situação de potabilidade de tais mananciais. SILVA (1998) afirma que, apesar do avanço conseguido no setor de abastecimento nos últimos anos, constata-se que a água distribuída nem sempre é de boa qualidade devido à contaminação dos mananciais por esgotos domésticos, industriais e defensivos agrícolas, além de riscos de contaminação por infiltração de esgotos na rede de distribuição. BRASIL (2002)

indica ainda que não se tem um controle a respeito das condições de degradação e poluição dos mananciais. No mesmo documento consta que não existem dados relativos à poluição do sistema hídrico, havendo apenas alguns dados relativos a poucas regiões mais críticas. O mesmo documento demonstra ainda, que os poucos programas articulados de combate à poluição dos sistemas hídricos estão restritos à área de saneamento urbano e que, neste momento, é indispensável uma política de gestão integrada para mitigar os conflitos de interesse com relação ao uso da água, representado pelo setor hidrelétrico, pelos complexos industriais, pelas necessidades urbanas e, principalmente, pela irrigação.

Na intenção de mitigar e até eliminar o problema são elaboradas diretrizes em todo o mundo, por conferências e instituições internacionais. Ao encontro das necessidades brasileiras e mundiais, *Stockholm International Water Institut* - SIWI (2002) estabelece recomendações gerais, enfatizando a questão da água como vital e urgente, apontando entre outros que os usuários da água devem envolver-se na administração dos recursos hídricos, que a ligação entre crescimento econômico e a degradação da água deve ser urgentemente quebrada e que a política, o planejamento e a implementação devem ser baseados em soluções integradas. Configura-se portanto um caráter sistêmico na análise da situação e proposição de soluções para o problema da água, coincidindo fortemente com os conceitos de interdependência e interdisciplinaridade, próprios do **desenvolvimento sustentável**. Neste sentido, SACHS (1993) salienta que ao planejar o desenvolvimento deve-se considerar de forma simultânea, aquelas cinco dimensões da sustentabilidade, ou seja: a social, a econômica, a ecológica, a espacial e a cultural.

No entanto, existem barreiras humanas à realização de todas estas dimensões ao mesmo tempo. Segundo Agra (2001) os problemas ambientais brasileiros, e também mundiais, decorrem, em grande parte, das carências do processo decisório que orienta a utilização dos recursos ambientais, particularmente no que se refere à coordenação das ações e à participação da sociedade interessada na negociação que orienta a tomada de decisão. O cenário de hoje, absolutamente conspícuo no nível internacional, leva a ponderar que a gestão dos recursos hídricos só poderá ser visualizada sob a ótica da sustentabilidade, quando a prática de utilizar a água uma única vez e imediatamente redispô-la na forma degradada ao meio receptor mais conveniente, for paulatinamente substituída pela prática do reuso (TUCCI et al., 2001).

4. A ÁGUA E O MEIO URBANO

Atualmente 48% da população mundial vive em meios urbanos e em 2030 este número estará acima de 60%, segundo dados de UNESCO-WWAP (2003). As cidades normalmente geram os recursos econômicos necessários para as instalações de abastecimento de água e escoamento sanitário, mas, também, são grandes concentradores de poluição. Um bom sistema urbano de gerenciamento das águas é bastante complexo e requer atenção para todo o ciclo hidrológico e suas interações regionais e globais. Conforme apresenta UNESCO-WWAP (2003) a tarefa de gerenciar as águas urbanas requer o manejo integrado do abastecimento d'água para as necessidades domésticas e industriais, o controle da poluição e o tratamento dos esgotos, o gerenciamento do escoamento das águas da chuva (incluindo de tempestades), a prevenção de enchentes e a utilização sustentável dos recursos hídricos. O documento completa afirmando que, freqüentemente, as cidades extraem água de lugares fora de sua administração e descarregam seus restos despreocupadamente, afetando desta forma outros usuários e ambientes naturais. Estas interações ocorrem principalmente em função das movimentações da água e do ciclo hidrológico.

O ciclo da água na natureza é contínuo e sua quantidade é invariavelmente a mesma, apenas mudando as intensidades dos processos físicos que governam seu percurso natural, dependendo da região em que ocorrem. Estes processos descrevem principalmente os fenômenos de evaporação, precipitação, infiltração, evapotranspiração, percolação e também o escoamento superficial (CIÊNCIA E AMBIENTE, 2000). A figura 3 ilustra esquematicamente as direções da água e localização dos processos.

A precipitação é talvez um dos fenômenos mais visíveis. Na hipótese de haver uma cobertura vegetal sobre a terra, a água poderá ser primeiramente interceptada pelo dossel ou, em outra hipótese, poderá atingir diretamente o solo ou corpos d'água. Esta água interceptada pode então ser evaporada pelo solo. Da água que chega até a superfície do solo parte é infiltrada (entra no perfil do terreno) e parte pode escoar superficialmente. A água infiltrada irá se distribuir ao longo do perfil do solo através dos processos de percolação e infiltração. Simultaneamente à entrada, a água pode estar sendo evaporada pela superfície ou retirada do solo pelas raízes, sendo transpirada pelas folhas do dossel.

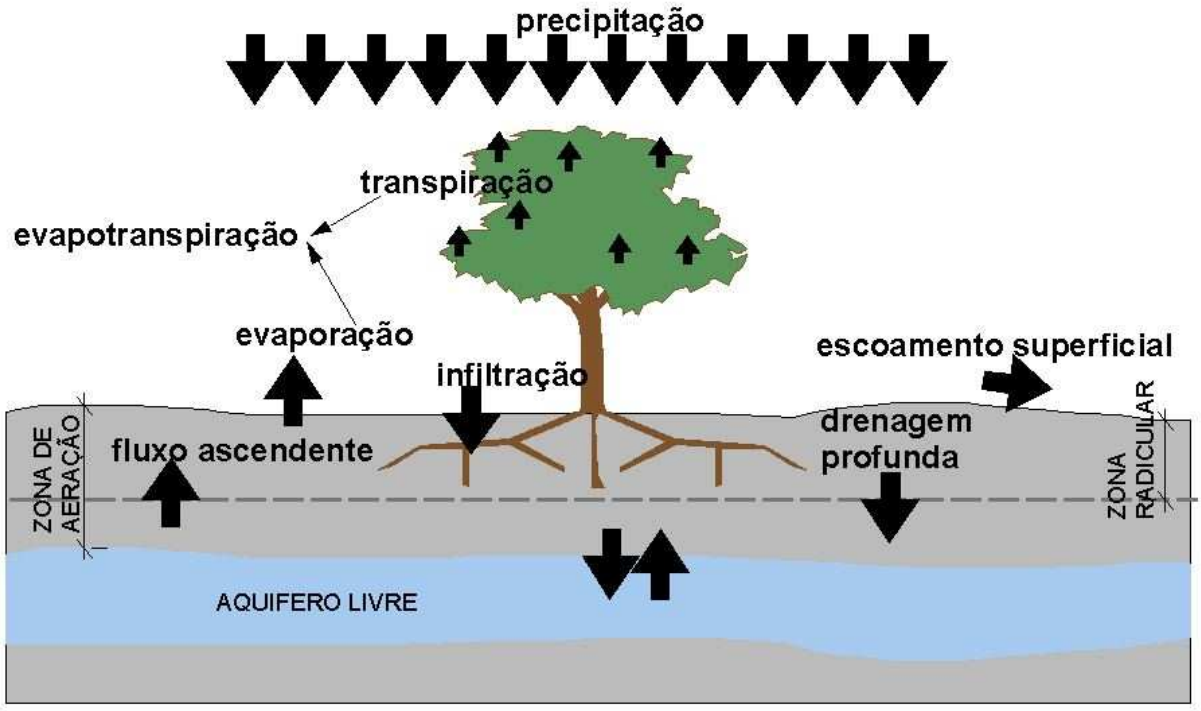


Figura 3: diagrama dos principais componentes do ciclo hidrológico.
(CIÊNCIA E AMBIENTE, 2000)

A transpiração, juntamente com a evaporação, constituem o fenômeno da evapotranspiração. A infiltração pode se dar, ainda, até camadas mais profundas onde se encontram os aqüíferos livres, os confinados e os aquetardos, que são zonas de acumulação de água que se diferenciam pelo nível de permeabilidade e pela profundidade. Nestas camadas pode ocorrer também a percolação, que tem direção horizontal (RENÓ; SOARES, 2000).

As intervenções humanas alteram sensivelmente o ciclo hidrológico em função da captação, armazenamento, utilização, contaminação e recuperação da água, largamente praticados. Iaurif (1997 apud BATISTA; NASCIMENTO, 2003), por exemplo, cita que os escoamentos superficiais em meio urbano e a própria precipitação constituem fonte de poluição difusa para o meio natural, apesar de o esgoto sanitário ser o meio de poluição das águas mais facilmente associado ao problema. Há ainda, diversas outras fontes de poluição em bacias hidrográficas urbanas, segundo Porto (1995 apud BATISTA; NASCIMENTO, 2003). Gases emitidos por indústrias e veículos (CO_x, SO_x, NO_x, organoalogênios, hidrocarbonetos e partículas diversas) encontram-se na origem das chuvas ácidas. Poluição visual por corpos flutuantes, poluição bacteriana de praias e lagos urbanos, efeitos crônicos e acumulativos, como a eutrofização dos meios receptores ou sua contaminação por metais pesados, efeitos de choque de poluição,

como os resultantes de diminuição de oxigênio na água, são outros exemplos de impactos bem comuns e conhecidos. Esses impactos repercutem sobre os usos da água, impondo restrições ou majorando custos ao abastecimento de água potável, à piscicultura, ao turismo e ao lazer, entre outros. (BAPTISTA; NASCIMENTO, 2003)

No Brasil, menos da metade dos municípios têm coleta de esgotos e apenas 1% tem algum sistema de tratamento de esgotos. De cada 100 famílias brasileiras apenas 58 recebem água encanada e apenas 6 em cada 10 sistemas de abastecimento de água são confiáveis, segundo consta em Água, Meio Ambiente e Vida (2002). Boa parte dos mananciais de superfície estão contaminados. A baia da Guanabara, por exemplo, recebe 500 toneladas de esgoto doméstico e 50 toneladas de esgoto químico, além de 3.000 toneladas de lixo sólido por dia. O Ministério do Meio Ambiente (2003) cita os problemas do rio Paraíba do Sul, que banha 157 municípios dos estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro. Afirma que este Rio recebe maciças descargas industriais e com sua água abastece os lares de 15 milhões de brasileiros. O mesmo documento indica, ainda, os rios Guaíba, Tietê e Doce como contaminados colocando um agravamento pelo fato de serem rios que abastecem de água à população.

A poluição decorrente dos esgotamentos pluviais se denuncia, segundo Pedrosa (1996 apud AGRA, 2001), como causa de epidemias de algumas moléstias de veiculação hídrica, após as enchentes urbanas, pelo aumento significativo do número de casos registrados destas doenças. A leptospirose, doença transmitida pela urina de ratos, que durante as cheias tem uma maior probabilidade de ocorrência, é a mais comum delas. Agra (2001) afirma que em Alagoas, após as cheias do início de agosto de 2000, foram confirmados 102 casos da doença naquele mês, enquanto que no mês seguinte o número foi de 71casos registrados.

As enchentes urbanas são um problema cada vez mais comum entre as cidades, e agravam-se na medida do crescimento das mesmas. Os prejuízos gerados pelas enchentes são enormes e vão além dos danos materiais. Agra (2001) cita matéria do jornal Zero Hora que revela que no início de 2000 morreram vinte pessoas em Minas Gerais, vitimadas pelas enchentes. Em Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente – PNUMA (2002) consta que somente no ano de 2000, cerca de 1,7 milhão de pessoas foram afetadas por inundações, o que corresponde a 1% da população brasileira, com registro de 89 mortos e 16.045 desabrigados, com aplicação de U$ 11,9 milhões de recursos federais em ações assistenciais, além do aporte de recursos estaduais e municipais. No mesmo documento consta ainda que em 2001

aconteceram enchentes em todo o nordeste brasileiro, e que morreram, somente em Fortaleza, seis pessoas.

Neste sentido, Tucci et al. (1995) registram que é necessário planejar a ocupação do espaço urbano com a infraestrutura e as condições que evitem impactos econômicos e sociais sobre a sociedade. Ainda segundo estes autores, as cidades têm atualmente grandes desafios com relação à água: entradas (abastecimento doméstico e industrial), saídas (águas pluviais, esgotos domésticos e industriais). A água da chuva oferece, neste sentido, um recurso plural, convertendo-se paradoxalmente em solução e causa, de muitos dos problemas urbanos com relação à água. Uma correta avaliação do contexto das chuvas urbanas, considerando este grau de complexidade, pode proporcionar o desenvolvimento de soluções que atendam às suas múltiplas direções, próprias da abordagem sustentável, contribuindo significativamente para a mitigação dos problemas de envolvimento hídrico no meio urbano.

4.1 INUNDAÇÕES URBANAS

As inundações urbanas constituem segundo Tucci et al. (2001) uma das grandes calamidades a que a população brasileira tem sido sujeita. Silva (1998) indica que em áreas urbanizadas, entre outros efeitos, verifica-se uma taxa menor de infiltração de água no solo, que diminui o nível do lençol freático e altera as vazões dos córregos. Tucci et al. (1995) especifica que, na bacia hidrográfica rural, o fluxo d'água é retido pela vegetação, infiltrando-se no solo, e o que resta escoa sobre a superfície de forma gradual, produzindo um hidrograma com variação lenta de vazão e picos de enchentes moderados. As enchentes naturais extravasam sua calha menor, em média, a cada dois anos, ocupando então o leito maior dos cursos d'água.

Segundo Agra (2001), a impermeabilização gerada pelo meio urbano aumenta significativamente os escoamentos superficiais, pois elimina grande parcela da infiltração das águas do terreno natural, contribuindo fortemente para as enchentes. Os pequenos canais, existentes na configuração natural, são substituídos pela tubulação de drenagem, além dos rios serem retificados e revestidos e os planos de escoamento superficial diminuídos. Tucci et al. (2001), afirma que o volume que, no terreno natural, escoava lentamente pelo solo e ficava retido pelas plantas passa a correr em canais construídos, exigindo maior capacidade de escoamento das seções dos dutos.

A urbanização e loteamento efetivamente retiram a vegetação pré-existente, que segura a ação erosiva das águas pluviais, alterando os escoamentos naturais e exigindo dispendiosas obras de correção. Além disto, conforme Botelho (1985), a ocupação inadequada destes locais causa, entre outros, assoreamento dos córregos, pelo acúmulo de material erodido dos terrenos, diminuição da infiltração da água, aumento dos efeitos da poluição nos rios.

Tucci et al. (1995) cita dois processos, que podem ocorrer isoladamente ou de forma integrada, como causadores de enchentes urbanas:

a) a ocupação de áreas ribeirinhas;

b) a própria urbanização.

As enchentes em áreas ribeirinhas são, normalmente, de processo natural. O rio, por conseqüência de grandes precipitações, ocupa o seu leito maior (figura 4), num período de retorno que, na maior parte das vezes, não é menor de dois anos. A ocupação inadequada destas áreas é o que gera o problema da enchente urbana. O período de retorno é apontado por Tucci et al. (2001), como razão suficiente para que loteadores ocupem estas áreas com seus empreendimentos.

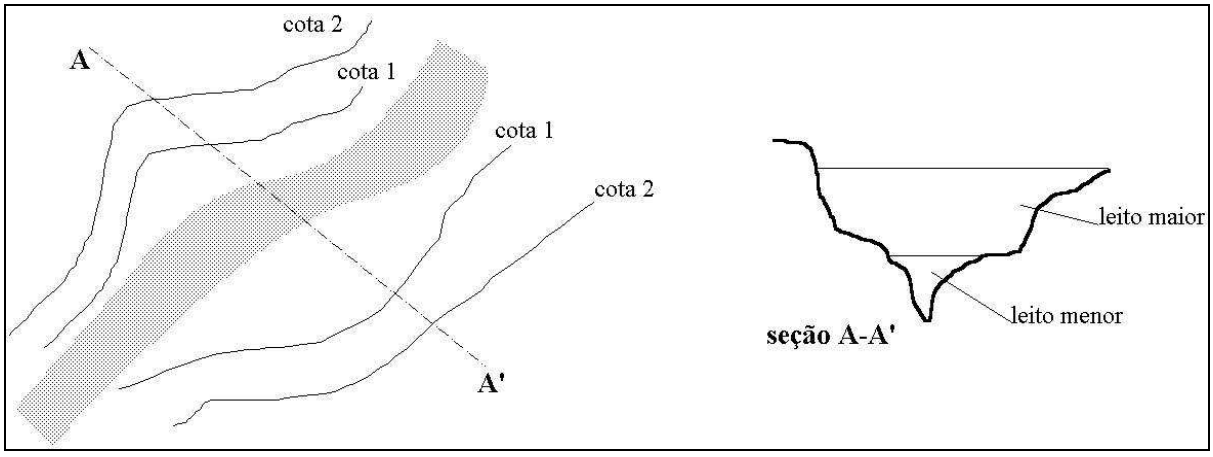


Figura 4: inundação de áreas ribeirinhas (TUCCI et al., 1995)

Tucci et al. (1995) detalha que estas ocupações inadequadas do espaço urbano, em geral, ocorrem devido às seguintes ações:

a) inexistência de restrições, nos planos diretores de desenvolvimento urbano da absoluta maioria das cidades brasileiras, ao loteamento de áreas de risco de inundação;

b) as invasões de áreas que pertencem ao poder público;

c) ocupação de áreas de médio risco que têm tempo de retorno ainda maior, mas que quando ocorrem, as enchentes geram prejuízos significativos.

A ocupação inicial das cidades ocorre próxima a rios de grande e médio porte, principalmente para utilização do transporte fluvial. Porém, o respeito ao leito maior para a ocupação, sempre se deu em função da memória dos habitantes, dependendo da freqüência com que as enchentes ocorriam, conforme coloca Tucci et al. (1995). Em Blumenau, segundo o mesmo autor, entre 1912 e 1982 não ocorreu nenhuma enchente com cota superior a 13m. No entanto em 1852 registrou-se 16,50m, em 1880, cota de 17,10m, em 1911, cota de 16,90m, em 1983, cota de 15,34m e 1984 novamente superou os treze metros, ficando em 15,50m. A enchente de 1983, ocorrida após 71 anos, acarretou enormes prejuízos, por causa da ocupação do vale de inundação. Tais prejuízos representaram 16 % do Produto Interno Bruto (PIB) de todo o estado de Santa Catarina. Desta forma, as enchentes de áreas ribeirinhas ocorrem, principalmente, em bacias de grande e médio porte.

As enchentes devidas à urbanização, à exceção das grandes áreas metropolitanas, ocorrem normalmente em bacias de pequeno porte. Tucci et al. (1995) afirmam que a impermeabilização do solo, através dos telhados, ruas, calçadas e pátios, impede a infiltração da água ampliando muito o escoamento superficial, alterando significativamente o hidrograma da bacia natural, conforme mostra a figura 5.

O balanço hídrico na bacia urbana altera-se com o aumento do volume de escoamento superficial e com a redução da recarga natural dos aqüíferos e da evapotranspiração. UFRGS (1998) apresenta uma ilustração na figura 6 que demonstra estas alterações, considerando apenas as entradas d’água pela precipitação.

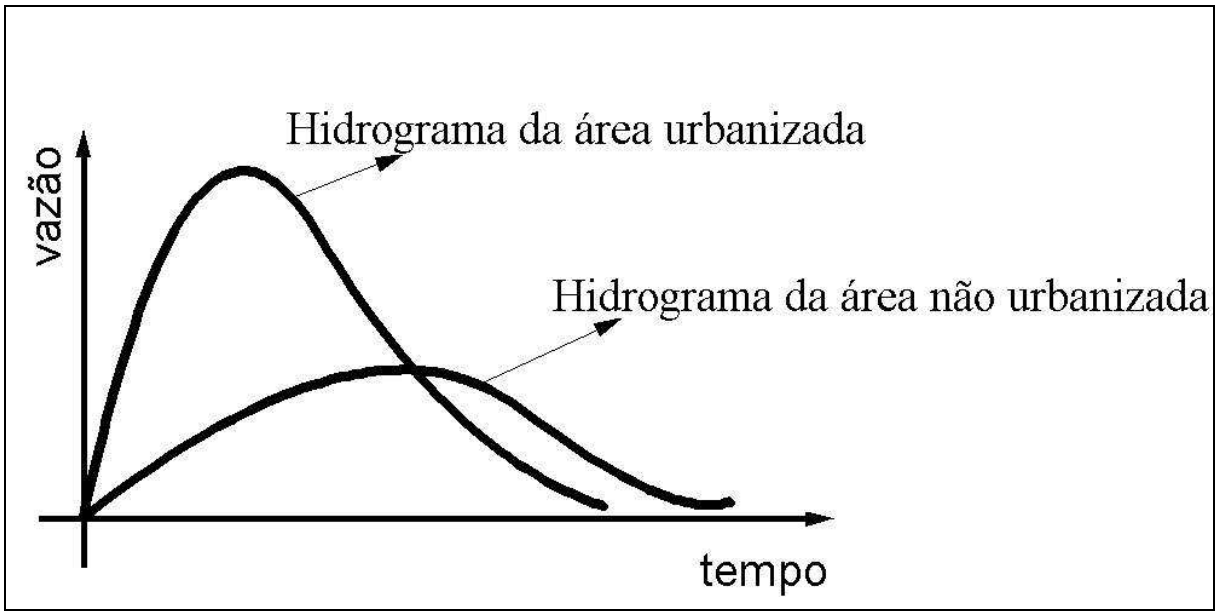


Figura 5 : hidrograma hipotético de áreas urbanizadas e não urbanizadas (TUCCI et al., 1995)

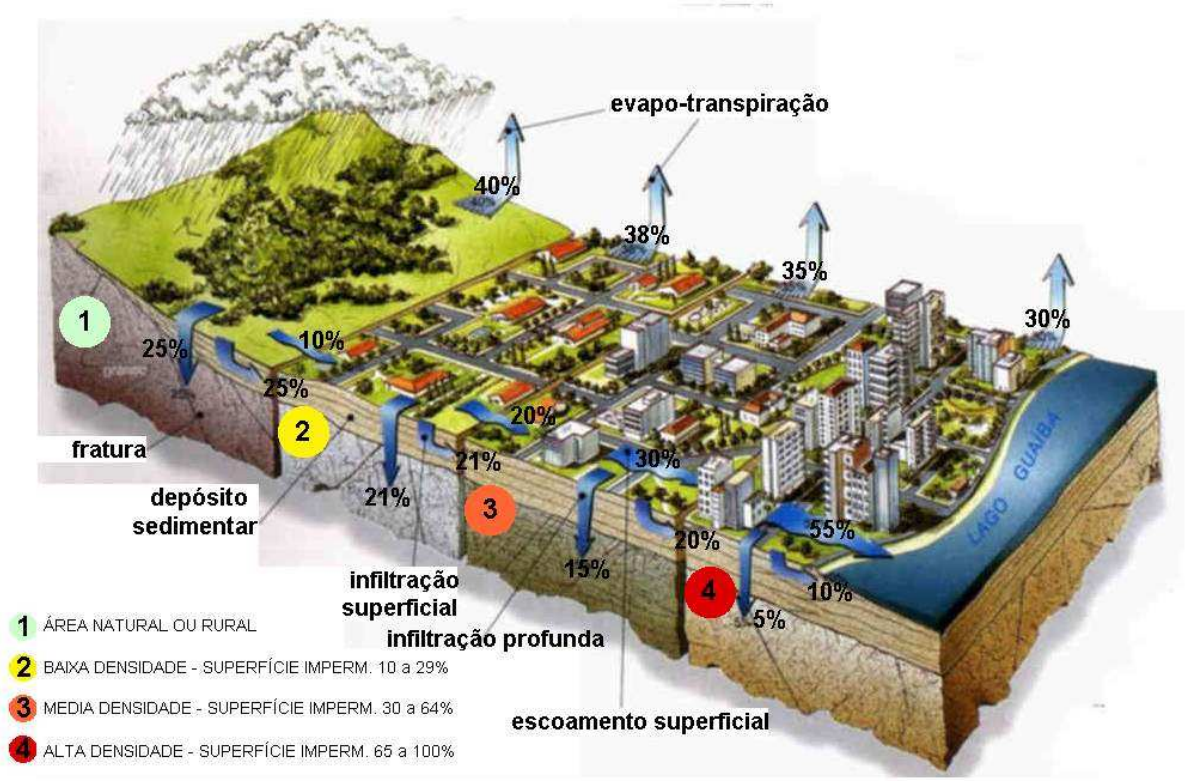


Figura 6: destino das águas de precipitação nas diversas densidades urbanas (UFRGS 1998)

Outro problema deve-se ao fato de que, normalmente a urbanização se dá no sentido de jusante para montante, na macrodrenagem urbana, devido às características de relevo (TUCCI et al., 1995). Os novos loteamentos surgem, ampliando os limites da cidade, e implantam sistemas eficientes de drenagem que atuam somente dentro de suas áreas, não havendo na grande maioria das vezes, uma preocupação do poder público com a macrodrenagem urbana. Os mesmos autores completam afirmando que, normalmente, o impacto do aumento da vazão máxima sobre o restante da bacia não é avaliado pelo projetista e nem exigido pelo município, e que a combinação dos impactos dos diferentes loteamentos produz aumento da ocorrência de enchentes a jusante.

Os referidos autores ressaltam que, depois que o espaço está todo ocupado, as soluções disponíveis tornam-se caras. Alguns exemplos de tais soluções são as canalizações, diques com bombeamentos, reversões e barragens. Agra (2001) chama tais soluções de medidas de controle de enchentes e as classifica como estruturais, sendo que existem ainda as não estruturais. As primeiras têm caráter corretivo, traduzindo-se em obras hidráulicas, segundo Sefione (1998 apud AGRA, 2001), e as segundas, segundo Tucci et al. (2001) envolvem a convivência do homem com o rio, consistindo em uma forma mais passiva de mitigação do problema, trabalhando mais perto da prevenção.

Entre as medidas estruturais, podem-se citar algumas que, segundo Tucci et al. (1995), classificam-se de acordo com a área de abrangência, sendo elas:

a) distribuídas ou na fonte: tipo de controle que atua sobre o lote, praças e passeios aumentando a área de infiltração e armazenamento temporário em **reservatórios residenciais** ou de telhados;

b) de microdrenagem: controle que age sobre o hidrograma de um ou mais loteamentos através, principalmente, de dispositivos de amortecimento do volume gerado pelos loteamentos como tanques, lagos e pequenos reservatórios abertos e subterrâneos;

c) de macrodrenagem: é o controle sobre os principais riachos urbanos

Tucci et al. (1995) reforçam afirmando que os dispositivos tais como pavimentos porosos, armazenamento em telhados, pequenos tanques residenciais e poços subterrâneos, produzem uma redução distribuída do efeito da urbanização. Ressaltam também, que tais medidas de

controle podem ser organizadas de acordo com a sua ação sobre o hidrograma, em cada uma das partes da bacia, citadas acima, em:

a) infiltração e percolação: cria espaço para que a água tenha maior infiltração e percolação no solo, retardando o escoamento superficial;

b) armazenamento: **através de reservatórios, que podem ser de tamanho adequado para uso numa residência** (1 a 3 m^3), até terem porte para a macrodrenagem urbana (alguns milhares de metros cúbicos). O efeito do reservatório urbano é o de **reter parte do volume do escoamento superficial**, reduzindo o seu pico e distribuindo a vazão no tempo;

c) aumento da eficiência do escoamento: condutos e canais que drenam áreas inundadas. Esta solução tende a transferir enchentes de uma área para outra, mas pode ser benéfica quando usada em conjunto com reservatórios de retenção;

d) diques e estações de bombeamento: solução tradicional de controle localizado de enchentes em áreas urbanas que não possuam espaço para amortecimento da inundação.

As inundações urbanas constituem-se desta maneira num problema claramente gerado pela forma de ocupação do solo das cidades, que normalmente, desconsidera o ciclo hidrológico. Os planos diretores de desenvolvimento urbano deveriam, neste sentido, servir como instrumentos para minimização dos problemas de inundação, oferecendo soluções não estruturais, como por exemplo, o planejamento da ocupação de áreas de risco. No entanto, conforme coloca Tucci et al. (1995), muito raramente contemplam tal preocupação.

Em Tucci et al. (2001), são apresentados dados que revelam que o Brasil perde anualmente cerca de 1 bilhão de dólares com as enchentes urbanas e rurais. O mesmo autor salienta que o prejuízo médio por inundações nos Estados Unidos, chegou a cerca de 5 bilhões de dólares anuais. Jica (1986 apud TUCCI et al., 1995) estima em 7% do valor de todas as propriedades de Blumenau, o custo médio anual de enchentes na cidade e em U$ 22 milhões, para todo o vale do Itajaí. METROPLAN (2001) revela que o aumento da capacidade dos canais ao longo das cidades se tornou insustentável economicamente e que em São Paulo o canal do rio Tamanduateí e Meninos chegou a custos de U$ 50 milhões por quilômetro.

Estes prejuízos representam as perdas pela ação direta da enchente. Devem ser, ainda, computados os custos com as obras de drenagem: função do inadequado planejamento urbano e desconsideração de possibilidades não estruturais, de baixo impacto ambiental, como pavimentações permeáveis e reservatórios residenciais. Neste sentido podem ser citados alguns exemplos de instrumentos de gestão administrativa que contribuem para a drenagem urbana de maneira menos impactante. Baptista e Nascimento (2003) apresentam alguns que dizem respeito à tarifação, aplicadas na atualidade:

a) Zurique, Suíça: taxação de base de cerca de US$ 1,05 por m^2/ano para superfícies impermeabilizadas; áreas não construídas contribuem com no máximo 15% deste valor;

b) Munique, Alemanha: taxa foi fixada em 1990 em cerca de US$ 1,17 por m^2/ano, tendo por referência o valor da tarifa, por metro cúbico, de esgotamento sanitário;

c) Malmö, Suécia: a municipalidade adota modalidades diversificadas de divisão de custos com os particulares, após negociação caso a caso; a taxação é mais acentuada em zonas industriais.

Conforme Marcon e Vaz Júnior (1999 apud BATISTA e NASCIMENTO, 2003), no Brasil, reporta-se à experiência do Município de Santo André, em São Paulo, onde uma tarifa para fazer face aos custos de operação e manutenção dos serviços de drenagem foi estabelecida adotando-se como base física a área coberta dos imóveis, a partir de dados extraídos do cadastro municipal dos imóveis. Neste sentido, Campana (1995) afirma que o conhecimento das contribuições das superfícies permeáveis e das superfícies impermeáveis para o escoamento total, constitui um tema de vital importância no planejamento e dimensionamento da macro-drenagem urbana. O mesmo autor apresenta um método de sensoriamento remoto para realizar a estimativa de áreas impermeáveis.

Outra forma de estimativa para áreas impermeáveis é aquela que relaciona o percentual de área impermeável urbana à densidade populacional, sendo aplicável à escala de bacia. Agra (2001) afirma que vários autores relacionam os índices de impermeabilização com a densidade habitacional, pela fácil disponibilidade desta informação, mas também para realização de projeções de impermeabilização através das estimativas de crescimento

populacional. Stankowski (1972 apud CAMPANA, 1995), por exemplo, já propunha o uso da relação entre densidade habitacional e área impermeabilizada para regiões urbanas e vizinhanças de New Jersey (EUA). McCuen (1975 apud CAMPANA, 1995), sugere, também, que os dados dos modelos hidrológicos deveriam estar associados aos parâmetros de planejamento, como por exemplo, a densidade populacional. Villanueva (2000), entre outros, utiliza o modelo proposto por Campana e Tucci (1994), para suas considerações a respeito dos planos diretores de drenagem urbana nas cidades gaúchas de Caxias do Sul e Porto Alegre. O modelo desenvolvido a partir de dados referentes a São Paulo (SP), Curitiba (PR) e Porto Alegre (RS), incrementa, segundo Campana e Tucci (2001), a relação existente entre área impermeável e densidade populacional. A figura 7, por exemplo, demonstra um gráfico que considera uma mistura de ocupações para fins comercial e residencial, restringindo sua validade somente para este tipo de cenário urbano, conforme colocam Campana e Tucci (2001).

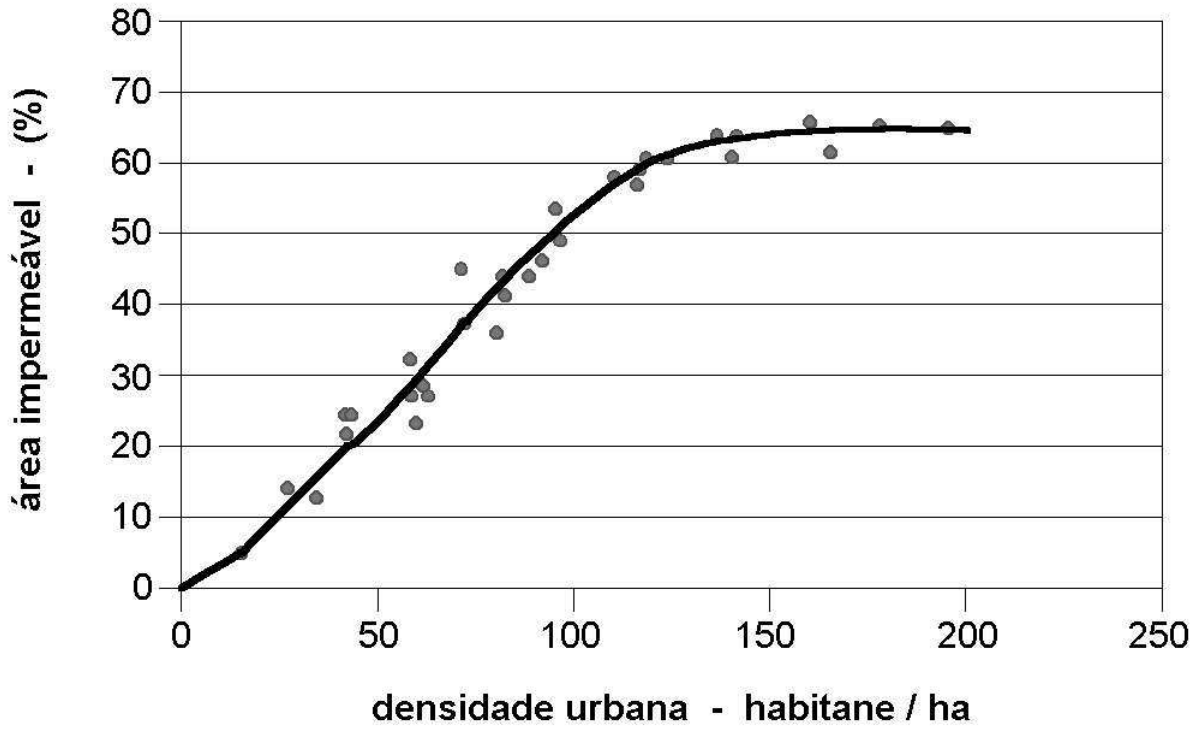


Figura 7: relação entre área impermeável e densidade populacional urbana, baseado em dados de São Paulo, Porto Alegre e Curitiba (CAMPANA; TUCCI, 2001)

É notável na figura 7 que a partir de, aproximadamente 120 hab/ha, o nível de impermeabilização pára de crescer. Ressalta-se que o método acima, não isola os vários tipos de ocupação do solo (industrial, comercial e residencial).

Motta Jr. e Tucci (1984 apud AGRA, 2001) perceberam que para duas áreas com diferentes densidades demográficas, uma com casas e outra com edifícios, os padrões de áreas impermeáveis mostravam-se semelhantes. Desta maneira, dependendo também de outros fatores, pode-se considerar que, em relação ao problema das enchentes, a utilização de água da chuva para uso residencial unifamiliar tem potencial de contribuição, para mitigação do problema, equivalente ao uso multifamiliar, e até mesmo o comercial.

4.2 INUNDAÇÕES E DRENAGEM EM PORTO ALEGRE

Os registros das atas da Câmara de Vereadores de Porto Alegre relatam de grandes cheias a partir de 1824. Documentam que a primeira ocorrência importante teria sido em setembro de 1833, quando foi interrompida a passagem da Praia do Riacho, e os vendedores de frutas da Marechal Floriano tiveram de suspender os trabalhos. Segundo METROPLAN (2001) depois desta, ocorreu ainda uma outra cheia em 1847. Mas a grande enchente da época, causada por "copiosíssima chuva", conforme documentava o jornal *A Reforma*, ocorreu no final de 1873. Casas foram invadidas pela enxurrada, as linhas de bondes para o bairro Menino Deus foram interrompidas, a rua Sete de Setembro permanecia com seus trapiches cobertos pela água: a cidade vivera sete dias de temor e apreensão.

Outras cheias de menor porte aconteceram em 1881, 1897, 1905, 1912 e em setembro de 1913 uma nova enchente, como a de 1873 ocorreu, deixando a avenida Voluntários da Pátria embaixo d'água, o edifício dos correios e telégrafos totalmente alagado. Nesta ocasião o Guaíba elevou-se 2,60 metros acima de seu nível normal. Após, foram os anos de 1921, 1928 com inundações menores e, novamente em 1936 a enchente elevou suas proporções, desta vez alcançando o máximo de 3,12 metros acima do nível do rio, gerando inúmeros prejuízos (METROPLAN, 2001); (UFRGS 1998).

Apenas cinco anos se passaram para então ser vista a maior inundação registrada, que já atingiu a cidade. Segundo UFRGS (1998), a enchente de 1941 deixou setenta mil flagelados, transformou as ruas em vias navegáveis e deixou a cidade sem abastecimento de água e energia elétrica por um mês. Em METROPLAN (2001) é dado que, no pico da enxurrada, as águas atingiram 4,75m acima do nível normal. Os prejuízos no comércio e na indústria foram calculados em 62 mil contos de réis, enquanto que o orçamento da Capital para o ano de 1942

foi de 40,3 mil contos. Os episódios consecutivos mais relevantes ocorreram em 1954, 1965, 1967, 1970 e 1983 (METROPLAN, 2001). A figura 8 demonstra as enchentes ocorridas em Porto Alegre, com os respectivos períodos de retorno.

UFRGS (1998), coloca que Porto Alegre, situada às margens do lago Guaíba, ocupa uma posição geograficamente estratégica, mas também perigosa. No lago deságuam os rios Jacuí, Caí, Sinos e Gravataí, em cujas nascentes ocorrem as maiores precipitações pluviométricas do Estado. Além disto, nos períodos de chuva intensa as áreas baixas, situadas nas planícies pluviais do rio Gravataí e do arroio Dilúvio, ficam constantemente alagadas. Enquanto a inundação é a elevação do nível da água no lago, o alagamento é causado pelo não escoamento da água da chuva. Segundo UFRGS (1998), cerca de 35 % da área urbanizada de Porto Alegre situa-se nas terras baixas, com altitude inferior a 3m, estando apenas 2m acima do nível médio da lâmina d'água do lago Guaíba.

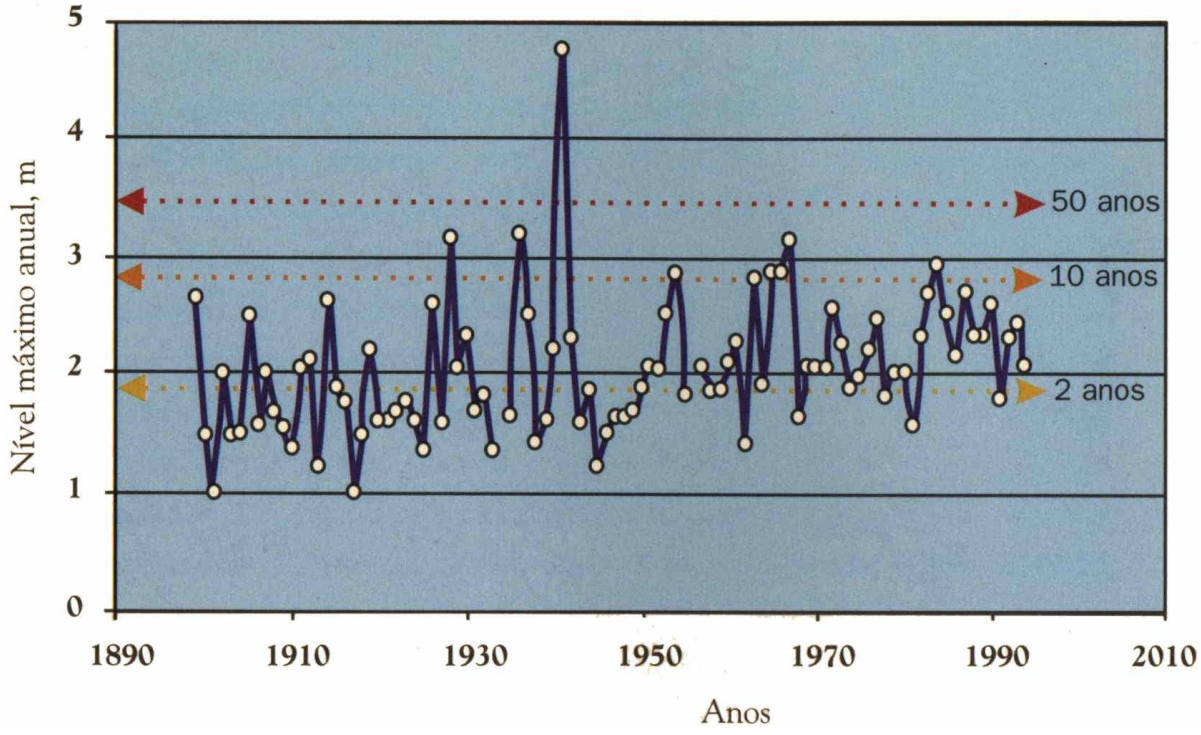


Figura 8: cotas de inundações na cidade de Porto Alegre entre 1889 a1994 e cotas com risco de 2, 10 e 50 anos (METROPLAN, 2001)

Este fato contribui significativamente para o histórico de cheias da cidade e, conseqüentemente, para a série de obras hidráulicas para minimização do problema. Segundo UFRGS (1998), 68 quilômetros de diques externos, internos e de uma cortina de proteção conhecida por Muro da Mauá, construídos a partir dos anos setenta, fazem a proteção da cidade para novos eventos. Os diques externos fazem as margens do rio Gravataí e do lago Guaíba conciliando a infra-estrtura de transporte com a de proteção, a exemplo das avenidas Castelo Branco, Edvaldo Pereira Paiva (Beira Rio), Diário de Notícias e um trecho da auto-estrada BR-290 que vai da ponte do Guaíba à saída da avenida Assis Brasil (figura 9). Os diques internos, construídos nas margens dos principais arroios formam um sistema de pôlderes, onde ficam as casas de bombas (totalizando dezoito) e as comportas, que além de impedirem a entrada das inundações, retiram as águas acumuladas dentro do pôlder (METROPLAN, 2001); (UFRGS 1998).

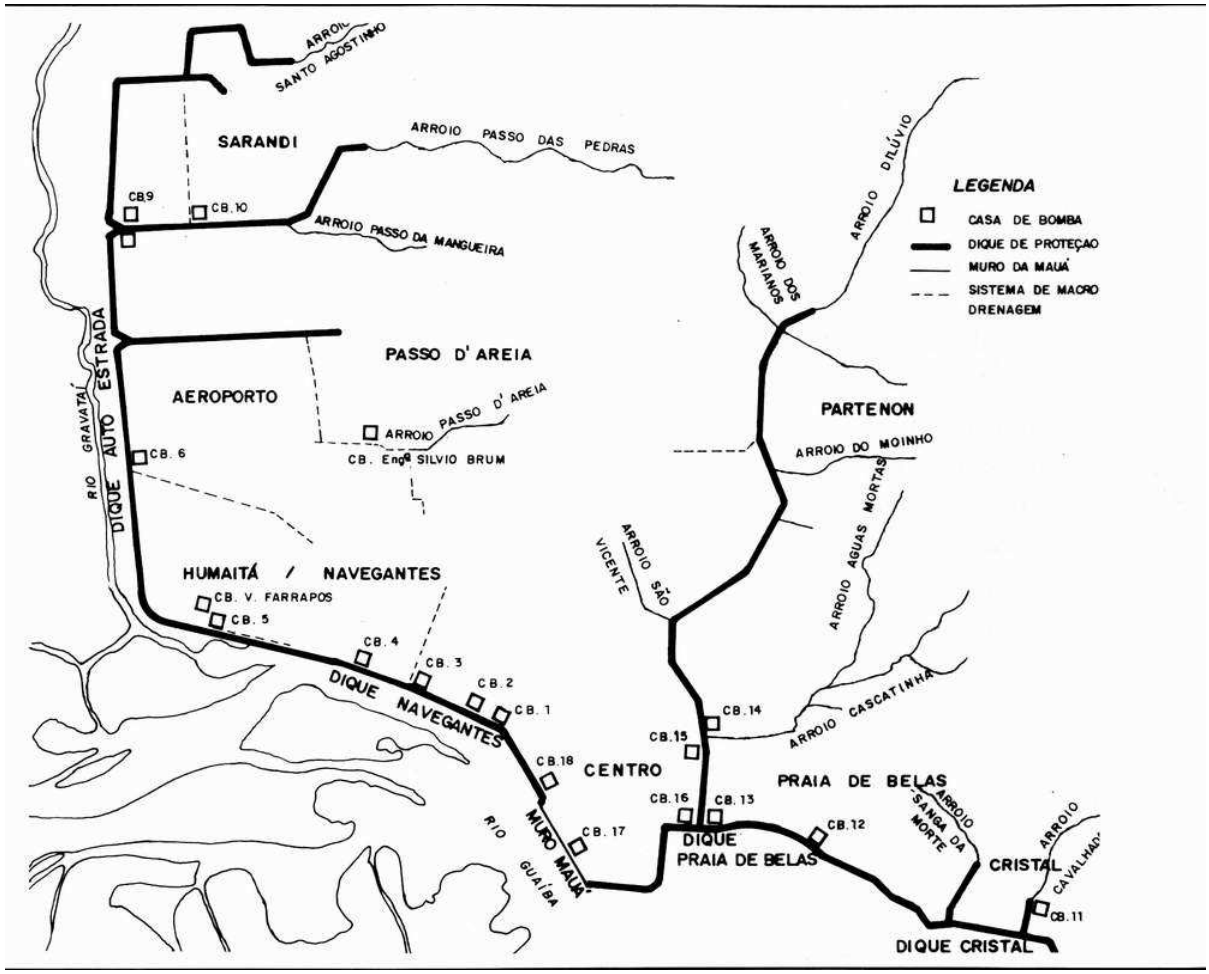


Figura 9. esquema demonstrativo do sistema de prevenção a inundações de Porto Alegre (RAUBER, 1992)

O sistema de diques, segundo Rauber (1992), foi projetado considerando precipitações com período de retorno de 370 anos, no entanto, a proteção dada pelos diques ocorre a partir da cota de 3,0 m, que possui período de retorno inferior a 15 anos e as casas de bombas têm funcionamento diário por causa do sistema misto de esgotos. A figura 9 demonstra esquematicamente a estrutura de diques da cidade.

Segundo UFRGS (1998), a macrodrenagem feita através de condutos forçados, retira a água da superfície nos pontos altos (acima de 5m), e a canaliza até o rio, sem a necessidade de bombeamento. Nos pontos baixos a água é recolhida pelas bocas-de-lobo e encaminhada por tubulações e galerias até as casas de bombas, de onde são lançadas no lago. Entupimentos nas bocas-de-lobo e chuvas de intensidade elevada são as causas geradoras dos alagamentos freqüentemente vistos na cidade. A figura 10 ilustra o sistema.

Figura 10: esquema demonstrativo do sistema de drenagem urbana de Porto Alegre UFRGS (1998)

Rizzo et al. (1993) realizaram um estudo, a fim de desenvolver um mapa de enchentes da região metropolitana de Porto Alegre. Concluíram que em 12 municípios, as áreas de inundação ainda não estão urbanizadas, recomendando desta forma, a adoção de medidas não-estruturais, criando-se normas específicas de uso e ocupação do solo, de maneira a preservá-las ou usá-las adequadamente. Por outro lado, recomendam também, que estudos específicos

sejam feitos nas áreas identificadas como pontos de conflito, visando a implantação de medidas corretivas e de otimização do seu uso. Mascaró (1994) coloca que em termos econômicos, a preocupação dos projetistas e construtores deve centrar-se nas tubulações e em sua participação no custo da rede, pois aí reside a maior parte do custo do sistema. A incidência dos elementos acessórios que compõem a rede, como poços de visita e bocas-de-lobo, constituem uma parte relativamente pequena no custo total de implantação da rede, devendo ficar em aproximadamente 14%.

4.2 ABASTECIMENTO DE ÁGUA EM PORTO ALEGRE

O abastecimento de água potável em grandes centros urbanos constitui um grande desafio, não apenas pelas quantidades envolvidas, mas também, e principalmente, pela qualidade que a água distribuída deve ter. Em Porto Alegre a água é captada no Guaíba (e como reserva estratégica na represa da Lomba do Sabão) e conduzida até às estações de tratamento (ETA), onde processos químicos e físicos tratam de retirar o odor, a turbidez e organismos patogênicos da água, tornando-a potável para o consumo humano. Porém não foi sempre assim. O abastecimento individual de água na cidade, através de encanamentos, segundo UFRGS (1998), começou somente no ano de 1886. Nesta data a Câmara Municipal contratou a **Companhia Hydráulica Guaybense**, que começou a captar água do lago Guaíba e distribuir para a população através de ligações individuais.

Os registros do UFRGS (1998) revelam que a primeira bica da cidade foi instalada em 1777, e que apenas dois anos depois, a bica já não conseguia atender às necessidades da população. O governo então construiu mais duas fontes, sendo uma no lugar onde atualmente situa-se a praça Argentina e a outra onde é a rua Jerônimo Coelho. Em 1820 os 12.000 habitantes da cidade serviam-se das águas do Guaíba particularmente e sem nenhum tipo de controle. Iniciou-se uma forte preocupação com a qualidade da água consumida, fazendo com que a Câmara Municipal estabelecesse áreas para lavagem de roupas e panos, e fixasse multas aos infratores. A partir de 1832, a água era distribuída por quatro chafarizes, pipeiros[1] e fontes públicas, permanecendo assim até a contratação da **Companhia Hydráulica Guaybens**. A Companhia foi a encarregada da distribuição de água na cidade até a sua encampação, pelo

[1] pipeiros são as pessoas que distribuíam água de porta em porta

Município, em 1904, quando passou a chamar-se Seção de Abastecimento Municipal. Em 1961 foi criado o Departamento Municipal de Águas e Esgotos (DMAE).

Hoje, a cidade alcançou a universalização do abastecimento, verificando-se 99,5 % da população com acesso à água tratada, dentro dos padrões de qualidade estabelecidos pela portaria nº 36, de 1990, do Ministério da Saúde. A Cidade conta com noventa e cinco estações de bombeamento de água potável e noventa e seis reservatórios, que recebem as águas tratadas por oito ETA (DMAE, 2003b).

Segundo UFRGS (1998), as oito ETA da cidade produzem mensalmente 16.953.294 m³ de água tratada, que é distribuída por meio de 2.765 km de tubulações da rede abastecimento, colocando água dentro de 481 mil domicílios. Conforme o mesmo documento, o tratamento de água na cidade se faz basicamente pelo sistema convencional, composto pelas seguintes etapas:

a) captação, bombeamento e adução: captação da água bruta diretamente no manancial, através de canais ou poços e condução forçada (casa de bombas) até a ETA;

b) clarificação: já na entrada da ETA é adicionada à água uma solução de sulfato de alumínio para a formação de flocos (agrega partículas e impurezas em suspensão), o que constitui a floculação. Por processo natural ocorre então a decantação, que reduz em mais de 80% as impurezas da água bruta. Após a decantação a água é conduzida para a filtração, realizada em filtros de leito de areia, que retêm flocos e materiais ainda em suspensão;

c) desinfecção: adição de cloro à água, a fim de garantir a eliminação de bactérias e microorganismos patogênicos;

d) fluoretação: aplicação de flúor à água já tratada;

e) controle de qualidade: seguindo as orientações da legislação federal (portaria nº 36/90 do Ministério da Saúde), são realizadas com freqüência diária, mensal e semestral, análises físicas, químicas e bacteriológicas da águas em diversas etapas do tratamento e da distribuição;

f) reservação: a água já tratada é então encaminhada para 96 reservatórios, colocados em diversos pontos da cidade. A capacidade de reservação é, segundo DMAE (2003a), de 185.884 m³;

g) distribuição: ocorre por gravidade ou pela força de bombeamento realizado em 95 estações.

UFRGS (1998) afirma porém, que na cidade também é utilizado em algumas ETA, um outro processo que usa o sistema **superpulsátor**. Nesse processo, um conjunto de placas, dispostas de forma inclinada no decantador, atua de modo a aumentar o tamanho dos flocos, acelerando sua decantação. O decantador **superpulsátor** produz maior quantidade de água decantada numa menor área, em relação aos decantadores convencionais. Porém exige regulagem e ajuste mais freqüentes e complexos.

O Volume medido para toda a cidade entre agosto de 2002 e janeiro de 2003, foi segundo Staruck (2003), de 49.093.448 m³, resultando num volume médio mensal de 8.182.241 m³. Citando os reajustes dos preços do sulfato de alumínio em 28%, da cal em 27,61%, da energia elétrica em 19,88% e do carbonato de sódio em 16,04%, que ocorreram na passagem do ano de 2002 a 2003, Staruck (2003) justifica o aumento tarifário ocorrido no primeiro semestre deste ano.

O custo corrigido total, dos serviços de água, de agosto de 2002 a janeiro de 2003, foi de R$ 46.585616,64, sendo, desta maneira o valor do custo unitário, de R$ 0,9489/m³. Somando-se a isto, o subsídio a serviços complementares que a água paga, de R$ 0,1174/m³, tem-se o que Staruck (2003) classifica como custo de produção com subsídio, ou seja, o custo de tratamento da água, que totaliza-se em R$ 1,0663/m³.

No entanto o custo total envolve ainda os gastos com administração, de R$ 0,2087/m³, que somados aos anteriores recebe o nome de custo operacional, e por fim, soma-se o serviço da dívida que, para o mesmo período, custou R$ 4.972.356,73, em média R$ 0,1013 por metro cúbico, totalizando um custo de R$ 1,3763 por cada metro cúbico produzido e distribuido.

Staruck (2003) calcula então o preço médio de arrecadação, ou seja o valor médio cobrado pelo serviço de água, chegando ao valor de R$ 1,8351/m³, que é, no entanto, diferente do valor do preço básico (PB), referente à unidade de cálculo da tarifa final ao consumidor. O PB é calculado por Staruck (2003), com base no aumento verificado nesste período, de 29,30%,

sobre o valor anterior do mesmo, que era de R$ 1,0656/m³, resultando em número próximo ao do valor cobrado hoje, constante em DMAE (2003b), de R$ 1,3917/m³.

O valor médio é maior que o PB, como pode ser constatado a seguir nesta pesquisa, porque existem fórmulas de tarifação diferentes para tipos diferentes de consumidores. Consumidores até 20m³ por mês, arrecadam a partir de uma fórmula que considera apenas o consumo e o números de economias. De 20m³ a 1000m³ a tarifa obedece uma outra fórmula, que faz pesar um pouco mais a tarifa, e acima de 1000m³ de consumo mensal um terceira fórmula que amplia em mais de cinco vezes o valor do metro cúbico da água.

Existe ainda, outra forma de diferenciação tarifária, que altera o valor do PB, segundo a atividade da edificação consumidora. Usuários residenciais pagam R$ 1,3917, comerciais e industriais pagam R$ 1,5748 e instituições públicas, por fim, pagam R$ 2,7834. Ou seja, o usuário residencial, sobretudo o pequeno, tem sua água subsidiada pelos grandes consumidores e pelos usuários não residenciais, o que torna a água potável, um bem barato e acessível a quase a totalidade da população, no presente.

5 CAPTAÇÃO E UTILIZAÇÃO DE ÁGUA DA CHUVA

A água da chuva tem sido coletada e armazenada para o uso doméstico e na agricultura há milhares de anos. Na Índia existem estruturas de pedra em cascalho para represamento e captação da água da chuva que datam de 3.000 a.C., conforme Argal e Naraim, (1997 apud SMET E MORIARTY, 2001). Centenas de anos antes do nascimento de Cristo a coleta de água da chuva já era uma técnica comum em todo o Mediterrâneo e o Oriente Médio, sendo usada, por exemplo, pelos egípcios, palestinos, iranianos, iraquianos, gregos e romanos. A água era coletada dos telhados e outras superfícies impermeáveis e armazenada em tanques subterrâneos e reservatórios enterrados (cisternas), na forma de cúpulas de alvenaria (SMET; MORIARTY, 2001).

Ruskin (2001a), coloca que a cidade de Veneza (Itália) coletou a chuva e a armazenou em cisternas por um período superior a 1.300 anos, segundo artigo publicado pelo *J. Franklin Institut* na publicação *Pratical Mecânica* em 1863. Durante este tempo, a água da chuva era armazenada em 177 cisternas públicas e 1.900 cisternas privadas, que abasteceram a cidade de água fresca até o século XVI. Hoje, a coleta e utilização de água da chuva ainda é a única fonte de água em muitas localidades, principalmente rurais, sendo uma tecnologia muito aplicada em diversas partes do mundo. Ruskin (2001a), afirma, ainda, que nas Ilhas Virgens (EUA) as cisternas têm sido utilizadas desde a época da colonização e que ainda hoje 80% da população do lugar é beneficiada de alguma forma pela utilização da água das chuvas, que ocorre não só em residências, mas também em escolas, restaurantes, hotéis, albergues.

O Governo de Taiwan completou em 1990 um grande plano de implementação de cisternas para armazenamento de água da chuva. Segundo Chu et al. (1999), foram construídas nove milhões de cisternas, beneficiando oitenta milhões de pessoas. Bohara (1999) classifica a água da chuva como um recurso natural extraordinário e completa afirmando que sua captação e utilização é uma opção acertada no contexto presente de países como o Nepal. Segundo Garduño (1999), atualmente diferentes sistemas de captação de água da chuva são usados no México: para o uso doméstico, coleta das águas dos telhados e das áreas pavimentadas dos terrenos; para o uso na agricultura, sistemas como microcaptação, linhas de contorno, diques trapezoidais, represas de pedras permeáveis e diques de pedra de contorno.

O Canadá tem o exemplo de um estudo desenvolvido pelo *Centre for Water Resources Studies*, da *Dalhousie University*, que leva o nome de *Toronto Healthy House* (THH). Segundo Waller et al. (1999), a casa, terminada em 1997, é uma edificação de dois pavimentos, localizada no centro de Toronto, sendo completamente independente dos serviços municipais de suprimento de água e coleta de esgoto. A água para o uso potável é obtida dos telhados e superfícies dos pátios e as águas negras e cinzas são recicladas para os outros usos. A água da chuva é tratada por dupla filtragem e uma desinfecção ultravioleta. Waller et al. (1999) afirmam, ainda, que o resultados do monitoramento constante demonstram que a qualidade da água atende aos padrões de potabilidade canadenses.

Vale e Vale (2000) justificam a água da chuva como fonte para o abastecimento d'água da casa chamada *The New Autonomous House*, citando um estudo realizado pela *Nottingham Trenton University* e também os resultados de um relatório Canadense, com relação à qualidade da água. Os resultados revelaram que a qualidade da água da chuva na área de Nottingham, à exceção da turbidez, concordava com o padrão estabelecido pelo WHO (*World Helth Authority*), para água potável. Os mesmos autores citam ainda uma ilha da Nova Zelândia, com população de aproximadamente 5.400 pessoas, que não têm rede pública de abastecimento de água, obtendo esse recurso através da captação dos telhados.

No Brasil a água da chuva torna-se cada vez mais um recurso importante, principalmente na região do semi-árido. No sertão, a periódica falta de água vem sendo há muito tempo um assunto de crucial importância política, econômica, mas sobretudo pessoal para os brasileiros que sofrem com a falta d'água. Segundo Thomas (2001) as águas superficiais são reduzidas e não confiáveis e as condições geológicas não são favoráveis ao desenvolvimento de recursos hídricos subterrâneos. Desta maneira, o transporte periódico de água potável por carros pipas tornou-se uma das características da região. O mesmo autor afirma ainda que a captação de água de chuva é uma técnica para fornecimento de água com potencial para resolver os problemas de abastecimento no semi-árido brasileiro.

A sociedade civil intitulada Articulação no Semi-Árido Brasileiro[2] (ASA), que tem como entidades coordenadoras a DIACONIA (entidade de Igrejas Evangélicas), FETAPE

[2] Organização consolidada em fevereiro de 2000, que congrega atualmente mais de 600 organizações da Sociedade Civil como Igrejas, ONGs de desenvolvimento e ambientalistas, associações de trabalhadores rurais e urbanos, associações comunitárias, Sindicatos e Federações de Trabalhadores Rurais, Movimentos Sociais e Organismos de Cooperação Internacional Públicos e Privados, que trabalham para o desenvolvimento social, econômico, político e cultural do semi-árido brasileiro.

(Federação de Trabalhadores na Agricultura de Pernambuco) e UNICEF (Fundo das Nações Unidas para a Infância), lançou em 2000 o Programa de Formação e Mobilização Social para a Convivência com o Semi-árido: Um Milhão de Cisternas (P1MC). A mobilização é uma iniciativa da ASA e conta com financiamento do Ministério do Meio Ambiente (MMA) e do UNICEF, além de contrapartida das entidades integrantes da Articulação e apoio de organismos internacionais de cooperação.

Como o próprio nome diz, o programa pretende a instalação de 1 milhão de cisternas, em toda a região do semi-árido brasileiro. A Agência Nacional das Águas (ANA) divulga em ANA (2003) dados do convênio firmado com a ASA para a construção de 12.400 cisternas, revelando que foram construídas, até agosto de 2002, 6.948 cisternas, beneficiando o mesmo número de famílias, distribuídas em 363 municípios. Lins (2003) apresenta dados mais recentes, colocando que o número de cisternas construídas ultrapassou a meta e já soma 15.000. Pelos cálculos feitos por organizações da ASA do Estado da Paraíba, uma cisterna acumula 16 mil litros de água permitindo o abastecimento para uma família com até cinco pessoas por aproximadamente oito meses e o custo é de cerca de oitocentos reais. Segundo a Associação Brasileira para o Desenvolvimento de Lideranças (ABDL, 2003) a disseminação das cisternas de placa, possibilitou a muitas famílias acesso a água de boa qualidade.

A água da chuva já é, desta maneira, vista como uma solução viável para muitas realidades, inclusive a brasileira, principalmente no semi-árido, apesar de que, no interior dos estados do sul e sudeste também foi prática comum até quase meados do século passado deixando presente historicamente o seu uso. Recentemente, na cidade de São Paulo foi promulgada a Lei nº 13.276 que “torna obrigatória a execução de reservatórios para as águas coletadas por coberturas e pavimentos nos lotes, edificados ou não, que tenham área impermeabilizada superior a 500 m²”. Porém a Lei recomenda a infiltração da água contida ao solo, facultando seu despejo na rede pública após uma hora da chuva que a originou, ou finalmente o encaminhamento a outro reservatório para a utilização em finalidades não potáveis (DIOGO, 2003). A lei, deste modo, teve como principal motivador a preocupação com as enchentes urbanas, comuns em cidades como São Paulo.

Ruskin (2001a) avaliza a Lei paulistana ao afirmar que o recolhimento das águas da chuva pode reduzir a demanda exigida das antigas infra-estruturas, que não acompanham o crescimento da população, especialmente em áreas de grande precipitação e em nações menos desenvolvidas ou em desenvolvimento. A água coletada e armazenada, conforme Botelho

(1995), deixa de escorrer pelas ruas e canais não se acumulando em pontos baixos, diminuindo o pico das cheias. Segundo o *Texas Water Development Board* (1997), a coleta de água da chuva, além de representar conservação da água, promove conservação de energia, pois a necessidade energética para operar um sistema de abastecimento centralizado, desenhado para tratar e levar água através de uma vasta área de operação, é eliminada. O documento completa afirmando que a captação de água da chuva também minimiza as ações de erosão e inundações locais, causadas pelos escoamentos superficiais das áreas impermeáveis, como pavimentos e telhados, ao recolher e armazenar a água.

Tucci et al. (1995), colocam que a captação da água da chuva pode contribuir fortemente na minimização dos picos de volume nos leitos dos rios, através da retenção temporária das máximas de chuva, retirando o excesso de volume d'água sobre as superfícies impermeáveis e armazenado em reservatórios, diminuindo desta maneira a magnitude das enchentes. Acrescenta, ainda, que a demanda de água no sistema de abastecimento convencional sofreria significativa diminuição, contribuindo para a economia do sistema.

Sistemas localizados de captação podem coletar água de telhados de construções, superfícies de terras pavimentadas e terrenos naturais, para abastecimento de água do uso doméstico, industrial e agrícola. Bohara (1999) apresenta algumas grandes vantagens na utilização de água da chuva, entre elas:

a) o mínimo esforço exigido para obter e manter a qualidade desta água para o uso;

b) a independência dos sistemas de captação no nível doméstico;

c) a simplicidade para construção e manutenção dos sistemas;

d) os baixos níveis de impacto ambiental exigidos;

e) a redução da erosão do solo e dos riscos de enchente pela interceptação da força das águas de chuva;

f) o incremento dos lençóis pela redução na extração de água dos mesmos.

Existem diferentes tipos de sistemas para captação e armazenamento das águas da chuva, que são adequados, igualmente, a finalidades variadas. Smet e Moriaty (2001), afirmam que a

coleta de água da chuva pode ser categorizada de diversas maneiras, dentre as quais, as mais importantes são aquelas que dependem do tipo de superfície de captação e da magnitude ou escala da demanda, que é por sua vez, dependente da atividade, ou destino da água. Ruskin (2001a), referindo-se às cisternas como o sistema de captação completo, detalha a colocação de Smet e Moriaty (2001), afirmando que as mesmas podem ser classificadas quanto ao volume, ao tipo de captação, ao destino de sua água e à técnica construtiva, mas todas exigem três componentes essenciais para funcionarem, quais sejam:

a) superfície de retenção ou de captação;

b) canaletas ou desviadores de água;

c) reservatório ou cisterna.

Essencialmente, completam Smet e Moriaty (2001), as superfícies de captação são os telhados e os terrenos crus e impermeáveis, sendo que os telhados são os mais adequados para o suprimento de água em residências individuais ou comunidades. Já o recolhimento superficial de terrenos se presta mais adequadamente à produção agrícola. Existe ainda, a destinação industrial da água da chuva, que tem usos e requisições muito variadas, aplicando-se, desta forma, diferentes tipos de sistemas em função destes requisitos.

Apresentado o contexto dos recursos hidrológicos, são demonstrados na figura 11 os encaminhamentos dos recursos de precipitações e a inserção dos sistemas de captação de água da chuva, bem como suas destinações principais. Conforme apresentado na figura 11, normalmente para o uso doméstico, bem como para uso industrial, a captação é feita pelo telhado ou pelo pátio. Para a pecuária, pequena irrigação e também para o uso industrial dependendo das especificidades, a água é captada pelos terrenos pavimentados ou não, e para a agricultura em larga escala a captação é pelo solo e tem características diversas. Desta forma os diferentes sistemas de utilização de água da chuva são primeiramente ordenados em função da atividade ou destino, pois está diretamente ligada ao volume de reserva e, conseqüentemente, à área para captação. No entanto, por certo, existe uma direta relação de interdependência e adequabilidade tecnológica entre o elemento para captação e os outros componentes do sistema.

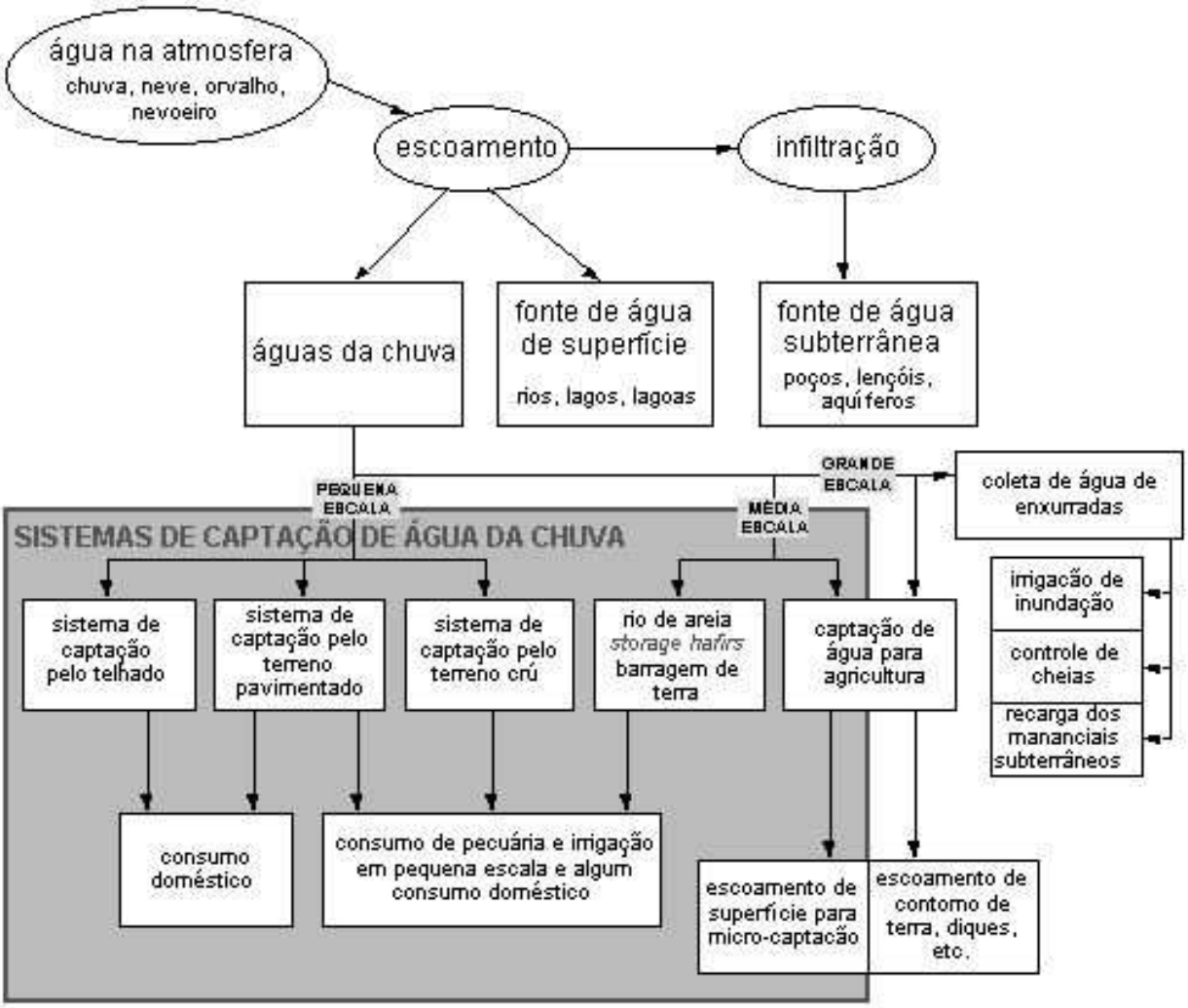


Figura 11: a água e o contexto da captação de chuva (GOULD; NISSEN-PETERSEN, 1999 apud SMET E MORIATY, 2001)

Segundo Appan (1999), os principais fatores a serem considerados na caracterização de sistemas de captação típicos, são o projeto do volume de reserva e todos os componentes associados à coleta, ao tratamento e à distribuição da água coletada até o consumo, sendo que devem ser considerados simultaneamente.

5.1 SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DA CHUVA PARA USO DOMÉSTICO

Os sistemas de aproveitamento de água da chuva destinados ao uso humano diferenciam-se dos demais principalmente pelas dimensões e por suas exigências qualitativas para a água. Salvo em algumas cisternas comunitárias, como por exemplo, a que abastece um complexo de

hotéis na ilha de St. Thomas (EUA), que tem um volume de 710.000 litros, a maior parte da utilização doméstica da chuva se faz, segundo Ruskin (2001a), em moradias particulares. Esta utilização ainda pode variar entre o uso total e o parcial. O total inclui a água de beber, higiene e cozinha, enquanto que o parcial vai desde uma aplicação em todos os outros pontos hidráulicos do edifício até uma aplicação específica, como por exemplo, somente nos pontos de abastecimento de bacias sanitárias.

Segundo Rukin (2001a), os sistemas para uso doméstico são, basicamente, constituídos pelos mesmos elementos dos sistemas com outros destinos, sendo composto por uma superfície de retenção, condutores e um reservatório, conforme apresentado na figura 12. A diferença está nas tecnologias aplicadas em cada elemento e nas possibilidades e especificidades geradas por elas.

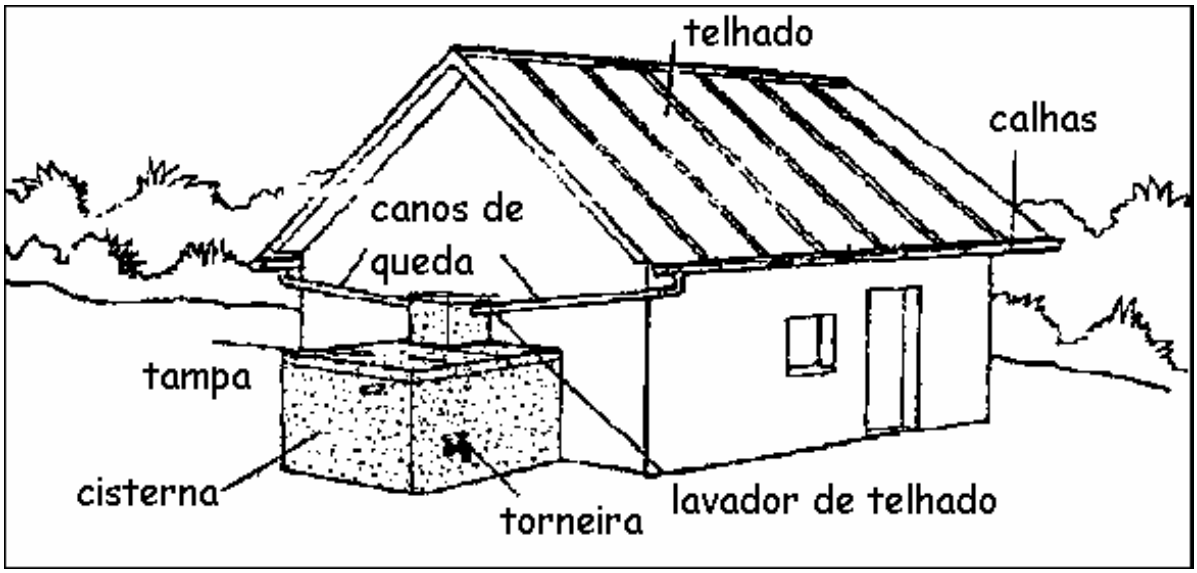


Figura 12: esquema demonstrativo dos componentes básicos de um sistema de captação e armazenagem de água da chuva (baseado em OEA, 1997)

Estas tecnologias e especialidades referem-se a componentes que formam ou são adicionados ao sistema de maneira a habilitá-lo para uso doméstico. Neste sentido o *Texas Water Development Board* (1997), divide o sistema de captação e aproveitamento de água da chuva para fins domésticos em alguns componentes básicos:

a) área de captação ou telhado: superfície sobre a qual cai a chuva;

b) calhas e tubos de queda: canais de transporte da água do telhado até o reservatório;

c) tela horizontal e lavador de telhado: sistemas que removem contaminantes e restos;

d) cisterna ou reservatório: lugar onde é reservada a água coletada;

e) tubulações: distribuem a água da chuva, do reservatório para o consumo, podendo funcionar por bombeamento ou gravidade;

f) tratamento: equipamentos, filtros e aditivos para filtrar e desinfetar a água.

Estando relacionado aos componentes e instalações apresentados acima, Hollaender (1996 apud KOENIG, 1999) coloca que a qualidade da água de chuva coletada depende diretamente das instalações para coleta e das técnicas para implantação utilizadas. Um sistema adequadamente projetado e executado dentro de padrões técnicos, segundo o mesmo autor, pode perfeitamente suprir de água as demandas não potáveis, como por exemplo, a descarga da bacia sanitária do banheiro, a lavagem de roupa, a rega de jardins, lavagem de automóveis, limpeza de casa, atividades de diluição.

É importante ressaltar, que o sistema de captação de água da chuva pode atuar complementarmente ao sistema de abastecimento convencional da rede, ou cobrir o total da demanda, para qualquer abrangência de uso da água. Sua utilização como única fonte de água acontece principalmente em regiões áridas e semiárias, em países pobres e localidades com dificuldades para redes de abastecimento. Consiste em uma alternativa barata e sustentável para o presente, e numa solução real para mitigação do problema da escassez no futuro.

5.1.1 Áreas de captação

Segundo Macomber (2001), a chave para a escolha de materiais para sistemas de captação de água chuva é selecionar aqueles que não liberam toxinas para a água, nem abaixo e nem acima das condições ideais de acidez da chuva. Os materiais devem ser, além de não-tóxicos, inertes. A autora afirma, ainda, que quanto mais ácida a chuva, maiores os problemas com as lixiviações tóxicas dos materiais componentes de sistemas. O *Texas Water Development*

Board (1997), acrescenta, além da qualidade, uma preocupação com a quantidade da água coletada, ao afirmar que o rendimento na coleta depende da textura do material componente do telhado. Um telhado mais limpo, liso e impermeável contribui para a melhoria da qualidade e o aumento da quantidade da água coletada. O documento completa, afirmando que enquanto perdas são negligenciáveis para telhados de metal, para os de concreto e asfalto as perdas são de 10% e, para os cobertos com seixo e piche, são de 15%. Estas perdas são decorrentes principalmente das texturas e cores dos materiais de cobertura, pois alteram o escoamento, absorção e evaporação da água, devendo ser consideradas no dimensionamento do sistema. A elas refere-se o *runoff coeficient* ou coeficiente de escoamento, que é um índice redutor da quantidade de chuva que entra no sistema, utilizado no cálculo do dimensionamento de reservatórios.

Desta forma, Ruskin (2001b) recomenda alguns materiais para a execução do telhado que são mais adequados para a captação de água da chuva, em função principalmente da qualidade de água, mas também do rendimento, sendo eles:

a) aço galvanizado corrugado;

b) chapas de liga de alumínio;

c) telhas de barro;

d) telhas de madeira;

e) neoprene / hypolon;

f) fibra de vidro.

O autor ainda desqualifica pinturas cuja composição não seja identificada e condena o uso de superfícies que contenham cimento-amianto, chumbo e metais pesados na captação da água para fins potáveis.

A captação é, na maior parte das vezes, realizada nos telhados, mas pode ocorrer nas áreas pavimentadas dos terrenos. Porém, neste caso, o sistema deve possuir mecanismos que removam os sedimentos que contenham metais pesados, hidrocarbonos e seus resíduos flutuantes. Dependendo do uso do terreno também é recomendado um separador de óleo.

5.1.2 Calhas, tubos de queda e complementos

Nas calhas, ou nos tubos condutores da água até a cisterna, se faz necessário a inclusão de barreiras à passagem de poluentes maiores. Macomber (2001) apresenta a colocação de telas ao longo das calhas como uma das soluções para este problema advertindo, no entanto, sobre a necessidade de manutenção periódica por causa da possibilidade de entupimento pelo acúmulo de sujeira. A figura 13 demonstra uma calha coberta por uma tela horizontal que, segundo Macomber (2001), funciona bem, mas gera uma lavagem da sujeira retida, conduzindo água suja diretamente para o reservatório.

Ruskin (2001c) argumenta que se a tela for colocada na mesma inclinação do telhado, as folhas e outras sujeiras serão arrastadas para fora da calha, indo parar no chão, onde podem ser mais facilmente recolhidas. Este autor recomenda, contudo, manutenção freqüente do telhado e das telas, a fim de garantir a qualidade da água. Isto é importante pois, segundo o autor, a colocação de telas ou outro sistema de proteção em todos os acessos da cisterna, é também altamente aconselhável, a fim de evitar a entrada de insetos e animais no reservatório.

Figura 13: exemplo de tela horizontal, colocada junto à calha pra reter poluentes maiores (MACOMBER, 2001)

Outro problema, não menos importante, é a sujeira menor, que é ser recolhida pela tela, ou que se dilui na água. Para tanto existem os sistemas de lavagem de telhado, ou *first-flush diverters*, que conforme Macomber (2001), consistem em um aparato que descarta as primeiras água da chuva, que lavam o telhado e carregam grande quantidade de poluentes. Segundo esta autora testes demonstraram que o fluxo inicial das chuvas possui os maiores níveis de contaminação, sendo a utilização de um sistema de descarte do primeiro fluxo altamente recomendável em sistemas de captação e aproveitamento de água da chuva.

O *Texas Water Development Board* (1997), apresenta como um dos sistemas de descarte mais simples, um sistema que consiste em uma ligação em T, feita diretamente na calha ou no tubo de queda, por um outro tubo que seja fechado em baixo, conforme a figura 14. Na extremidade inferior do tubo, na figura 18, um orifício pequeno garante o esvaziamento do sistema no período seco, deixando-o operável novamente, para a próxima chuva.

Figura 14: sistema de lavagem de telhado (MACOMBER, 2001)

O sistema de esvaziamento, também pode acontecer por meio de uma válvula operável manualmente, como demonstra a figura 15. O tamanho da parte horizontal do dispositivo pode variar segundo a quantidade de água que se deseja dispensar. O *Texas Water Development Board* (1997), recomenda um volume de pelo menos 10 galões (ou 38 litros), para cada 1.000 pés quadrados (ou aproximadamente 93 m²).

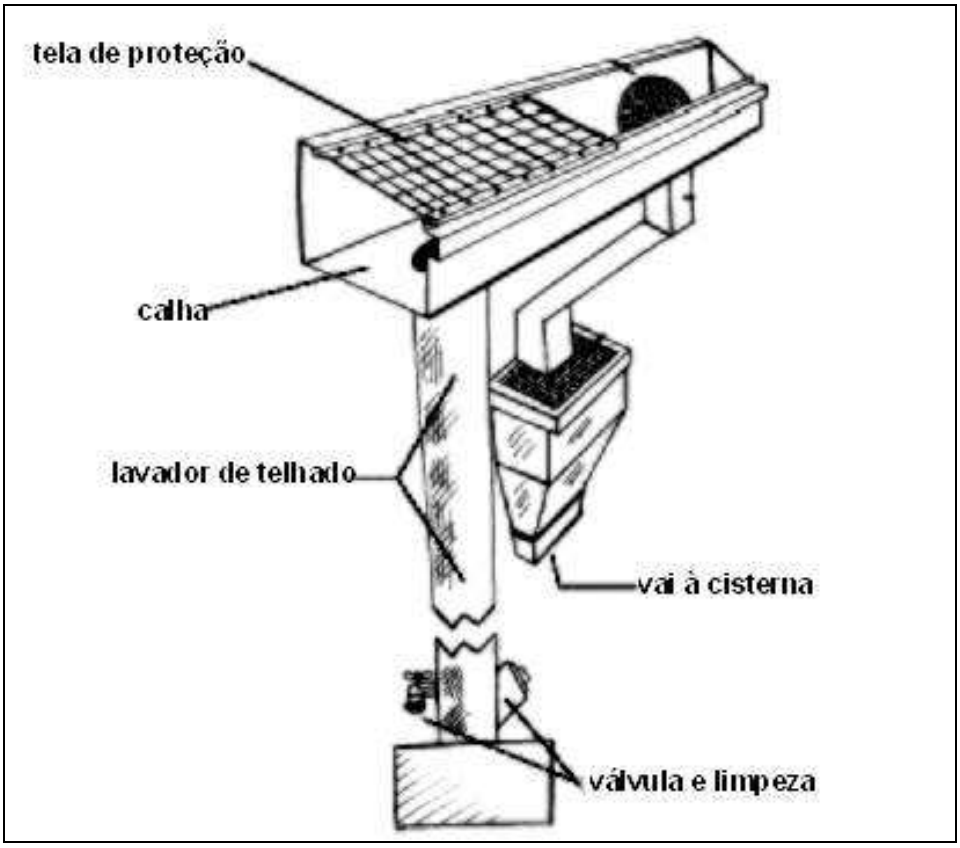


Figura 15: válvula para controle e limpeza do sistema de lavagem
(*TEXAS WATER DEVELOPMENT BOARD*, 1997)

Existem outros tipos de dispositivos, tais como válvulas de descarte (figura 16). Neste dispositivo, a primeira água que desce do telhado é encaminhada para o balde que, ao encher, aumenta de peso, descendo e fazendo com que a calha distribuidora se incline para a cisterna levando o fluxo de água para o seu interior.

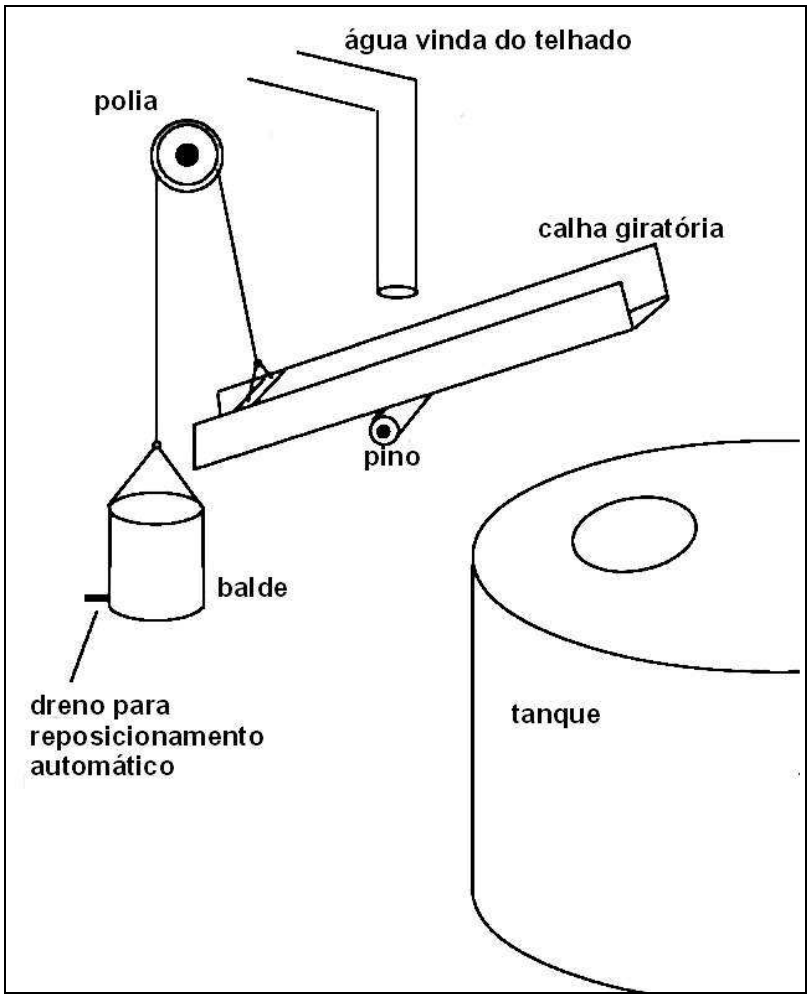


Figura 16: sistema de descarte de primeiro fluxo de água
(MANCOMBER, 2001)

5.1.3 Reservatório e tubulações de abastecimento

A correta escolha do lugar, do material e das dimensões do reservatório ou cisterna determina a eficiência do sistema e pode definir sua viabilidade uma vez que este componente tem uma representatividade muito grande no custo total do sistema. Warwick (1999) afirma que existe uma grande variedade de opções em relação à forma, materiais, tamanhos e preços, e que a correção nas escolhas dependerá de um balanço entre questões técnicas e econômicas, as quais, algumas estão citadas abaixo:

a) disponibilidade de espaço;

b) tipos disponíveis localmente;

c) tradições locais para armazenagem de água;

d) custo de compra: reservatório novo;

e) custo de material e mão-de-obra: construção do reservatório em obra;

f) materiais e especialidade de mão-de-obra: disponíveis localmente;

g) condições do solo.

O posicionamento vertical do reservatório é definidor de algumas exigências técnicas do mesmo. Ele pode ficar elevado do solo, sobre o solo ou enterrado no solo, dependendo das características locais e especificidades de uso.

O reservatório elevado dispensa a utilização de bombeamento da água para o abastecimento da edificação. Porém exige uma estrutura para sustentação. Nos reservatórios sobre o chão e sob o chão tal estrutura não é necessária, mas o abastecimento exige bombeamento ou acesso facilitado à água. Algumas vezes a água é retirada da cisterna por baldes, que também a conduzem até os pontos de consumo. Muitas famílias residentes em áreas rurais do semi-árido brasileiro utilizam este sistema para a utilização de água da chuva (figura 21). Isto barateia bastante o reservatório, pois não agrega nenhum tipo de estrutura para sustentação elevada, nem de bombeamento. Além disto, dispensa também os encanamentos para o abastecimento de água, influenciando significativamente os custos da edificação. Existe também a possibilidade de retirada por bombeamento manual e distribuição em baldes.

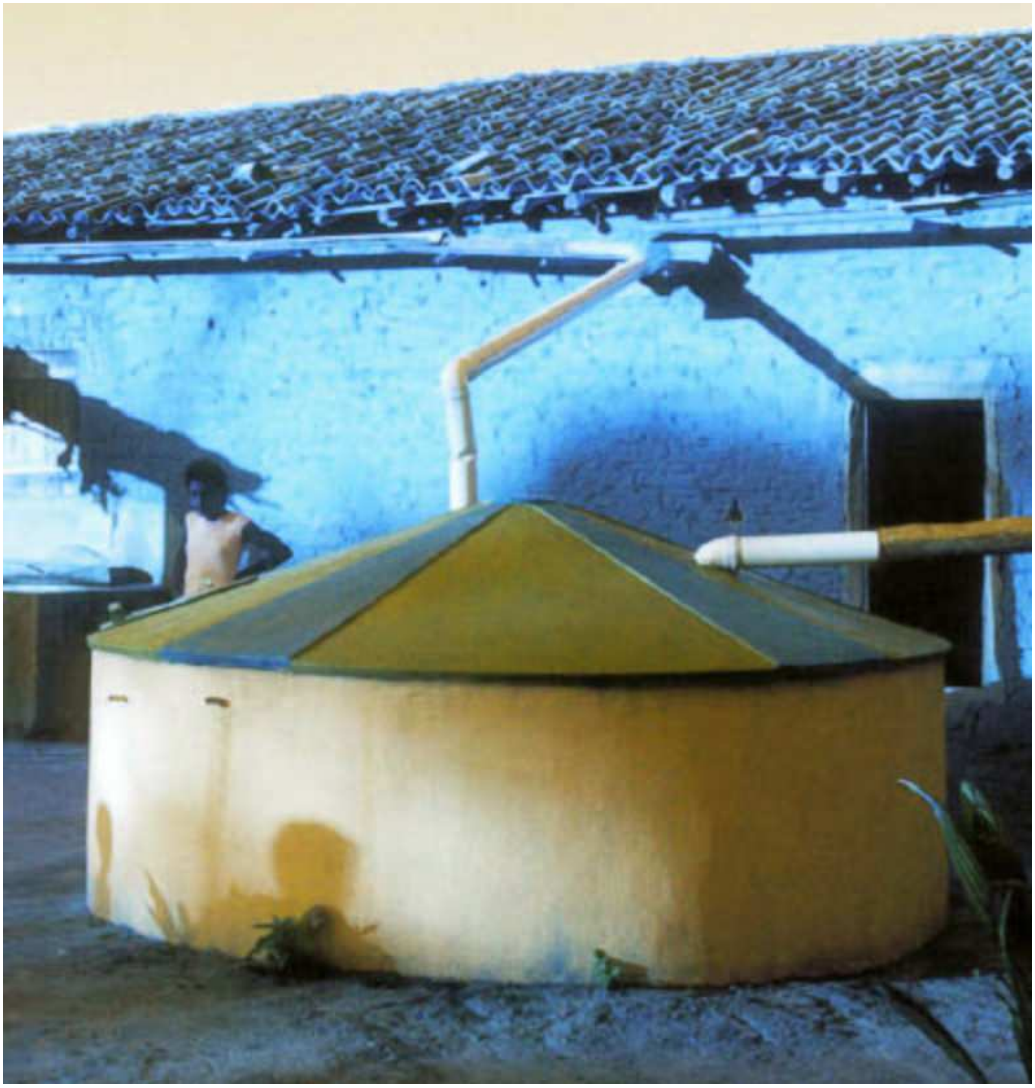


Figura17: cisterna de uma residência no semi-árido brasileiro – água retirada por balde. (CÁRITAS BRASILEIRA, 2003)

Em áreas urbanas, porém, é mais comum a utilização de bombas elétricas de pressão ou reservatório elevado considerando, é claro, a existência de encanamentos para o abastecimento dos pontos de consumo. Warwick (1999) nomeia os reservatórios sobre o solo de tanques e aqueles sob o solo, de cisternas. O autor enumera vantagens e desvantagens em cada um deles (figura 18).

	Vantagens	desvantagens
Tanques	- por estar fora do solo facilita inspeções de rachaduras e vazamentos - facilidade e maior variedade de opções de materiais e tecnologias - fácil construção em materiais tradicionais - pode ser levantado acima do nível do solo, permite o abastecimento por gravidade	- normalmente de custo mais elevado - requer espaço para implantação - mais facilmente estragável - mais sujeito à ação do clima - erros são potencialmente mais perigosos
Cisternas	- geralmente os custos são menores - requer menor ou nenhum espaço acima do solo desobstruindo-o - permite menor espessura das paredes pois o solo auxilia na estruturação	- a extração da água é mais problemática, freqüentemente necessitando de bombeamento - rachaduras e vazamentos ao mais difíceis de detectar - contaminação do reservatório pelas águas subterrâneas é mais comum - raízes de árvores podem danificar a estrutura - maiores riscos de acidente como crianças e animais caírem dentro do reservatório - atenção ao trânsito de veículos pesados

Figura 18: vantagens e desvantagens de tanques (instalados acima do solo) e cisternas (instalados abaixo do solo) (WARWICK, 1999)

Em relação ao posicionamento horizontal, o *Texas Water Development Board* (1997), recomenda que o reservatório fique o mais próximo possível das calhas e dos pontos de consumo, simultaneamente, além de procurar um posicionamento à sombra a fim de evitar

condições favoráveis ao crescimento de bactérias e algas, pela ação direta do sol sobre o reservatório.

A correta escolha do material que constituirá o reservatório, bem como o dimensionamento do mesmo, é também de enorme importância na busca da viabilidade técnico-econômica do sistema. Esta escolha tem também uma forte dependência do lugar, por questões culturais e disponibilidade tecnológica. Gnadlinger (1997) apresenta e analisa cinco tipos de cisternas correntemente utilizadas no semi-árido brasileiro, sendo elas, cisternas de:

a) placa de cimento

b) tela cimento

c) alvenaria de tijolos

d) ferro-cimento

e) cisterna de cal

A partir de 1983 iniciou-se forte difusão das cisternas de placa pelo nordeste brasileiro, por conta de um programa desenvolvido pela EMATER do estado de Sergipe, para combate à seca na região. É hoje, uma das técnicas mais importantes e mais aplicadas na a construção de cisternas, no semi-árido. Segundo Bernat et al. (1993), a cisterna de placas, é uma tecnologia endógena nordestina inventada há aproximadamente 30 anos por um pedreiro de Sergipe, que ao trabalhar em São Paulo entrou em contato com placas pré-moldadas de cimento e aprendeu a utilizá-las construindo piscinas. A cisterna é semi-enterrada ou completamente enterrada no solo, o que mantém a água sempre em temperatura agradável ao consumo. A pré-fabricação das placas normalmente acontece na própria obra. Depois da escavação do buraco a execução da cisterna consiste, primeiramente na execução das paredes.

A parede da cisterna é levantada com essas placas finas, a partir do chão já cimentado. Para evitar que a parede venha a cair, ela deve ser escorada até que a argamassa esteja seca. Por fim, um arame de aço galvanizado é enrolado no lado externo da parede e essa é rebocada (figura 19). Da mesma forma são rebocados o chão e a parede interna.

Figura 19. Armação da parede e reboco externo de cisterna de placa.
Fonte Gnadlinger (1997)

O telhado da cisterna, cônico e raso, também é feito de placas de cimento, que estão apoiados em estreitos caibros do mesmo material. Um reboco somente externo é suficiente para dar firmeza. Finalmente, o espaço vazio em volta da cisterna é cuidadosamente aterrado. O Programa de Formação e Mobilização Social para a Convivência com o Semi-árido: Um Milhão de Cisternas (P1MC), prevê esta tecnologia para a execução das cisternas, comprovando a importância da mesma.

A cisterna de tela-cimento, conforme Gnadlinger (1997), normalmente é construída na superfície ficando com aproximadamente dois metros de altura. O chão é nivelado a uma profundidade de cerca de 20 cm e uma camada de cascalho e areia grossa é colocada debaixo da camada de concreto, base da cisterna. Para a construção dessa cisterna é preciso uma fôrma cilíndrica feita em chapas de aço. A fôrma levantada é primeiramente envolta com tela de arame e em seguida com arame de aço galvanizado na espessura de 2 ou 4 mm (para cisternas com capacidade de 10 ou 20 m^3 respectivamente). Depois de colocadas duas camadas de argamassa na parte exterior (figura 20), a forma de aço é retirada. O interior é rebocado duas vezes e depois coberto com nata de cimento. O teto da cisterna pode ser fabricado com a mesma tecnologia usada na cisterna de placas.

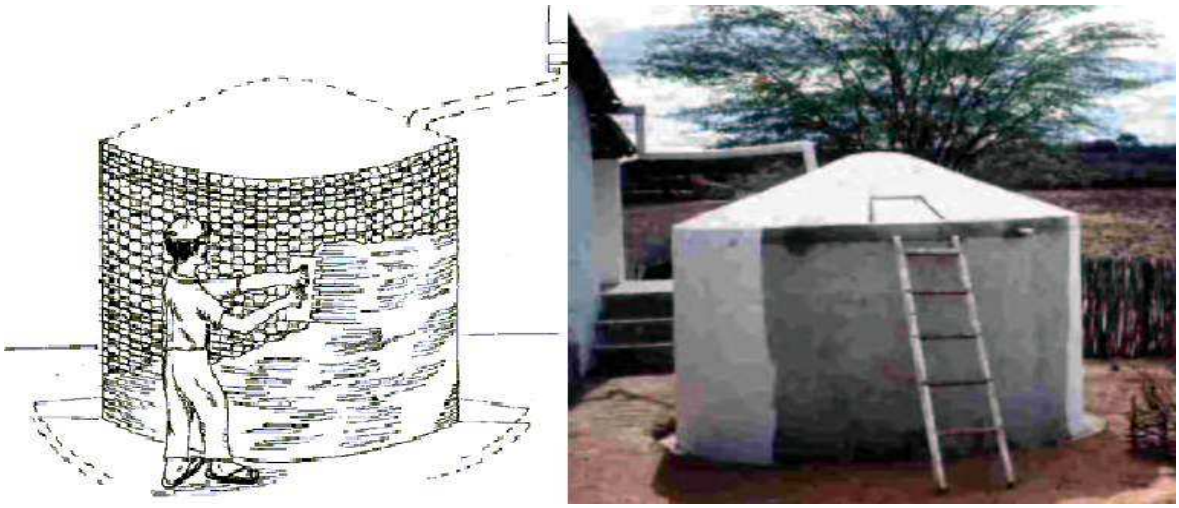


Figura 20. cisterna de tela-cimento - à esquerda colocação da primeira camada de argamassa sobre a tela; à direita, foto de uma unidade com 10.000 litros. (GNADLINGER, 1997)

A cisterna de tijolos é executada, normalmente, com dois terços de sua altura sob o solo. A parede circular de tijolos é levantada sobre uma base de concreto. Com uma espessura de aproximadamente 20 cm, a parede é rebocada em ambos os lados, sendo que o interior é coberto com nata de cimento. Para prevenir vazamentos entre o fundo e a parede, deve ser colocada uma tela de arame, de modo que cubra 50cm do chão e 50cm da parede, anterior ao reboco. A parede externa também deve ser armada com arame galvanizado, ou arame farpado. Mais uma vez, o fechamento superior assemelha-se ao utilizado na cisterna de placas. A figura 21 ilustra a cisterna de tijolos.

Figura 21. Construção de cisterna em tijolos. (WARWICK, 1999)

A cisterna de ferro-cimento se assemelha a de tela-cimento a não ser pelo uso de ferros diâmetro 5 milímetros, no lugar da tela de arame, e pela isenção da necessidade da utilização

da forma metálica para construção. Segundo Gnadlinger (1997), é necessário apenas a mão-de-obra de dois trabalhadores, sendo que um aplica a massa enquanto o outro apóia o anteparo para a conformação da mesma junto às ferragens.

Gnadlinger (1997) ainda apresenta a cisterna de cal, que também é construída em tijolos mas a argamassa é feita com cal. A forma desta cisterna diverge sensivelmente, sendo ela completamente enterrada no chão e também com todas as arestas arredondadas. O fundo da cisterna é côncavo e o teto é uma cúpula (figura 22).

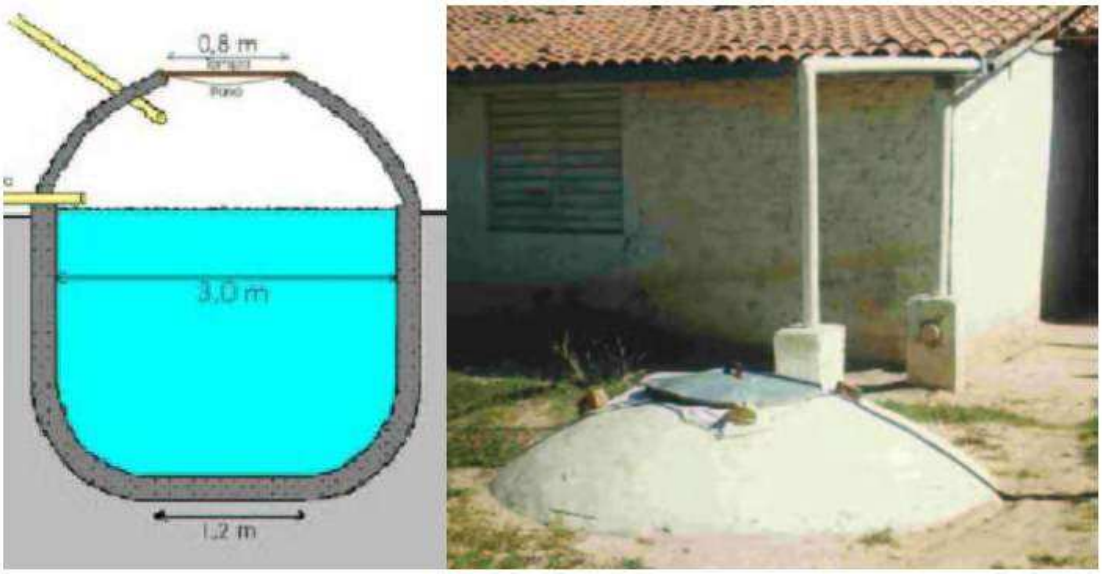


Figura 22. cisterna de cal - à esquerda corte esquemático; à direita, fotografia de unidade em funcionamento. (GNADLINGER, 1997)

As cisternas apresentadas acima representam apenas alguns dos tipos, comuns em regiões áridas e semi-áridas de países subdesenvolvidos. Elas representam alternativas, técnica e economicamente viáveis, pela disponibilidade local de material e mão-de-obra. A atenção à localidade é, sobretudo importante para a captação de água da chuva, que constitui uma tecnologia alternativa, pois, além de concordar com preceitos de sustentabilidade ambiental, já anunciados por Lyle (1994), também confere viabilidade técnico-construtiva e econômica, à sua construção, tanto em países pobres, quanto ricos.

Macomber (2001), por exemplo, apresenta outras soluções aplicadas nas ilhas do Hawaii (EUA), afirmando que há aproximadamente 15 anos, os tanques de madeira vermelha eram muito populares naquele lugar, mas que com o declínio da disponibilidade da madeira, o

preço elevou-se os reservatórios chamados de *swimming pool tanks,* ou tanques piscina, tornaram-se o mais comum tipo de reservatório utilizado no Hawaii hoje. Estes tanques são derivações das piscinas portáteis de lona plástica bastante conhecidas no mercado. Basicamente é constituída por arestas estruturais metálicas e uma lona de polietileno que retém a água. As principais vantagens são o baixo custo, a fácil instalação e alta disponibilidade no mercado. A desvantagem é a altura das piscinas que acaba exigindo grandes diâmetros, difíceis de cobrir e que demandam grandes áreas de assentamento (figura 23).

Figura 23. fotografia de um reservatório-piscina instalado no Hawaii.
(MACOMBER, 2001)

A autora também apresenta tanques construídos com outros materiais (figura 24), sendo estes:

a) chapas de aço corrugado (ou ondulado): o segundo material mais utilizado no Hawaii, é mais caro porém tem maior durabilidade que as piscinas, sendo as cisternas deste material mais fáceis de cobrir, pois possui menor diâmetro;

b) aço galvanizado enclausurado: não é muito comum no Hawaii, mas bastante utilizado na Austrália. Possui fechamento superior sólido formando um monolito;

c) ferrocimento: como qualquer outro reservatório de cimento a maior vantagem é a durabilidade, seguida pelo fato do cálcio, presente no cimento, que auxilia na equalização do PH da água, pela acidez da chuva;

d) bloco de concreto: a maior desvantagem são os vazamentos muito comuns logo após alguns anos de funcionamento, que fazem os proprietários cobrirem o interior do tanque;

e) fibra de vidro: são relativamente novos no Hawaii, sendo ainda muito raros. As principais vantagens são a velocidade de execução, a praticidade para o transporte, além de ser um material inerte, dependendo das especificações de fabricação, e que permite um fechamento quase hermético;

f) madeira vermelha: tem um custo alto, não aplicável em áreas de clima e/ou ar secos, pois pode gerar fissuras e dilatações irregulares na madeira fazendo com que vaze. Comporta-se muito bem com relação aos insetos, mas uma vez contaminada é quase impossível uma descontaminação. Deixou de ser utilizada no Hawaii há poucas décadas.

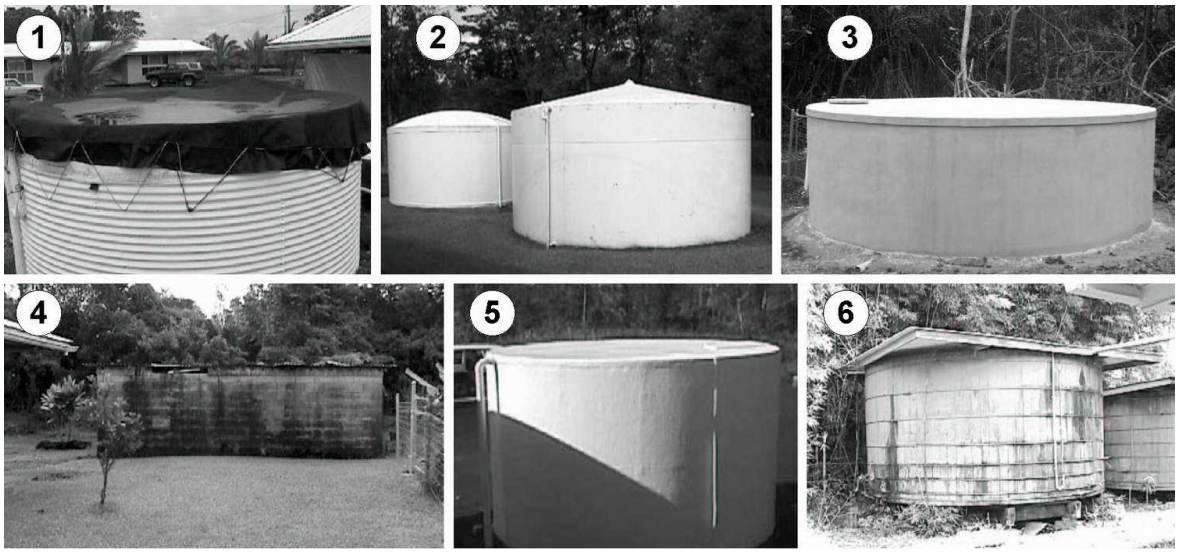


Figura 24. foto 1 - reservatório de aço corrugado; foto 2 - reservatório em aço galvanizado enclausurado; foto 3 - reservatório em ferro-cimento; foto 4 - reservatório de blocos de concreto; foto 5 - fibra de vidro e na 6 um reservatório de madeira vermelha. (MACOMBER, 2001)

Reservatórios para água da chuva, podem ser de qualquer material que retenha água e não seja tóxico. Caixas d'água de fabricação industrial, por exemplo, podem ser perfeitamente adaptadas para o uso com água da chuva, sendo constituídas dos mais diversos materiais.

Algumas opções, disponíveis no mercado de materiais de construção de Porto Alegre, são apresentadas no inventário desenvolvido neste trabalho.

Existem também algumas empresas, principalmente situadas na Alemanha, especializadas na produção de componentes para sistemas de aproveitamento de água da chuva, como os exemplos da *3P-Technik*, da *EcoTechnic* e da *Intewa*. A primeira tem representação comercial no Brasil. Por serem componentes especialmente concebidos para este fim, possuem características diferenciadas, agregando funções em algum momento e criando novos elementos, substitutos a outros já apresentados anteriormente.

A figura 25 apresenta um reservatório produzido por uma empresa brasileira, parceira da 3P Technik no Brasil. Com a finalidade de adaptar-se perfeitamente aos acessórios produzidos pela empresa alemã, foi desenhado de forma incorporar os acessórios que completam o sistema e a conectar-se facilmente ao filtro da 3P-Technik. A cisterna é feita em polietileno, sendo que o modelo para cinco mil litros pesa apenas 230 quilos e não exige preparação para o assentamento, podendo ser colocado diretamente no solo.

Figura 25. Reservatório em polietileno de produção industrial,
especialmente para armazenamento de água da chuva.
(BELLACALHA, 2003)

Os referidos acessórios fabricados pela empresa alemã, em sua grande maioria, referem-se à limpeza e filtragem da água, portanto são apresentados posteriormente.

5.1.4 Tratamento

O tratamento, a partir da água bruta da chuva, é determinado desde a escolha do material componente do telhado, passando pelas telas, as calhas e *first flush diverters*, até chegar nas cisternas, habilitando a água aos usos não potáveis. Neste sentido existem, ainda, soluções industrializadas projetadas e executadas, segundo os fabricantes, de forma a atender aos padrões urbanos de uso da água. Conforme apresentado no item anterior algumas empresas principalmente alemãs, fabricam sistemas específicos para a captação e utilização de água da chuva, que basicamente atuam na limpeza da água para o consumo, até o nível de tratamento necessário ao uso não potável.

A 3P-Technik, por exemplo, apresenta um sistema que substitui a tela da calha, por um filtro acoplado ao tubo de queda e inclui outros elementos, como um sifão de superfície, semelhante aos usados em piscinas, e uma mangueira flutuante de sucção, para a retirada da água para abastecimento. O esquema completo proposto pela empresa está representado na figura 26.

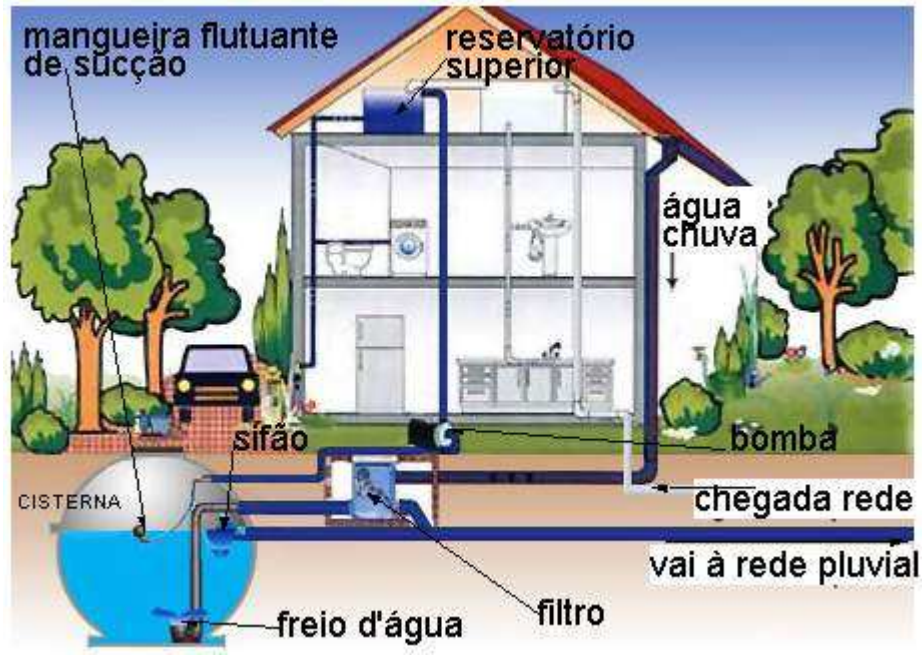


Figura 26. esquema da 3P-Technik para captação e armazenagem da água da chuva em uma residência. (BELLACALHA, 2003)

Os fabricantes colocam, em 3P-Technik (2003), que no fundo do reservatório ficam depositadas, por força da decantação, muitas partículas de sujeira e então propõem uma peça, denominada por eles, de freio d'água, apontado na figura 26. Da mesma forma, partículas mais leves que a água ficam flutuantes na superfície, sendo então retiradas pelo sifão. Segundo a referida fonte, a água mais limpa de qualquer cisterna ou tanque se capta logo abaixo da superfície, e como resposta, apresentam a peça que chamam de conjunto flutuante de sucção, mostrado na figura 27.

O filtro, no entanto, gera uma perda entre 5 e 10% da água captada no telhado pois para a filtragem necessita de alguma lavagem da sujeira que é escoada para a rede pluvial conforme mostra a figura 27. O freio d'água não deixa a água que entra atingir a camada de sedimentação de sujeira, impedindo que esta se misture com a água estocada. Ao mesmo tempo, a parte inferior da água estocada recebe uma injeção de oxigênio, que afasta a possibilidade de um processo anaeróbico, próprio de água parada, mantendo-a fresca (figura 31).

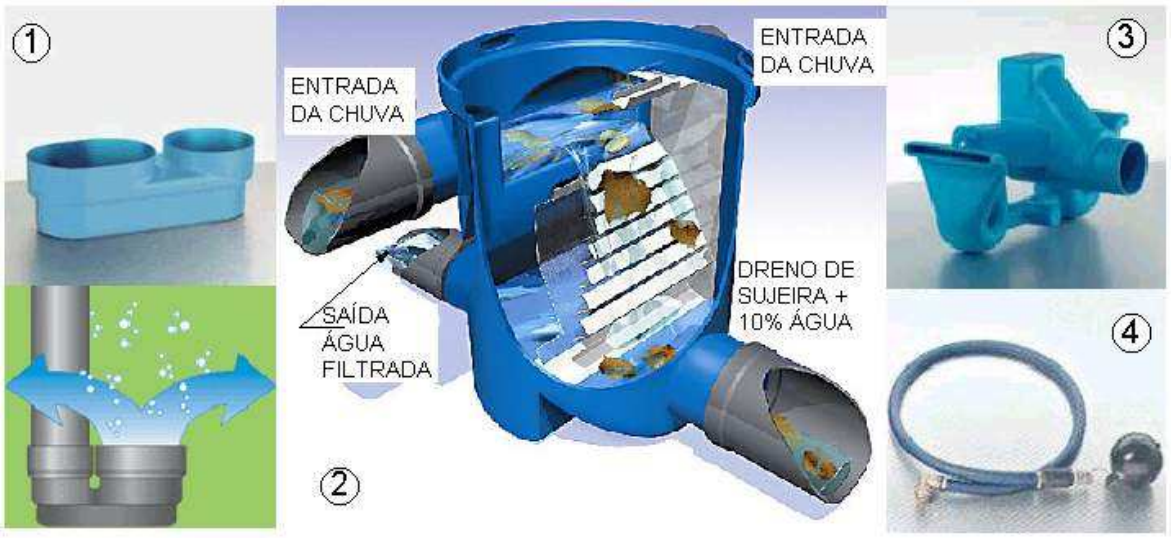


Figura 27. componentes fabricados pela 3P-Technik: 1 - foto e desenho do freio d'água; 2 - desenho demonstrativo do funcionamento do *filtro VF1;* 3 - foto do sifão; 4 - foto do conjunto flutuante de sucção. (3P-TECHNIK, 2003); (BELLACALHA, 2003)

Porém tanto a 3P-Technik como outras empresas fabricantes destes componentes, eliminam a lavagem da cobertura, feita através do *first flush diverter*, que é um recurso apresentado por diversos autores como importante para a eliminação de poluentes orgânicos, mais

concentrados nas primeiras águas, conforme visto anteriormente. Além disto, não são apresentados também, componentes que tratem a água até o nível de potabilidade.

Para alcançar a potabilidade, o sistema torna-se mais complexo, exigindo uma forma de filtragem mais rigorosa, que elimine contaminantes e elementos patogênicos, de forma a que se possibilite o uso em todos o pontos de consumo da edificação.

Holmes (1993), apresenta um sistema alternativo para tratamento da água da chuva até a potabilidade, que utiliza os mesmos recursos dos sistemas industrializados, fazendo uma desinfecção com cloro em uma câmara de pressão e depois passando por um recipiente com carvão ativado a fim de eliminar quaisquer gosto e odor desagradáveis, residuais do cloro. O sistema se propõe a ser uma alternativa em custo aos industriais, ficando segundo o autor, entre U$50 e U$100, dependendo do país, região ou cidade.

Holmes (1993) afirma ainda, que a purificação por raios UV representa uma excelente alternativa à cloragem, mas que na prática, um sistema confiável ainda não foi desenvolvido, apesar de, em pesquisas preliminares, ter se mostrado bastante promissor. Ruskin (2001c) afirma que, embora consideravelmente mais caro do que a filtração simples, com pré-tratamento e manutenção adequados, a utilização de raios ultra-violeta é altamente eficiente para destruir bactérias. O autor completa afirmando que o maior problema é que, ao contrário da cloragem, não há residual mensurável para evitar biocrescimento e recontaminação.

Vale e Vale (2000), projetam o sistema a partir de um filtro primário, que recebe as águas brutas da chuva. O filtro é o resultado da adaptação de um tanque industrial para armazenamento de suco de laranja onde é cortada a tampa superior, expondo a água à luz solar, e colocado um cano de saída d'água na extremidade inferior. O tanque é preenchido com camadas de seixo rolado, brita e areia lavada, sendo tais camadas separadas por uma manta geotêxtil, principalmente para bloquear a passagem de grãos mais finos e facilitar eventuais substituições da camada de areia. Por gravidade a água segue aos filtros secundários de areia, num total de vinte, com volume para 1500 litros de água filtrada.

A água é então bombeada, eletronicamente, até um reservatório de 250 litros, 7,5 metros acima, que distribui água por gravidade, criando os estoques necessários para o funcionamento dos tanques do filtro secundário. Todos os pontos dos banheiros e da cozinha são alimentados desta forma, à exceção da pia da cozinha, que recebe a água diretamente da bomba e a divide em duas torneiras sendo uma para lavagem de louça, que recebe as águas

diretamente dos filtros de areia, e outra para se beber. Esta última é alimentada por uma tubulação conectada a um cartucho de filtro cerâmico com carvão ativado, internos em um recipiente de aço inoxidável. Os autores afirmam que os fabricantes deste filtro particular garantem a redução, a níveis seguros, de bactérias, ferrugem e sedimentos, cloro, químico orgânicos, além do sabor e de odores. O banheiro das crianças é abastecido por este sistema de filtragem, bem como uma torneira específica, no banheiro do casal, destinada à higiene bucal.

A utilização potável da água pode, neste sentido, também acontecer de forma discriminada, eliminando pontos onde não é necessária água tratada ao nível da potabilidade. No entanto, ainda assim, deve contar com sistema de tratamento, que tem diversas possibilidades tecnológicas, mas que requer um emprego maior de recursos para implantação, bem como atenção à manutenção regular, a fim de garantir a qualidade da água consumida.

6 DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DA CHUVA

O dimensionamento de sistemas de captação de água da chuva depende de diferentes fatores. Segundo Ruskin (2001b), o tamanho do reservatório, talvez o principal componente de custo, é função dos padrões de chuva locais e da demanda de água. Esta, por sua vez, é fruto de características culturais de uso da água na sociedade. Desta forma, a demanda irá variar também, segundo o lugar e, portanto, a cultura. Fewkes e Franpton (1993), completam afirmando que tanto em países desenvolvidos como em desenvolvimento a dimensão do reservatório é fator crítico para o requisito econômico do sistema, sendo que o valor ótimo para o dimensionamento do reservatório tem sido objeto de estudo de muitos autores.

Macomber (2001) afirma que os três fatores básicos a conhecer para dimensionar o reservatório de água da chuva são:

a) número de pessoas usuárias da água;

b) quantidade de chuva;

c) dimensões da superfície de captação do sistema.

Além destes fatores, Warwick (2003) salienta a importância do coeficiente de escoamento, que é um redutor de volume d'água reservado, afirmando que este pode variar de 0.5 a 0.9 dependendo do material componente do telhado e de sua inclinação.

A partir destes dados, se estabelece um volume máximo possível de ser captado pelo telhado. Este é um dado necessário a um diagnóstico preliminar do sistema, que tem a finalidade de determinar a capacidade de fornecimento de água, para o atendimento da demanda diária. A fórmula 1 expressa a relação entre as variáveis envolvidas.

$$V = P \times A \times C \qquad \text{(equação 1)}$$

Onde:

V = máximo volume possível de ser captado na unidade de tempo, medido em litros;

P = altura pluviométrica média, na unidade de tempo (meses), medida em mm, correspondente a litros por m²;

A = área de projeção horizontal do telhado, medida em m²;

C = coeficiente de escoamento.

Os valores para o coeficiente de escoamento são apresentados por Bernat et al. (1993), no quadro da figura 28, de acordo com o material componente da superfície de captação, para o trópico semi-árido brasileiro.

materiais e tipos de cobertura	**C (médio)**
cobertura de polietileno	0,90
cobertura de argamassa de cimento e areia	0,88
cobertura com asfalto	0,88
cobertura com telha de barro	0,75
cobertura com lona impermeabilizante + seixo rolado	0,70
solo de textura fina raspado com lâmina	0,50
solo de textura média raspado com lâmina	0,40
solo de textura fina “em pousio”	0,24
solo de textura grossa	0,20
cobertura com capim-búfel usando drenos coletores	0,15
cobertura com capin-búfel	0,07
solo coberto com uma camada de seixos pequenos	0,02

Figura 28: coeficiente de escoamento (EMBRAPA-CPATSA, 1998 apud BERNAT et al., 1993)

Porém estes valores variam muito entre os autores. Hofkes e Frasier (1996 apud TOMAZ, 2003) afirmam que os valores para o coeficiente de escoamento ou *runnof coeficient* para telhas cerâmicas e telhas corrugadas de metal ficam, respectivamente, entre 0,8 e 0,9, e 0,7 e 0,9. Ruskin (2001b) esclarece que alguns fatores diferentes podem alterar o coeficiente de escoamento, entre eles, a declividade do telhado, o grau de impermeabilização, e a porosidade da superfície coletora, devendo ficar os valores condicionados a estes fatores, resultantes entre 0,7 e 0,9. Porém o autor recomenda a utilização de 0,85 como valor ótimo para cálculo.

A demanda diária depende do número de pessoas a usarem a água e também do destino que terá a água da chuva coletada pelo sistema. Os cálculos para sistemas de utilização de água da chuva normalmente a consideram como o único recurso de água do edifício. Existem, no entanto, outras possibilidades de aplicação desta água, que restringem o uso às demandas não potáveis, ou até mesmo a pontos hidráulicos determinados. Neste caso o cálculo da demanda é feito proporcionalmente ao consumo dos pontos específicos atendidos pelo sistema, sendo que o aspecto econômico toma ainda maior importância para o dimensionamento do sistema, visto sua condição de complementaridade e não exclusividade.

Os dados a respeito da distribuição do consumo residencial não potável divergem sensivelmente entre os autores, que são na sua maioria, de origem estrangeira, não servindo a uma aplicação direta à realidade brasileira e, portanto, da cidade de Porto Alegre. Mas é bastante evidente a magnitude da contribuição pelo consumo das bacias sanitárias, lavagem de roupas e torneiras de jardim. Koenig (1999), por exemplo, afirma que a economia em água potável da rede, através do uso da água captada nos telhados, pode chegar a 50% estando distribuída em 33% para as bacias sanitárias, 13% para lavagem de roupas e 4% para lavagem de piso e jardinagem.

Já segundo OPS/CEPIS (2002), se estima que a distribuição do consumo médio diário de água é aproximadamente de 36% na descarga do banheiro, 31% em higiene corporal, 14% na lavagem de roupas, 8% na rega de jardins, lavagem de automóveis, limpeza de casa, atividades de diluição e outras, 7% na lavagem de utensílios de cozinha, e 4% para beber e alimentação. Macomber (2001), também apresenta números, que revelam que 40% são gastos com as descargas das bacias sanitárias, 32,5% com os banhos, 17,5% com a lavagem de roupas e 10% com cozinhar, beber e lavar pratos.

Azevedo Netto et al. (1998) apud Kobiyama e Hansen (2002), apresentam dados, aplicáveis a Florianópolis, para o consumo em descargas de sanitários, afirmando que os números ficam entre 23% e 31%. Por sua vez, UFRGS (1998), apresentando dados relativos a Porto Alegre afirma que, em termos percentuais, a descarga da bacia sanitária é responsável por uma parcela de quase um terço do consumo total da residência, considerando bacias sanitárias convencionais, com volumes entre 12 e 18 litros, conforme a figura 29.

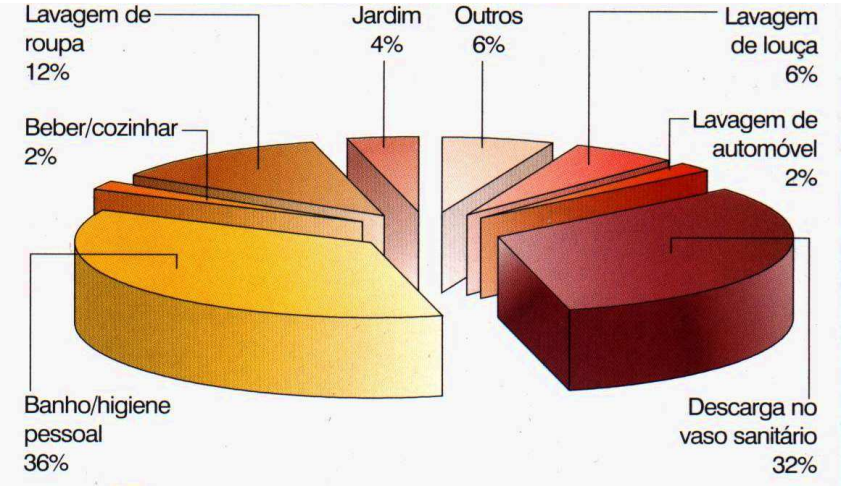


Figura 29: uso doméstico da água em Porto Alegre (UFRGS, 1998)

O consumo total, por sua vez, também apresenta variações em relação ao lugar. Em Porto Alegre, por exemplo, é regulado um volume de consumo diário de 200 litros por pessoa para o dimensionamento de reservatórios de água potável (PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE, 1992).

A partir do consumo diário, determina-se o volume mínimo do reservatório a fim de cobrir a demanda de um número de dias sem chuva, ou seja, no tempo em que o sistema não está sendo reabastecido. Neste sentido, Kobiyama e Hansen (2002) propõem dois métodos para análise do período de seca, que utilizam cálculos estatísticos sobre dados diários de precipitações, tomados um em 50 e outro em 10 anos, sendo que o primeiro possui uma base teórica mais consistente, tornando-se mais preciso e com isto mais recomendável. Porém, os autores advertem que na maioria das regiões brasileiras os registros de precipitações não têm sido feitos ou não têm duração ininterrupta suficiente. Desta forma validam o segundo método de cálculo como uma ferramenta adequada para o dimensionamento do período de seca. Este cálculo, segundo os mesmos autores, segue o procedimento abaixo:

a) conta-se o número de eventos de dias consecutivos sem chuva durante cada ano;

b) organiza-se os números em ordem decrescente e a freqüência é calculada através do método de Weibull. Então, o período de retorno (T) pode ser determinado;

c) plota-se uma curva do número máximo de eventos de dias consecutivos sem chuva em função do período de retorno. Um ajuste da Lei de Gauss é verificado.

Tendo o número de dias sem chuva, basta multiplicá-lo pelo consumo diário e ter-se-á o volume requerido para consumo, **considerando o sistema como única fonte de água da edificação**.

Algumas possibilidades para a cobertura no fornecimento de água pelo sistema são:

a) total dos pontos de consumo, sendo o único recurso para abastecimento d'água;

b) total dos pontos de consumo, não sendo o único recurso para abastecimento d'água, ou seja, sendo complementado pela rede externa ou outra fonte;

c) uso parcial na edificação, somente em alguns pontos sendo, para os mesmos, o único recurso de abastecimento d'água;

d) uso parcial na edificação, somente em alguns pontos não sendo, para os mesmos, o único recurso de abastecimento d'água da edificação.

O produto do cálculo do dimensionamento do reservatório será sempre aquele número mais próximo de uma cobertura de 100% do tempo, para os pontos que se propõem alimentar. **No entanto, salvo para os casos descritos pelas alíneas a e c, a característica de complementaridade do sistema torna o aspecto econômico ainda mais relevante, fazendo com que o produto do dimensionamento seja um número que otimize a relação entre custo e cobertura do sistema no tempo, sendo obtido através de uma análise do balanço hídrico do reservatório da chuva. Esta pesquisa enquadra-se neste segundo caso, pois**

trata da utilização da água da chuva em meio urbano, de forma complementar ao fornecimento convencional da rede.

O dimensionamento das calhas e das tubulações se faz da mesma forma que para sistemas hidráulicos convencionais, bem como para o sistema de bombeamento, se existir, conforme indicam Kobiyama e Hansen (2002).

No Brasil, a NBR 5626, de 1998, baseada em normalização britânica (BS 6700:1987), regula as instalações prediais de água fria, substituindo integralmente a NBR 5626:1982. A norma, entre diversas recomendações técnicas, estabelece padrões de dimensionamento, a começar pela vazão nos pontos de utilização, conforme tabela da figura 30, abaixo.

aparelho sanitário		peça de utilização	vazão de projeto L/s
bacia sanitária		caixa de descarga	0,15
		válvula de descarga	1,70
banheira		misturador (água fria)	0,30
bebedouro		registro de pressão	0,10
bidê		misturador (água fria)	0,10
chuveiro ou ducha		misturador (água fria)	0,20
chuveiro elétrico		registro de pressão	0,10
lavadora de pratos ou de roupas		registro de pressão	0,30
lavatório		torneira ou misturador (água fria)	0,15
mictório cerâmico	com sifão integrado	válvula de descarga	0,50
	sem sifão integrado	caixa de descarga, registro de pressão ou válvula de descarga para mictório	0,15
mictório tipo calha		caixa de descarga ou registro de pressão	0,15 por metro de calha
pia		torneira ou misturador (água fria)	0,25
		torneira elétrica	0,10
tanque		torneira	0,25
torneira de jardim ou lavagem em geral		torneira	0,20

Figura 30: vazão nos pontos de utilização em função do aparelho sanitário e da peça de utilização (NBR 5626:1998)

A NBR 10844:1989, é a norma que regula o dimensionamento de calhas. No documento consta que o mesmo deve ser feito através da formula de Manning-Strickler ou de qualquer outra fórmula equivalente. A norma simplifica e apresenta uma tabela que fornece as capacidades de calhas semicirculares usando coeficiente de rugosidade $\underline{n}$ = 0,011, correspondente a plástico, fibrocimento, aço e metais não-ferrosos, para alguns valores de

declividade e com lâmina d´água igual a metade do diâmetro interno. A tabela é apresentada na figura 31 e foi feita a partir da fórmula de Manning-Strickler.

Diâmetro interno (mm)	declividades		
	0,5%	1%	2%
100	130	183	256
125	236	333	466
150	384	541	757
200	829	1.167	1.634

Figura 31: capacidade de calhas semi-circulares com coeficiente de rugosidade n = 0,011 (vazão em L/min)

A mesma norma especifica parâmetros para o cálculo da vazão nas calhas, a partir da área de contribuição (coberturas). O documento chama a atenção de que no cálculo da área de contribuição, devem-se considerar os incrementos devidos à inclinação da cobertura e às paredes que interceptam água da chuva que também deva ser drenada pela cobertura. A vazão de projeto deve ser calculada pela equação 2, a seguir.

$$Q = \frac{I \cdot A}{60} \qquad \text{(equação 2)}$$

onde:

Q é a vazão de projeto em L/min;

I é a intensidade pluviométrica em mm/h;

A é a área de contribuição em m².

A determinação da intensidade pluviométrica “I”, para fins de projeto, segundo o documento, deve ser feita a partir da fixação de valores adequados para a duração de precipitação e o período de retorno (T), sendo:

a) T = 1 ano, para áreas pavimentadas, onde empoçamentos possam ser tolerados;

b) T = 5 anos, para coberturas e/ou terraços;

c) T = 25 anos, para coberturas e áreas onde empoçamentos ou extravasamentos não possam ser tolerados

O documento acrescenta ainda, que a duração de precipitação deve ser fixada em t = 5 minutos e que, para construções de até 100m² de área de projeção horizontal, salvo casos especiais, pode-se adotar I = 150mm/h.

O dimensionamento de condutores, tanto verticais como horizontais, também deve ser realizado de maneira a garantir o correto funcionamento do sistema. Para a determinação do diâmetro dos condutores verticais, a norma apresenta ábacos, onde Q é a vazão de projeto, H é a altura da lâmina d´água na calha e L é o comprimento do condutor vertical, os quais não são apresentados nesta pesquisa. Para os condutores horizontais, são feitas recomendações como a declividade mínima de 0,5% e a instalação de inspeções a cada 20m, para tubulações aparentes, além de apresentar uma tabela com as capacidades dos condutores de seção circular.

Complementarmente à norma, Macintyre (1996) afirma que o cálculo de calhas pode ser obtido por meio de fórmulas da hidráulica de canais, apresentando as fórmulas e desenvolvendo o cálculo até a montagem do quadro da figura 32. O dimensionamento de condutores, da mesma forma que para as calhas, são desenvolvidos por Macintyre (1996) e apresentados nos quadros das figuras 33 e 34.

Para o dimensionamento das calhas e dos condutores pluviais, esta pesquisa se utiliza dos cálculos desenvolvidos por Macintyre (1996), por ser complementar e posterior à norma. Para as tubulações de água fria, a pesquisa utiliza a norma NBR 5626:1998.

Superfície drenada, projeção (m^2)	Declividade da calha semicircular											
	0,2%		0,3%		0,5%		1%		1,5%		2%	
	S	D	S	D	S	D	S	D	S	D	S	D
20	50	12	45	11	40	11	30	9	25	8	22	8
20	70	14	60	13	50	12	40	10	35	9	30	9
40	80	16	70	14	60	13	50	12	40	10	35	9
50	95	16	85	14	70	14	55	12	50	12	45	11
60	110	18	95	16	80	14	60	12	55	12	50	12
70	120	19	105	16	90	15	70	14	60	12	55	12
80	135	19	115	17	100	16	75	14	65	13	60	12
90	145	19	125	18	105	16	85	15	70	14	65	13
100	155	20	135	19	115	17	90	15	80	14	70	14
110	170	21	145	19	120	18	95	16	85	15	75	14
120	180	22	155	20	130	18	100	16	90	15	80	14
130	190	22	165	21	135	19	105	17	95	16	85	15
140	200	23	170	21	145	19	115	17	100	16	90	15
150	210	23	180	22	150	20	120	18	105	17	95	16
160	220	24	190	22	160	20	125	18	110	17	100	16
170	230	24	200	23	165	21	130	18	115	17	100	16
180	240	25	205	23	170	21	135	19	120	18	105	17
200	255	26	220	24	185	22	145	19	125	18	115	17
250	300	28	260	26	215	24	170	21	145	20	135	19
300	340	30	295	27	245	25	195	23	165	21	150	20
350	380	31	330	29	275	27	215	24	185	22	170	21
400	420	33	365	31	305	28	235	25	205	23	185	22
450	460	34	395	32	330	29	255	26	225	24	200	23
500	490	36	425	33	355	30	280	27	240	25	215	24
600	560	38	485	35	405	32	315	29	275	27	245	25
S = seção de escoamento em cm^2, D = diâmetro da calha em cm												

Figura 32: dimensionamento de calhas com seção semicircular
(MACINTYRE, 1996)

Diâmetro do condutor		Área máxima de cobertura (m^2)		
(pol)	cm	Uso corrente no Rio de Janeiro	Considerando 1cm^2 por m^2 de área a esgotar	Recomendação norte-americana
2	5,0	46	20	39
2 ½	6,3	89	31	62
3	7,5	130	44	88
4	10	288	78	156
5	12,7	501	128	256
6	15	780	176	342
8	20,3	1616	323	646

Figura 33: dimensões de condutores verticais de águas pluviais
(MACINTYRE, 1996)

Diâmetro do condutor em pol.	Área máxima em m^2 de cobertura esgotada por um condutor de águas pluviais			
	Declividade			
	0,5%	1%	2%	4%
2”	-	-	32	46
3”	-	69	97	139
4”	-	144	199	288
5”	167	255	334	502
6”	278	390	557	780
8”	548	808	1105	1816
10”	910	1412	1807	2824

Figura 34: dimensões de condutores horizontais de águas pluviais
(MACINTYRE, 1996)

7 ESTUDO EXPERIMENTAL

Este estudo experimental objetiva ilustrar o processo de projeto, prestando-se ao esclarecimento das variáveis envolvidas no dimensionamento do sistema e nas conseqüências econômicas do mesmo, considerando seus custos de implantação versus a economia gerada pelo uso.

Todos os dados são obtidos e têm validade para análises na região de Porto Alegre, sendo consideradas as condições pluviométricas locais e os padrões de consumo dados pelo Departamento Municipal de Águas e Esgotos (DMAE).

Este experimento não pretende uma representatividade estatística, uma vez que serve à montagem de relativizações entre as variáveis, ajustáveis a outros casos em Porto Alegre.

7.1 APRESENTAÇÃO DA EDIFICAÇÃO

A edificação alvo deste trabalho experimental é o projeto denominado **Protótipo Alvorada**, desenvolvido pelo NORIE/UFRGS, sob a coordenação do professor Miguel Sattler. O Protótipo Alvorada, segundo Sattler et al. (2001), é um protótipo de habitação destinada a populações de baixa renda, fazendo parte do Projeto do **Centro Experimental de Tecnologias Habitacionais Sustentáveis** (CETHS). Este Centro Experimental está situado na cidade de Nova Hartz e visa implementar diretrizes de projeto e alternativas tecnológicas nas escalas de arquitetura e planejamento urbano, compatíveis com a realidade brasileira e com os princípios de desenvolvimento sustentável (CETHS, 2003).

O processo de desenvolvimento do Protótipo Alvorada teve início com a análise das idéias propostas no Concurso Internacional ANTAC/PLEA 95 "*Design Ideas Competition Sustainable Housing for Poor*". Através de um convênio firmado em 1997, com a Prefeitura do município de Alvorada, uma equipe composta por alunos e professores do NORIE/UFRGS desenvolveu o projeto do Protótipo Alvorada a partir das idéias lançadas no concurso, adequando-as às condições e recursos locais.

Segundo CETHS (2003), a elaboração final do projeto teve como principais diretrizes:

a) otimizar a **capacidade funcional** da habitação;

b) especificar **materiais de construção** sustentáveis;

c) permitir acessibilidade universal;

d) utilizar a arquitetura bioclimática*;*

e) produzir espaços com **habitabilidade** adequada;

f) utilizar tecnologias propícias à **auto-construção**;

g) considerar as **condições do local** de implantação;

h) incorporar um espaço para atividades geradoras de renda;

i) possibilitar **ampliações e remanejamentos** de espaços.

O Protótipo Alvorada, neste sentido, conta, por exemplo, com sistemas de aquecimento de água solar, de tratamento orgânico das águas residuais e também com um sistema de captação e utilização de água da chuva, constando os projetos deste último no anexo A.

O protótipo consiste de uma residência unifamiliar, com um programa de necessidades que inclui dois dormitórios, sala e cozinha conjugados, banheiro, área de serviço e área de entrada, totalizando 48,50 m² de área construída. Existe ainda uma previsão de ampliação através de um compartimento destinado primeiramente a ambiente de trabalho, visando a geração de renda dentro de uma perspectiva de sustentabilidade econômica, mas que poderia eventualmente receber outros usos. O projeto utiliza técnicas passivas de controle ambiental, sendo considerados dados de orientação solar e ventos predominantes, em sua elaboração. Desta maneira, a fachada principal da edificação fica voltada para a orientação Norte, conforme pode ser visto na figura 35.

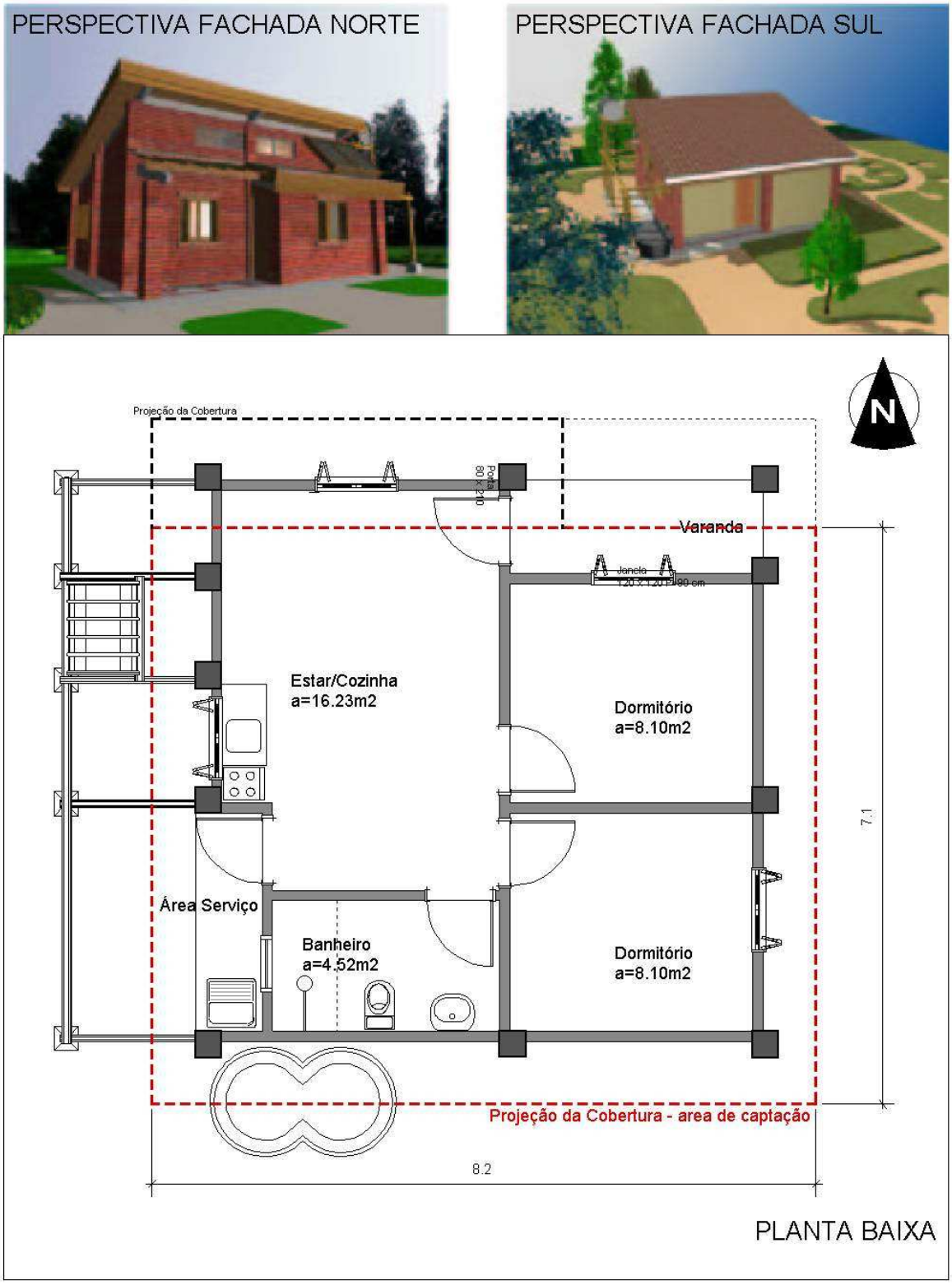


Figura 35: Protótipo Alvorada – versão do projeto implantada no Campus da Agronomia da UFRGS

7.2 DIMENSIONAMENTO

Apesar do projeto do Protótipo Alvorada contar com especificações para o sistema de captação e aproveitamento de água da chuva, esta pesquisa realiza um dimensionamento independente, baseado na fundamentação fornecida pelo referencial bibliográfico, na direção de uma especificação ideal. Não é objetivo desta pesquisa qualquer tipo de comparação ou revisão dos projetos do Protótipo Alvorada, que é concebido à luz de diretrizes de sustentabilidade, para inserção inclusive no meio urbano, enquadrando-se nas características necessárias à proposição deste estudo experimental.

Desta forma, o cálculo do dimensionamento do reservatório está baseado, conforme descrito no capítulo 6, de maneira a se obter a máxima cobertura possível em dias, com o menor volume para a cisterna, apesar de não cobrir o uso total da edificação e não ser a única fonte de água do edifício. Para tanto, o cálculo do número de dias consecutivos sem chuva, para três diferentes períodos de retorno, é realizado (em 7.2.2), apenas com o objetivo de prover um referencial de volume do reservatório no inventário de componentes do sistema e no cálculo do balanço hídrico do mesmo. Este cálculo é o que se presta a fornecer os dados para a análise de benefícios, desenvolvida e apresentada no capítulo 8.

A utilização da água da chuva é feita somente para uso na bacia sanitária por ser o ponto hidráulico que oferece menos risco de utilização potável eventual e por sua expressiva contribuição no consumo total. Este ponto é parte da utilização não potável na edificação representando também, o maior desperdiçador de água, uma vez que o uso dado à água que fornece, exige baixo nível de tratamento, a partir da qualidade da água da chuva, dispensando assim o rigoroso tratamento que a água fornecida pela rede recebe. Outros pontos, como a torneira de jardim e o tanque, por exemplo, estão perfeitamente aptos a serem abastecidos por esta água, porém o risco de um usuário utiliza-la para beber é, aqui, considerado alto, mesmo sem um estudo sobre o comportamento do mesmo.

Para esta pesquisa utiliza-se a distribuição de consumo doméstico de água, apresentada por UFRGS (1998), por representar números aplicáveis a Porto Alegre e que se situam dentro dos patamares apresentados pelos demais autores no capítulo 6.

Com a implantação do **Programa Setorial da Qualidade de Louças Sanitárias para Sistemas Prediais** (PSQ de louças sanitárias para sistemas prediais), inserido no Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H) foi realizado um estudo,

laboratorial e de campo, onde foi definido o volume máximo de descarga em 6,8 litros, a fim de garantir a eficiência e o bom desempenho dos sistemas de descarga com redução do consumo de água. Segundo PBQP-H (2004), entre outros objetivos, o programa pretende sensibilizar os fabricantes de louças sanitárias para a melhoria e manutenção da qualidade de seus produtos, tendo em vista as necessidades do usuário final, as exigências do Código de Defesa do Consumidor e a Meta e Submeta Mobilizadora do Setor. Para tanto realizou, desde novembro de 1999, auditorias em fábricas, ensaiando as bacias sanitárias que correspondiam às linhas com maior participação no mercado para cada fabricante. Através de um modelo matemático, para o índice de conformidade, chega-se ao resultado expresso na figura 36, abaixo.

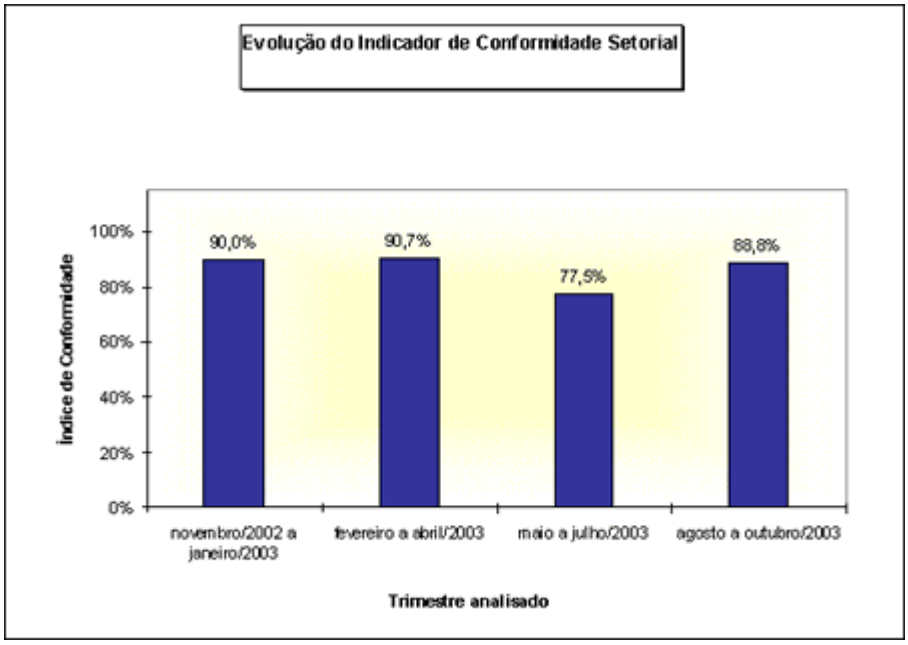


Figura 36: Evolução do indicador de conformidade setorial para bacias de volume reduzido no Brasil (PBQP-H, 2004)

Verificou-se nesta pesquisa, no entanto, que em Porto Alegre é predominante, a oferta de bacias convencionais, com volumes entre 12 e 18 litros, nos estandes de venda de alguns dos principais estabelecimentos comerciais ao consumidor, do setor. **Além disto, esta pesquisa pretende uma abrangência às construções existentes, fazendo com que o desenvolvimento de seu dimensionamento ocorra sobre bacias convencionais**. Uma hipótese de dimensionamento, contando com bacias de volume reduzido, é apresentada em paralelo, sem demonstrar, no entanto seu desenvolvimento.

7.2.1 Definição das demandas

A demanda diária de água é regulada pelo Código de Edificações de Porto Alegre na Lei Complementar nº 284 (PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE, 1992), anexo 11.1, conforme quadro da figura 37.

PADRÕES PARA DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO DE CONSUMO		
OCUPAÇÃO	CONSUMO DIÁRIO	CÁLCULO DA POUPANÇA
Residencial	200L / pessoa	2 pessoas / dormitório até 12,00 m² 3 pessoas / dormitório acima de 12,00 m²
Locais para prestação de serviços profissionais ou condução de negócios	50L / pessoa	1 pessoa a cada 7,00m² de sala
Demais ocupações	Conforme legislação específica	

Figura 37: dimensionamento do reservatório de consumo
(PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE, 1992)

Aplicando o quadro da figura 38 à edificação, obtém-se uma população de 4 pessoas. Considerando os dados de distribuição de UFRGS (1998), 32% são gastos com as descargas das bacias sanitárias. Utiliza-se então um volume diário de consumo de água da chuva de 64 litros por pessoa, totalizando 256 litros por dia e, em média, considerando 30,43 dias por mês, 7.790,20 litros por mês. Este número corresponde a 5,33 descargas por pessoa por dia, para caixas de 12 litros.

Aplicando-se a mesma quantidade de descargas para bacias de 6,8 litros tem-se um consumo de 36,25 litros por dia por pessoa. Com uma população de quatro pessoas tem-se o total diário de 145 litros e o mensal de 4.412,35 litros, numa hipótese de bacias de volume reduzido.

7.2.2 Dados pluviométricos de Porto Alegre

Todos os dados de pluviometria utilizados neste trabalho são provenientes da Estação Pluviométrica do Departamento de Esgotos Pluviais de Porto Alegre, localizada na avenida Icaraí, bairro Cristal. Foram medidos em um pluviômetro mecânico, desde o ano de 1991 ininterruptamente até 2002 estando disponíveis em DEP (2003a). A precipitação mensal média para a cidade de Porto Alegre, calculada sobre estes dados, é de 105,9 mm.

A edificação do estudo experimental, conforme o anexo A, possui área de projeção horizontal de telhado equivalente a **58,2** m² ficando o potencial de captação média da edificação, sem considerar o coeficiente de escoamento, em **6.162,6** litros por mês.

O período sem chuva, ou período de seca segundo Kobiyama e Hansen (2002), é calculado, nesta pesquisa, exclusivamente para duas finalidades:

a) servir de referência aos volumes aplicados no balanço hídrico do reservatório no capítulo 8;

b) prestar-se a uma estimativa de percentual do abastecimento do reservatório de água da chuva, ou seja, o quanto ele cobrirá da demanda, em função de seu dimensionamento, visto que a edificação do estudo experimental tem o potencial de captação abaixo do consumo esperado.

A quantidade de dias secos é determinada segundo o método apresentado por Kobiyama e Hansen (2002), com a observação de que aqui a análise é montada sobre uma série parcial, no papel ou gráfico da distribuição de Gumbel. Para tanto são contados os eventos de dias consecutivos sem chuva, medidos ao longo de doze anos na estação pluviométrica do DEP, citada acima. Estes dados foram organizados e apresentados na coluna **DS** do quadro da figura 40. A coluna **N** traz a quantidade de ocorrências de tais períodos e a coluna **FA** o número de freqüências absolutas totais. A coluna **T** é o período de retorno de série parcial, calculado a partir da fórmula de Weibull, que é neste caso corrigida, sendo dividida pelo número de anos da amostragem. Desta maneira, a variável reduzida de Gumbel, é calculada através da equação 2 e representada na coluna **X**, do quadro da referida figura.

$$X = -Ln\,[-Ln\,(1 - 1/12T)] \qquad \text{(equação 2)}$$

Os pontos amostrais não tiveram a tendência de reta no papel de Gumbel, significando que os dias secos não seguem esta lei estatística. Porém, segundo Silveira (2003) isto se torna irrelevante para períodos de retorno curtos, conforme o utilizado por Kobiyama e Hansen (2002), sendo suficiente, um ajuste empírico da mesma lei. Para tanto é realizada a interpolação de uma equação que se ajuste aos pontos amostrais, resultando em um polinômio do segundo grau. É gerada, então, uma estimativa para períodos de retorno entre 1 e 10 anos, usando esta equação não linear da variável de Gumbel **X**, segundo equação 3. A figura 38 demonstra tais relações. O coeficiente de determinação, que mede o grau de ajuste da função aos dados observados, é representado por R^2 e tem seu valor em 0,9941.

$$y = 0{,}5018x^2 + 1{,}8145x + 2{,}9044 \qquad \text{(equação 3)}$$

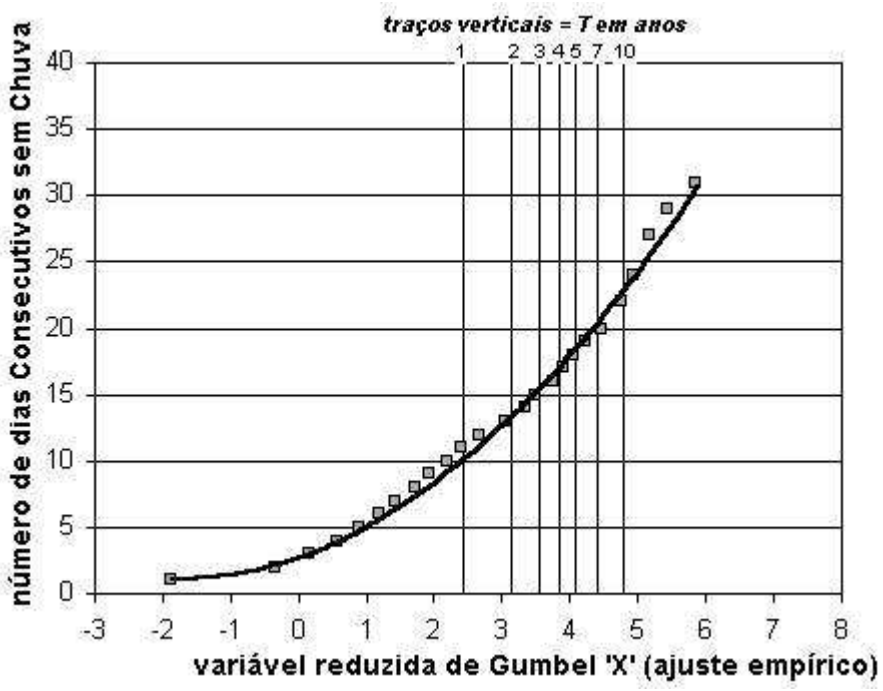


Figura 38: quantidade de dias sem chuva na cidade de Porto Alegre
para diferentes períodos de retorno

DS	**N**	FA	**T**	X	DS	**N**	FA	**T**	X
1	170	700	0,0835	-1,8798	14	5	24	2,4340	3,3571
2	128	530	0,1102	-0,3442	15	3	21	2,7817	3,4928
3	95	402	0,1453	0,1601	16	2	16	3,6510	3,7684
4	71	307	0,1903	0,5514	17	2	14	4,1726	3,9034
5	55	236	0,2475	0,8905	18	2	12	4,8681	4,0590
6	36	181	0,3227	1,2084	19	2	10	5,8417	4,2427
7	32	149	0,3921	1,4315	20	2	8	7,3021	4,4673
8	20	113	0,5170	1,7385	22	2	6	9,7361	4,7565
9	19	93	0,6281	1,9496	24	1	5	11,6833	4,9395
10	14	74	0,7894	2,1932	27	1	4	14,6042	5,1634
11	14	60	0,9736	2,4138	29	1	3	19,4722	5,4518
12	14	46	1,2699	2,6901	31	1	2	29,2083	5,8579
13	8	32	1,8255	3,0635					

Figura 39: análise estatística dos dias secos em Porto Alegre de 1991 a 2002

Os resultados, para fins de cálculo do volume do reservatório, são considerados, segundo os períodos de retorno de 1, 5 e 10 anos, com seus valores de cálculo sendo respectivamente 10,3 dias, 18,7 dias e 23,1 dias.

7.2.3 Cálculo do volume do reservatório

Para os cálculos preliminares, de potencial de captação do telhado da edificação, utiliza-se uma média de todas as chuvas anuais, ou das totais mensais, obtidas em no mínimo dez anos, conforme recomendam Kobiyama e Hansen (2002). Esta pesquisa utiliza a média mensal para o cálculo preliminar, pois considera esta unidade de tempo em todos os demais cálculos.

O potencial de captação do telhado, dado pelo item anterior, deve então ser multiplicado pelo coeficiente de escoamento, que neste caso fica definido como de 0.85. Utiliza-se este valor de coeficiente, pois, além ser o valor recomendado por Ruskin (2001b), situa-se exatamente na faixa dos números apresentados por outros diversos autores, ficando também um pouco acima do recomendado por Bernat et al. (1993) para telhas de barro no árido brasileiro, que é seco, apresentando maior evaporação, fator que influencia no coeficiente.

Tem-se, para potencial real de captação do telhado da edificação do estudo experimental, o volume de **5.238,2** litros por mês, em média aritmética. Preliminarmente, tal volume não supre o total da demanda para o mesmo período, aproximando-se de **67,2%** de sua provisão, devendo ser completada por água da rede.

O volume do reservatório é calculado através da multiplicação do número de dias consecutivos sem chuva pela demanda total, tendo-se como resultado o volume que o reservatório deve ter para atender à cobertura de 67,2% da demanda do ponto de consumo. Conforme visto anteriormente, tem-se números de dias sem chuva para três períodos de retorno diferentes que, reduzidos a valores inteiros ficam definidos em 11 dias para 1 ano de período de retorno, 19 dias para 5 anos e 24 dias para ocorrências com freqüência provável de 10 anos.

Multiplicando-se a demanda diária por estes números tem-se:

a) 2.816 litros para 1 ano de período de retorno;

b) 4.864 litros para 5 anos de período de retorno;

c) 6.164 litros para 10 anos de período de retorno.

Uma primeira análise indica que um reservatório que atenda secas com período de retorno de, por exemplo, 10 anos, estaria sendo superdimensionado, considerando que o potencial de captação mensal da edificação é menor que o volume requerido. No entanto, é importante considerar a distribuição das chuvas, a fim de aproximar-se ao máximo, do ótimo tamanho para o reservatório. As médias mensais são o produto da divisão do total pluviométrico medido, pelo número de meses do período de medição. É um número que uniformiza a distribuição dos volumes pluviométricos no tempo, facilitando a sua relação com os números de cálculo de consumo, que possuem uma distribuição uniforme. No entanto, os acúmulos de

volume de chuva geram a possibilidade de extravasamento do reservatório, por ocasião das diferenças quantitativas entre entradas e saídas d'água no mesmo.

Desta maneira, cálculos de balanço hídrico que considerem a distribuição das chuvas, podem minimizar erros de dimensionamento do reservatório, fornecendo um panorama mais preciso a respeito de seu comportamento. Os pontos de extravasamento e seu volume, em função do consumo e do tamanho do reservatório, são explicitados em análises deste tipo. Oliveira (2003) apresenta um método para determinação da disponibilidade hídrica de um reservatório (figura 41), que é denominado de, de balanço hídrico seriado, sendo representado pela equação 4.

$$(S_{t+1}) = S_1 + (P \times A) - (Q) - (Ex) \qquad \text{(equação 4)}$$

Onde:

S_{t+1} = total de água disponível no reservatório no dia considerado, em m³;

S_1 = total de água disponível no reservatório no dia anterior, em m³;

P = precipitação acumulada no dia considerado, em mm;

A= área de captação, em m²;

Q = consumo total diário, em m³;

Ex = água extravasada, em m³.

Oliveira (2003) toma um período demonstrativo de 10 dias e aplica a equação acima sobre os dados diários de chuva de Florianópolis, resultando no gráfico da figura 40. Esta figura apresenta o balanço de um reservatório experimental, de volume reduzido, concebido para fins de pesquisa e dimensionado para atender uma demanda de 20 litros diários, em um período seco de 26 dias, sendo que a área de captação é de 12 m². Oliveira (2003) objetiva, neste estudo, a determinação da relação entre a área de captação e o volume do reservatório, sendo que o consumo e o período seco são determinados.

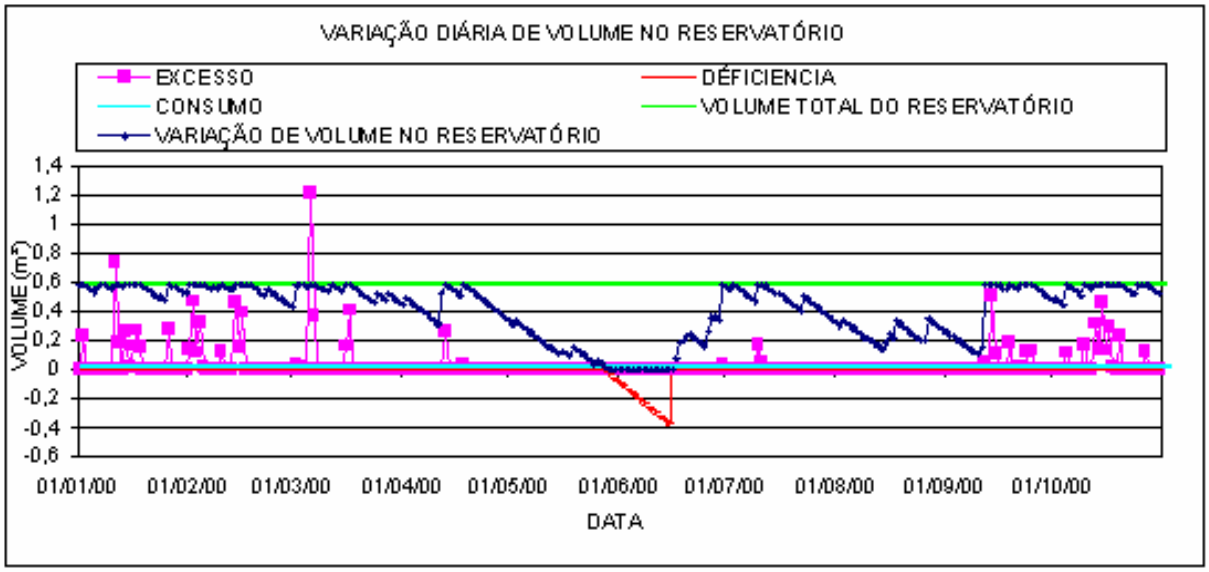


Figura 40: variação diária do volume do reservatório segundo balanço hídrico seriado (OLIVEIRA, 2003)

Para a presente pesquisa a área de captação deixa de ser uma variável na análise, servindo o balanço hídrico como subsídio a considerações em torno do volume do reservatório em função, principalmente, de seu aspecto econômico. Portanto, uma análise comparativa entre os volumes de reservatórios, que se aproximam o máximo possível dos calculados, são apresentados posteriormente, na análise dos benefícios gerados pelo sistema. No apêndice A para exemplificação, são apresentados quadros que contém partes da planilha utilizada para o cálculo de balanço hídrico do reservatório de 5.000 litros, aplicado ao estudo experimental, sobre dados diários das chuvas dos últimos 12 anos na cidade de Porto Alegre. A partir desta planilha, desenvolvida em Microsoft Excel, um gráfico ilustrativo do comportamento do reservatório é desenhado e apresentado na íntegra, no mesmo apêndice.

7.2.4 Especificações dos componentes do sistema

Além do reservatório, faz-se necessário a especificação e o dimensionamento de outros componentes do sistema, que seguirão os padrões de dimensionamento apresentados anteriormente, sendo eles:

a) seção da calha coletora;

b) seção do condutor vertical;

c) volume do sistema de descarte de primeiro fluxo de chuva ou *first-flush diverter;*

d) seção dos tubos de abastecimento;

e) sistema controlador da entrada de água da rede para o ponto hidráulico WC.

f) base de apoio do reservatório

7.2.4.1 Seção da calha coletora

Segundo o quadro da figura 32 (MACINTYRE, 1996), a calha para a edificação do estudo experimental fica então especificada com seção circular de **14cm** de diâmetro, ou com área da seção, de no mínimo **80cm²**, utilizando-se inclinação de 0,5% para a calha.

7.2.4.2 Seção do condutor vertical

Macintyre (1996) apresenta três possíveis parâmetros de referência para dimensionamento, sendo adotado aqui, aquele que corresponde à maior seção por área de cobertura. A importância de que não haja perdas, para este caso, é maior do que nos sistemas convencionais de recolhimento d'água. Desta forma, considerando $1cm^2$ por m^2 de área a esgotar, tem-se para o estudo experimental um cano de seção de 4 polegadas, ou **100 mm**.

7.2.4.3 Volume do *first-flush diverter*

Aplicando a proporção recomendada por Macomber (2001), se tem 0,41 litro, para cada metro quadrado de telhado. Desta forma, para este estudo, fica estabelecido o volume de **23,78 litros**, que aplicado a um tubo de diâmetro 100mm, confere um comprimento de **3,03 metros**, após a derivação de entrada no reservatório.

7.2.4.4 Seção dos canos de abastecimento

Por abastecer somente o ponto de consumo da caixa de descarga da bacia sanitária, o diâmetro nominal dos canos de distribuição e abastecimento é, desde a saída do reservatório até a conexão com a caixa, de **20 mm,** sendo este também o diâmetro das conexões necessárias para o percurso. O dimensionamento baseia-se na NBR 5626:1998, e resulta numa seção nominal menor que vinte milímetros. No entanto, tubulações de PVC, destinadas à água fria têm seu diâmetro mínimo, disponível no mercado nacional, a seção de 20mm. Outros tipos (materiais) de tubulações estão disponíveis em diâmetros menores, mas a custos bastante elevados, não se valendo ao propósito desta pesquisa. Macintyre (1996) afirma ser 0,5 m a pressão de trabalho mínima, necessária ao abastecimento de caixas de descarga, tendo assim uma velocidade de enchimento adequada. Os diâmetros dos demais tubos necessários ao funcionamento do sistema estão expressos no esquema apresentado na figura 41.

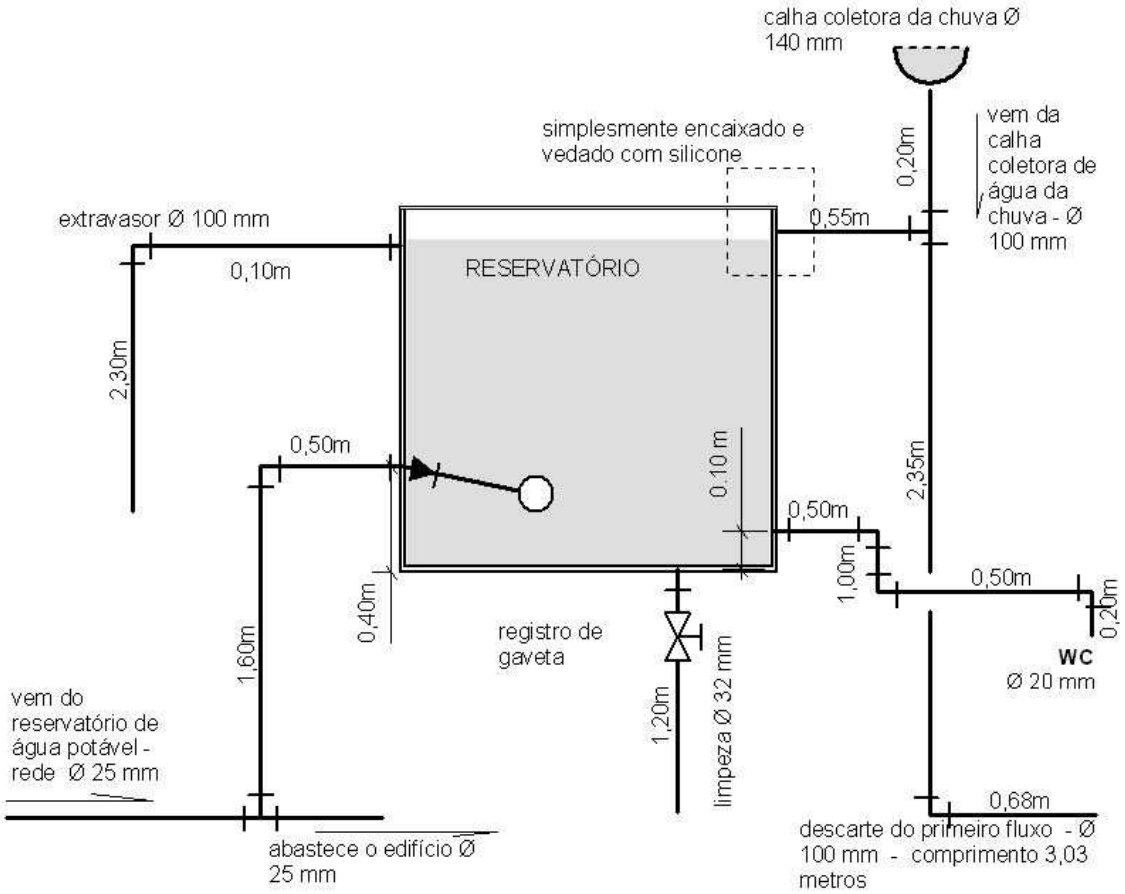


Figura 41: esquema das ligações hidráulicas do sistema de captação e aproveitamento de água da chuva

7.2.4.5 Sistema controlador da entrada de água da rede para o ponto hidráulico WC

A NBR 5626 especifica que “não deve haver interligação entre tubulação que conduza água fornecida por redes públicas de concessionárias e tubulação que conduza água proveniente de sistema particular de abastecimento (conexão cruzada), seja esta última com água potável ou não”. Para tanto, o sistema alimentador do reservatório de água potável deve ter separação atmosférica para a água reservada, garantindo que não haverá refluxo para a rede.

Garantida esta condição, o sistema controlador da entrada de água da rede para o ponto hidráulico da bacia sanitária, se dá, diferente do especificado pelos projetos originais, através de uma ligação entre o reservatório convencional (de água da rede) e o de água da chuva. O fluxo d’água desta ligação é controlado por uma torneira de bóia colocada no reservatório de água da chuva na mínima altura possível em função de seu funcionamento, conforme figura 42. A garantia do não-refluxo de água da chuva para as tubulações de água potável é dada principalmente pela diferença de pressão (gravitacional) entre os reservatórios, mas também pela vedação da torneira de bóia, controladora. Uma garantia adicional ainda pode ser recomendada, mesmo que não utilizada neste estudo, através da instalação uma válvula de retenção no tubo de abastecimento de água da rede ao reservatório da chuva, antes do “te” de derivação, segundo figura 41.

A altura da torneira de bóia é determinada de forma a não permitir que o reservatório de chuva seja totalmente preenchido com água da rede, deixando-o pronto para receber a água do próximo evento chuvoso. Desta maneira, unificam-se as tubulações de chegada no ponto de consumo, que vem apenas do reservatório da chuva, e consegue-se uma automação do sistema, que passa a não depender mais de operação do usuário.

De outra forma, no caso de um eventual descuido ou esquecimento por parte do usuário em fechar o registro controlador, por exemplo, na volta do abastecimento por chuva, o ponto simplesmente continuaria a ser abastecido pela rede, visto que a pressão da rede é maior que a do sistema de chuva, fazendo com que a água da chuva fique contida pela válvula de retenção, que funciona como barreira à passagem de água da rede ao reservatório de água da chuva (anexo A).

Uma segura adoção desta especificação, no entanto, depende de estudo específico, para verificação de seu desempenho, por se tratar de utilização de um produto industrializado não

em conformidade com as recomendações dos fabricantes (torneira de bóia submersa), para seu uso e instalação.

7.2.4.6 Base de apoio do reservatório

A função principal deste apoio para o reservatório é elevá-lo até 0,5 m acima do ponto de entrada na caixa de descarga acoplada à bacia sanitária, de forma a garantir a pressão suficiente ao perfeito funcionamento, segundo recomendado por Macintyre (1996), considerando um adequado tempo de enchimento, ficando dentro do recomendado pela NBR 5626, e proporcionando também uma altura abaixo da calha, para abastecimento gravitacional do reservatório. Esta especificação, que determina o posicionamento vertical do reservatório entre a calha coletora e o ponto de utilização hidráulica da água da chuva, tem como objetivo dispensar os bombeamentos de água e, com eles, gastos energéticos desnecessários.

Desta maneira, o apoio do reservatório deve ter uma altura de 1,20 metros, em relação ao piso da residência. O apoio se fará sobre uma camada de solo cimento compactado, na proporção de 1 para 20, de cimento Portland CP IV 32 e solo peneirado do local, com 20 centímetros de espessura. Sobre esta fundação elevam-se duas alvenarias perpendiculares, de tijolo maciço rústico, com acabamento à vista, conforme ilustrado na figura 42.

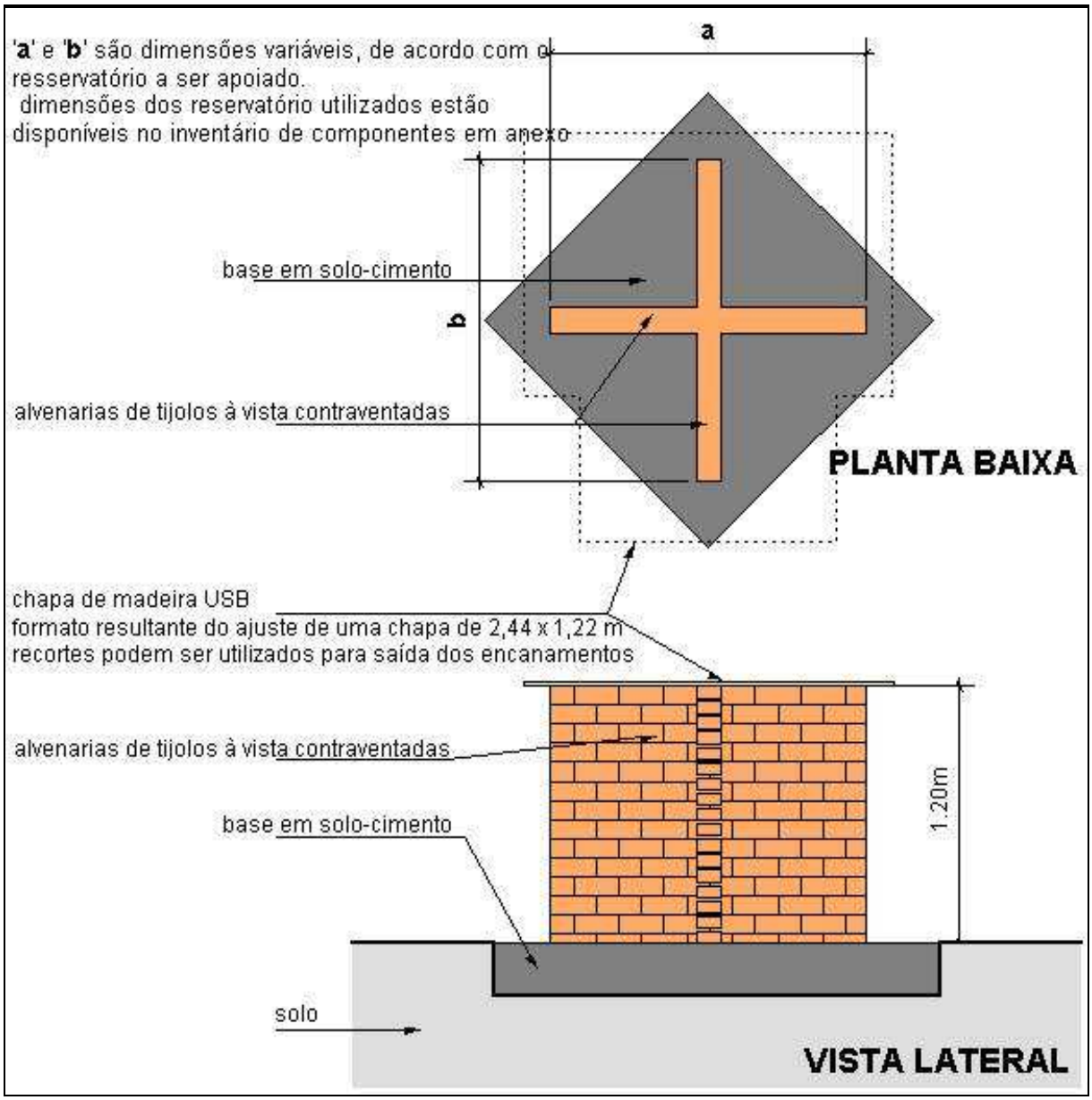


Figura 42: esquema básico ilustrativo da base de apoio do reservatório de água da chuva

8 ANÁLISE DOS BENEFÍCIOS

A captação de água da chuva pode gerar benefícios de diversas ordens, em diferentes finalidades. No meio urbano, como apresentado anteriormente, existem ainda aqueles concernentes à minimização dos problemas causados pela impermeabilização e poluição das cidades. Matéria muito estudada na engenharia de recursos hídricos, a drenagem urbana trabalha com as chuvas e manipula seus números de maneira a determinar o mais precisamente possível suas variações, a fim de fornecer subsídios para a elaboração e otimização dos projetos de drenagem urbana.

Neste sentido, bacias de retenção, que são grandes reservatórios de água da chuva, muitas vezes são diagnosticadas pelos especialistas e projetistas como uma das soluções às inundações urbanas. No entanto, é normalmente apresentada como uma solução exclusiva a este problema, não considerando as múltiplas direções, próprias de soluções sustentáveis, como por exemplo, a utilização do volume retido para abastecimento. Um exemplo desta visão unidirecional é a lei paulistana, citada em capítulos anteriores, que prevê a obrigatoriedade na retenção da água, mas que apenas abre a possibilidade do uso da água acumulada.

Simetricamente, a bibliografia referente à utilização da água da chuva, comumente não apresenta considerações mais aprofundadas a respeito dos benefícios que a captação da água da chuva pode gerar para a escala urbana, limitando-se os estudos e análises à escala do indivíduo, usuário da edificação. Para tanto, os estudos são direcionados, por exemplo, a análise dos números de chuva para os períodos de seca, a fim de se desenvolver com maior precisão os cálculos de dimensionamento do reservatório, que recebe atenção também na definição de materiais e sistemas construtivos mais seguros e econômicos. Formas para limpar e tratar a água também são averiguadas, chegando a ser desenvolvidos componentes industriais para o desempenho de tais tarefas, a exemplo da empresa alemã 3P-Technik. Materiais componentes de telhados, calhas, tubos condutores e bombeamentos também compõem a lista dos aspectos enfocados pelos estudos em torno da utilização humana da água da chuva.

Para diferentes partes do mundo, se têm diferentes benefícios com relação à captação de água da chuva, por razões diversas, que podem incluir desde a existência ou não de outra fonte do recurso, até a expressividade da tarifa, ou a qualidade da água fornecida pela rede. Para o cenário local de Porto Alegre, onde a água potável está disponível a quase toda a população, sendo distribuída pela rede pública até a residência das pessoas e a uma tarifa acessível, os benefícios da instalação e utilização da água da chuva são menos diretamente percebidos. Para aproximar-se então, de uma avaliação mais ampla do benefício gerado pela utilização da água da chuva se faz, nesta pesquisa, uma classificação dos mesmos, em benefícios:

a) diretos: aqueles percebidos diretamente pelos usuários da edificação que tem o sistema instalado;

b) indiretos: como aqueles percebidos na escala urbana, contando-se com uma hipótese de larga disseminação do sistema na cidade.

As considerações sobre os benefícios diretos são referenciadas à edificação do estudo experimental, a fim de simplificar o entendimento dos diferentes aspectos que influenciam em sua avaliação, sobretudo para fins de dimensionamento e eficiência. Os indiretos são apresentados de forma mais genérica, sendo relacionados à escala urbana, considerando sua influência tanto nas entradas quanto nas saídas de água no meio urbano, podendo gerar benefícios.

8.1 BENEFÍCIOS DIRETOS

Identifica-se, para esta pesquisa, o aspecto econômico como um possível fornecedor de subsídios à avaliação do usuário/proprietário, sendo o benefício mais facilmente percebido pelo mesmo. Outros possíveis benefícios também podem ser citados, como o ambiental, que tem uma abrangência muito maior do que os limites da propriedade do indivíduo, mas que depende ainda, para a percepção de seu valor, de fatores mais subjetivos relativos ao grau de informação do usuário e à importância que ele releva à questão ambiental. Este não é, no entanto, tema de abordagem da pesquisa, que fica restrita, desta forma, sob o ponto de vista do usuário, a uma análise do envolvimento econômico da implantação de um sistema de captação e utilização de água da chuva em uma residência unifamiliar.

8.1.1 Área de captação e população do edifício

A primeira verificação a ser realizada é a capacidade total de captação da edificação. Para o estudo experimental este número resultou em um volume de **5.238,2 litros** por mês, que corresponde a aproximadamente **67,2%** do consumo da bacia sanitária para o período, considerando bacias sanitárias convencionais. A relação de área de captação do protótipo, segundo projetos constantes do anexo A, e a população da edificação, conforme critérios da Prefeitura Municipal de Porto Alegre (1999)., é de 14,54m² por pessoa. Ou seja, para se ter uma cobertura de aproximadamente 67,2% do consumo de bacias sanitárias, é necessário que se tenha 14,54m² por pessoa habitante do edifício. As figuras 43 e 44 demonstram as relações entre área de cobertura, população e percentual de cobertura para os condicionantes do estudo experimental, considerando bacias convencionais.

Quanto maior for o percentual de cobertura, mais próximo do máximo benefício, fica o edifício, pois mais apto a cobrir a totalidade da demanda, o mesmo está. Os outros percentuais servem como referência de pré-dimensionamento e viabilidade. No estudo experimental, por exemplo, ao atingir o abastecimento por água da chuva de 67,2% do consumo da descarga da bacia sanitária, garante-se uma eficiência de 100% do sistema, pois este é o potencial máximo do edifício, considerando bacias convencionais.

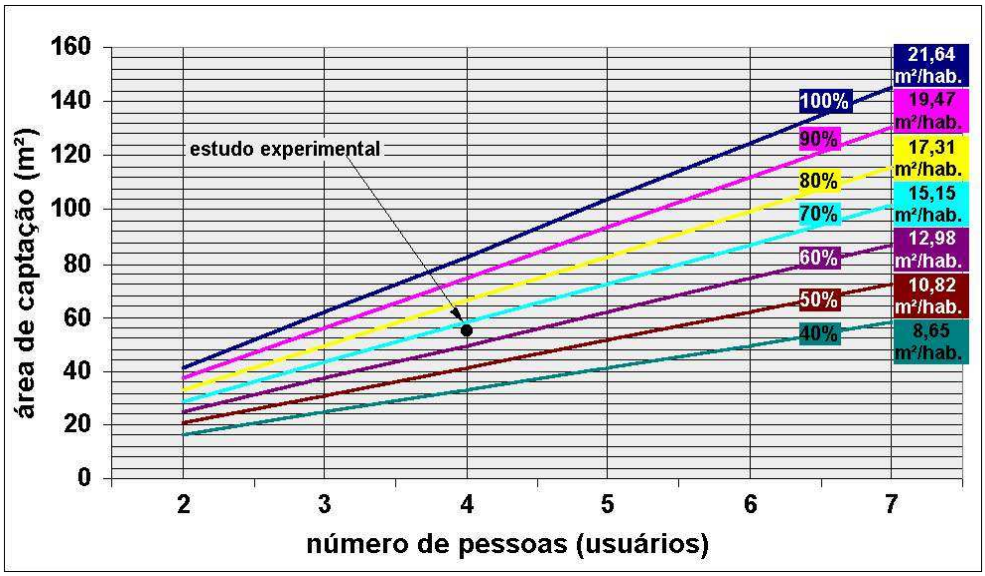


Figura 43: gráfico demonstrativo da relação entre área de captação e a população consumidora da edificação, considerando os percentuais de cobertura da demanda para bacias convencionais.

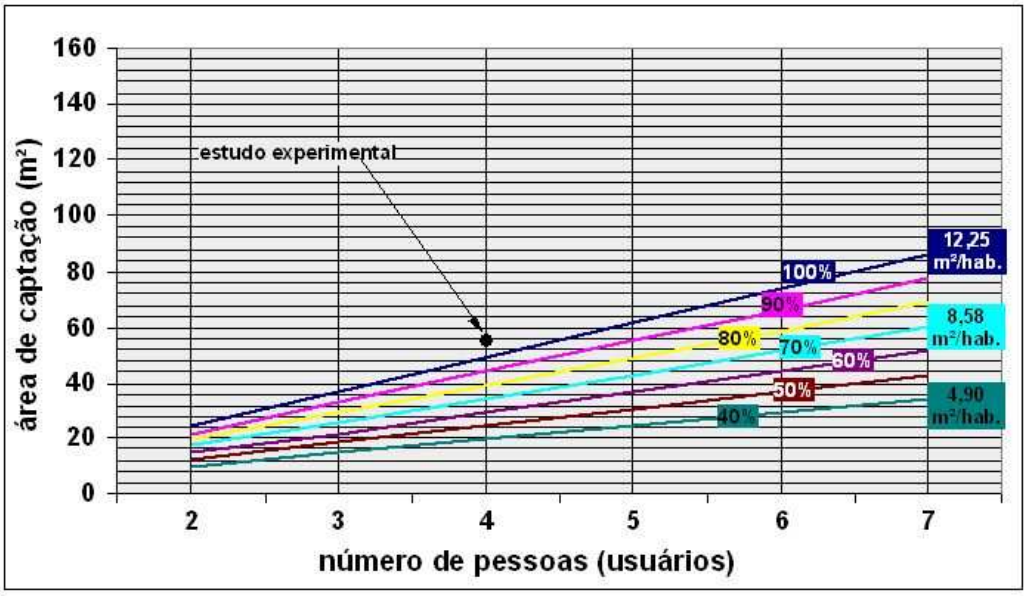


Figura 44: gráfico demonstrativo da relação entre área de captação e a população consumidora da edificação, considerando os percentuais de cobertura da demanda para bacias de volume reduzido.

8.1.2 Especificação dos componentes

Para sistemas que se prestam como única fonte de água da edificação, torna-se imperativo o máximo atendimento possível da demanda, a fim de evitar falta no abastecimento. Foram apresentados anteriormente alguns sistemas que são a única fonte de água da edificação, como o exemplo das cisternas do sertão nordestino brasileiro. Estas cisternas normalmente contam com grandes volumes de reserva, sendo comum números entre 15 e 30m³. Estes grandes volumes ocorrem, não somente, porque a cisterna costuma ser o único recurso de água da edificação, mas também por causa das características das chuvas na região, muito sazonais. O benefício mais facilmente percebido neste caso deixa de ser o econômico e passa a ser a própria água, disponibilizada através do sistema. Neste sentido, o dimensionamento do reservatório fica menos influenciado pelo aspecto econômico, concentrando-se em garantir o máximo possível de abastecimento. A atenção ao aspecto econômico verifica-se principalmente nos materiais e tecnologias aplicados, que costumam ser locais e de fácil assimilação cultural, de forma a facilitar a autoconstrução, eliminando custos de mão-de-obra, viabilizando o sistema.

De outro lado, tem-se os sistemas de abastecimento de água da chuva que atuam complementarmente ao da rede urbana, ou de outras fontes, como por exemplo, os poços de captação de águas subterrâneas, que são comuns em zonas não urbanas. Nestes casos, o dimensionamento do reservatório tende a prestar mais atenção ao aspecto econômico, que toma maior importância nas decisões de proprietários, usuários e/ou empreendedores.

O benefício econômico é caracterizado aqui, pela relação entre o custo de implantação do sistema e a economia pela não necessidade de pagamento da água, gerada por ele. Neste estudo, parte-se da premissa que a utilização da água da chuva para 67,2% da demanda da bacia sanitária de volume convencional, ao diminuir o consumo de água potável da rede, que é tarifada pela distribuidora, gera economia em recurso financeiro para o usuário da edificação, existindo desta forma uma amortização do investimento de implantação.

Existem ainda os custos com a manutenção do sistema que, no entanto, não são abordados nesta pesquisa por força da insipiência de dados a respeito e pela provável pouca representatividade dos mesmos, à exceção do serviço de limpeza, principalmente da calha e do reservatório. Além disto considera-se que esse serviço seja realizado pelo próprio usuário, dispensando gastos com mão-de-obra, uma vez que não são necessários produtos ou ferramentas específicas.

Neste sentido, é realizado um levantamento dos referidos custos de implantação do sistema, considerando material e mão-de-obra, sendo os materiais orçados segundo valores fornecidos por estabelecimentos comerciais de Porto Alegre e a mão-de-obra segundo profissionais liberais da cidade (ver anexo B). Subdivide-se o sistema em grupos de orçamento, com dimensionamento conforme especificado anteriormente, sendo eles:

a) reservatório;

b) calha com tela;

c) tubos e conexões;

d) base de apoio do reservatório.

8.1.2.1 Reservatório

Foram tomados como referência os três volumes apresentados pelo estudo exploratório, para períodos de estiagem de 11, 19 e 24 dias, conforme apresentado anteriormente, para bacias sanitárias convencionais, e relacionados com reservatórios pré-fabricados, em volumes o mais próximo possível dos mesmos, conforme o inventário de componentes do sistema, em anexo, sendo os dados resultantes apresentados no quadro da figura 45.

A dependência do percentual de atendimento da demanda pelo tamanho do reservatório ocorre em distribuição temporal, o que significa que todos os reservatórios acima podem suprir a totalidade da demanda por um determinado período, o qual varia sensivelmente em duração e freqüência conforme a capacidade. Por exemplo, considerando a utilização de um reservatório com 5.000 litros, ocorrerá uma utilização excedente de água da rede com uma freqüência provável de cinco anos. Ou seja, durante o tempo de 5 anos, compreendido entre os eventos de dias consecutivos sem chuva com duração de 19 dias, o reservatório estará suprindo 100% da capacidade de captação do telhado para o consumo da edificação, que no caso do estudo experimental corresponde, conforme já apresentado, a aproximadamente 67,2% do total para as bacias sanitárias convencionais e mais de 100% para as bacias de volume reduzido.

volumes calculados (litros)	2816,00	4864,00	6164,00
dias consecutivos sem chuva	11	19	24
período de retorno (anos)	1	5	10
fibra de vidro volume (litros)	2000	5000	7000
polietileno volume (litros)	2500	5500	10000
concreto volume (litros)	2900	4900	6200
fibrocimento volume[3] (litros)	3 x 1000	5 x 1000	6 x 1000

Figura 45: comparativo das possibilidades para reservatórios da edificação do estudo experimental

[3] Volumes resultantes da ligação de 3, 5 e 6 reservatórios de 1.000 litros. Esquema das ligações conforme figura 48, a seguir

No entanto, ainda podem ocorrer, dentro destes cinco anos, as realizações de períodos sem chuva com períodos de retorno maiores de cinco anos, que estejam aos seus tempos de ocorrência. Além disto, os períodos sem chuva menores que dezenove dias também podem esvaziar o reservatório, dependendo do volume d'água disponível no mesmo, na data de início de tais períodos sem chuva. Neste sentido, uma avaliação do comportamento do reservatório, conforme apresentado anteriormente, é muito importante, uma vez que denuncia os pontos de falência do sistema, tanto em períodos de seca como de excesso de chuva, quando ocorrem extravasamentos, desperdiçando a água.

Um estudo sobre o balanço hídrico de reservatórios para a edificação do estudo experimental foi realizado para os volumes de 2.000, 2.500, 2.900, 3.000, 4.900, 5.000, 6.200, 7.000 e 10.000 litros. A partir daí foram calculadas médias mensais de abastecimento pela rede e pela chuva. Estes volumes correspondem aos tamanhos dos reservatórios sugeridos pelo inventário de componentes do sistema (anexo B), que mais se aproximam dos volumes de cálculo, apresentados anteriormente. O referido estudo é desenvolvido sobre uma planilha que relaciona dados pluviométricos diários de 12 doze anos, área de captação, volume do reservatório e consumo diário para a caixa de descarga da bacia sanitária, considerando o consumo referente a bacias convencionais. Seu resultado é ilustrado por um gráfico, constante no apêndice A, que o apresenta apenas para o volume de 5.000 litros. As médias de consumo, da rede e da chuva, são tomadas em distribuição aritmética sobre todo o período medido, bem como os volumes extravasados, para os reservatórios, com diferenças volumétricas mais relevantes, entre os citados acima, sendo apresentados no quadro da figura 46, apenas alguns mais significativos, tanto para bacias convencionais como para de volume reduzido.

O volume do reservatório efetivamente pode ser qualquer um dos apresentados na figura 46 e mesmo outros. A diferença na especificação de um ou outro volume, neste caso, fica por conta do benefício gerado, que é percebido diferentemente por cada usuário, conforme seu juízo de valor em torno, principalmente, dos aspectos ambiental e econômico. Os volumes apresentados na referida figura representam algumas possibilidades prováveis para o ótimo dimensionamento do reservatório e servem como subsídio para considerações em torno dos benefícios da aplicação do sistema, realizadas a seguir.

		consumo médio mensal rede		consumo médio mensal chuva		extravasamento médio mensal	
		Bacia de volume reduzido	**Bacia convencional**	Bacia de volume reduzido	**Bacia convencional**	Bacia de volume reduzido	**Bacia convencional**
2000 litros	volume (litros)	800,2	**3260,1**	3612,3	**4530,2**	1620,7	**708,1**
	percentual do consumo	18,1%	**41,8%**	81,9%	**58,2%**	-	**-**
3000 litros	volume (litros)	560,5	**2961,3**	3852,0	**4828,9**	1374,0	**409,3**
	percentual do consumo	12,7%	**38,0%**	87,3%	**62,0%**	-	**-**
5000 litros	volume (litros)	321,6	**2706,9**	4099,8	**5083,3**	1112,3	**154,9**
	percentual do consumo	7,1%	**34,7%**	92,9%	**65,3%**	-	**-**
7000 litros	volume (litros)	168,2	**2612,7**	4244,3	**5177,5**	953,9	**60,7**
	percentual do consumo	3,8%	**33,5%**	96,2%	**66,5%**	-	**-**
10000 litros	volume (litros)	92,9	**2563,1**	4319,5	**5227,2**	857,9	**11,1**
	percentual do consumo	2,1%	**32,9%**	97,9%	**67,1%**	-	**-**

Figura 46: médias mensais da distribuição do consumo de água na bacia sanitária e médias de extravasamento, para diferentes volumes de reservação considerando bacia convencional e de volume reduzido

8.1.2.2 Calha com tela

Alguns elementos como a louça sanitária e a caixa de descarga acoplada, não são considerados como elemento do sistema de aproveitamento da água da chuva, não sendo desta forma computados nos cálculos de custo do sistema, ao contrário de outros, claramente exclusivos do sistema, como por exemplo, o reservatório para água da chuva. Com respeito à calha e tela, esta classificação torna-se não tão evidente, pois sua aplicação acontece também em edificações sem o sistema de aproveitamento de água da chuva.

Desta maneira, a calha pode ou não, ser considerada como elemento componente do sistema, para os cálculos de custo, bem como a tela de proteção, apesar desta última ser menos comum em calhas que descartam a água captada.

Fica estabelecido nesta pesquisa que tanto a calha como tela constituem componentes do sistema, e por isto incluem-se no cálculo de custo do sistema.

A calha, com a tela, é orçada conforme dimensionamento apresentado anteriormente e tem seus fornecedores e preços disponíveis no anexo B.

8.1.2.3 Encanamentos e conexões

As conexões têm suas posições e quantidades expressas pelo esquema da figura 41, apresentada anteriormente, e as tubulações obedecem aos percursos descritos no estereograma da figura 47, genérica a todos os reservatórios à exceção dos de fibrocimento.

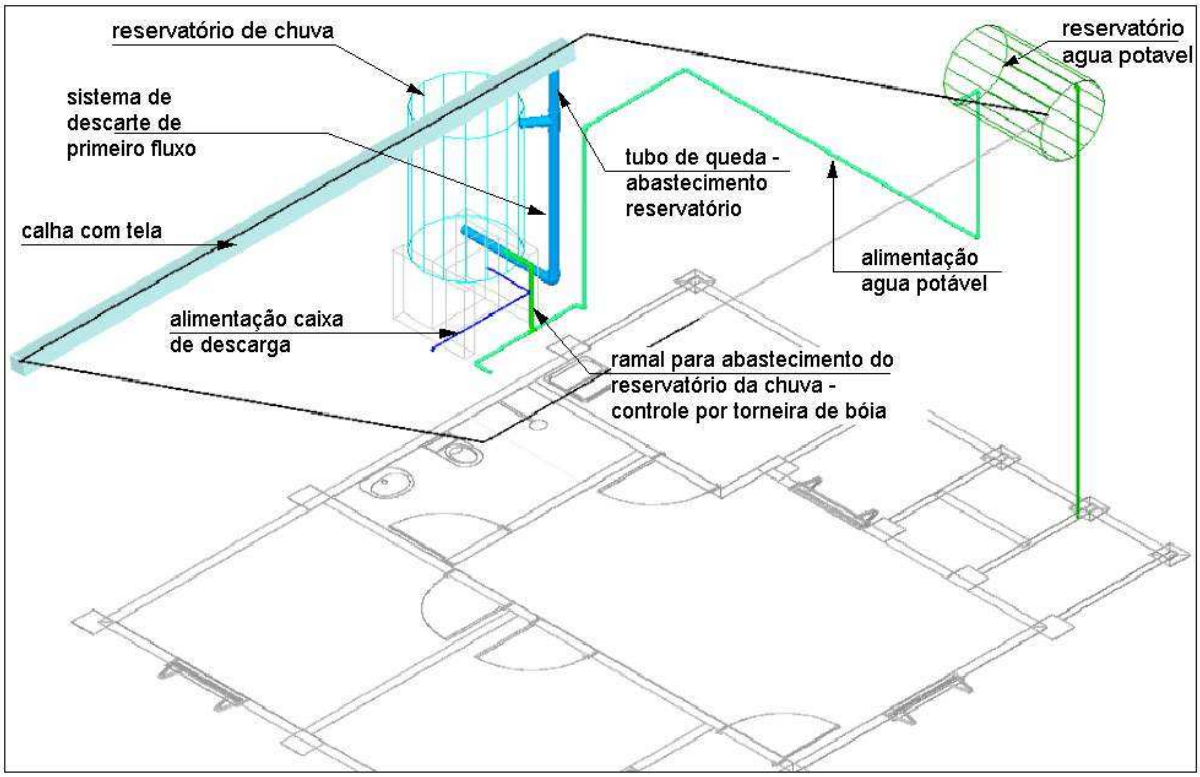


Figura 47. estereograma ilustrativo dos percursos dos encanamentos do sistema de captação e aproveitamento de água da chuva para o Protótipo Alvorada.

Os reservatórios de fibrocimento compõem seus volumes, de 2.000, 3.000, 5.000 e 6.000 litros através da ligação entre reservatórios de 1.000 litros, que é o maior tamanho disponível no mercado. Estas ligações ocorrem através de tubulações de PVC, de diâmetro 40 mm, fixadas e vedadas através de adaptadores com flange na mesma bitola. O esquema da figura 48 ilustra uma ligação entre os reservatórios de fibrocimento.

O PVC, apesar de não ser recomendável, sob o ponto de vista ambiental, ainda constitui no material economicamente mais barato, sendo assim utilizado para esta pesquisa, em todas as tubulações do sistema de utilização de água da chuva.

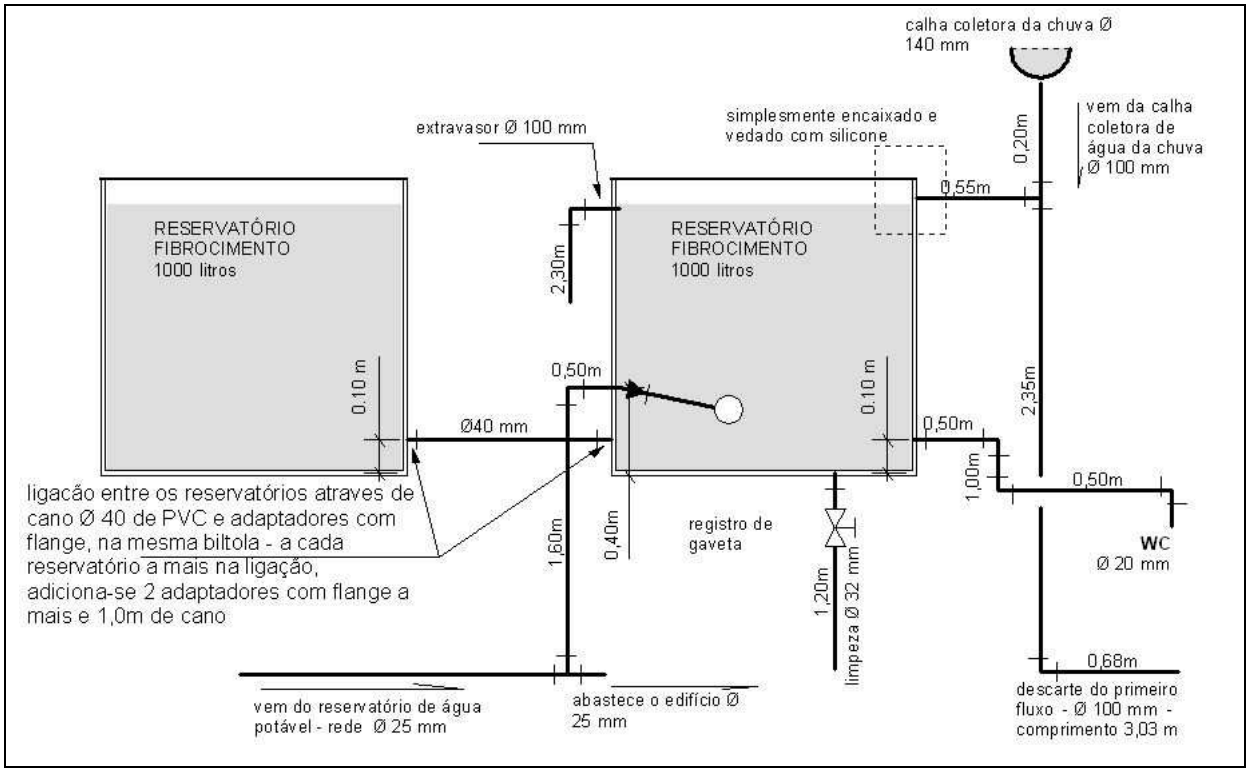


Figura 48. esquema das instalações hidráulicas para o conjunto de dois reservatórios de 1000 litros, em fibrocimento.

As alterações que as diferentes dimensões dos reservatórios geram nas tubulações são desprezadas por esta pesquisa, pois não afetam conexões, as quais têm maior expressividade em termos de custo, ficando assim reduzidas ao comprimento de alguns canos. Por sua vez, os canos estão disponíveis, nos estabelecimentos comerciais, em tamanho mínimo de 1m, fazendo com que as quebras geradas absorvam as diferenças de comprimento ocasionadas pelos diferentes tamanhos dos reservatórios.

8.1.2.4 Base de apoio do reservatório

As variações na base de apoio em função das dimensões do reservatório acontecem no plano horizontal. As alterações no plano vertical, que dizem respeito às alturas, ficam por conta

apenas dos reservatórios acima de 2.500 litros, que têm alturas que vão de 1,75 m até aproximadamente 2,00 m, sendo que há uma diminuição na pressão, de 0,50 m de coluna d'água, do reservatório para a entrada da caixa de descarga. Os reservatórios de acima de 5.000 litros, considerando sua possibilidade de aplicação real no Protótipo Alvorada, devem ficar apoiados em alturas compatíveis com a entrada da água, proveniente da calha, e conseqüentemente receber auxílio de bombeamento para o abastecimento da caixa de descarga.

Para esta pesquisa, calcula-se os custos de implantação destes reservatórios sem considerar esta limitação. Os resultados destes cálculos, específicos aos reservatórios de 7.000 e 10.000 litros, são apresentados a fim de auxiliar na comparação com outros volumes, principalmente em torno do comportamento dos reservatórios, em função da distribuição das chuvas, e suas relações de aproveitamento e custo, bem como para subsídio de considerações a respeito dos benefícios à drenagem urbana.

Para os demais reservatórios, conforme colocado anteriormente, os cálculos afetam a base em suas dimensões horizontais, segundo composições de orçamento apresentado no apêndice B.

As chapas de madeira são necessárias para apoio dos reservatórios plásticos e de fibra-de-vidro, sendo que por causa de suas dimensões, é necessária uma adaptação através encaixe especial de corte, conforme apresentada anteriormente na figura 42, sendo considerada adequada a todos os reservatórios.

Os traços de argamassa de assentamento das alvenarias, bem como do solo-cimento, são considerados os mesmos para todos os reservatórios, independendo do material ou volume do mesmo.

É realizada, para esta pesquisa, apenas uma estimativa de dimensionamento e especificação dos elementos estruturais da base de apoio. Desta forma, a fim de se aproximar de condições reais, recomenda-se que sejam realizados cálculos estruturais e verificadas as especificações aqui apresentadas.

8.1.3 Custo e economia gerada

A partir dos resultados dos orçamentos descritos nos itens anteriores e constantes no apêndice B, realiza-se uma tabulação dos custos relacionados à implantação do sistema, para os diferentes reservatórios, considerando as variações que os mesmos geram no restante das instalações. A figura 49 apresenta estes dados e os relaciona com o tempo médio de retorno do investimento, pela diminuição na conta de água.

Para tanto são calculados os volumes mensais de água da chuva consumidos, e multiplicados pelo preço da água ao consumidor, dado por DMAE (2003b), estabelecido de acordo com 3 (três) faixas de consumo, conforme fórmulas de cálculo a seguir:

a) 1ª faixa - consumos até 20m³: [PB x (C/E)];

b) 2ª faixa - consumos entre 20 e 1.000 m³: PB [0,2711 X $(C/E)^{1,43577}$];

c) 3ª faixa - consumos maiores que 1.000 m³: {PB X [(C/E) X 5,5]}.

onde**:**

PB = preço básico (R$/1m³);

C = consumo (m³);

E = (número de economias).

O preço básico, também segundo DMAE (2003b), é de R$ 1,3917/m³ para consumidores residenciais, R$ 1,5748/m³ para comercio e industrias e R$ 2,7834/m³ para órgãos públicos. Existe ainda a chamada tarifa social, para os serviços de água e esgoto, para pequenos consumidores com volumes consumidos de até 10 m³, que é de R$ 5,5668 mensal para água e R$ 4,4534 para o esgoto.

O tempo de retorno não considera o custo financeiro do valor aplicado, ou seja, despreza projeções de juros nos tempos calculados, constantes na última coluna da tabela da figura 49, de retorno do investimento.

reservatório		valor					Vol d'água economizado médio mensal (m³)		Economia mensal em conta d'água		Retorno (anos)	
	vol. (litros)	mão-de-obra*	material	inst***	total		Bacias convencionais	Bacias volume reduzido			Bacias convencionais	Bacias volume reduzido
		R$	R$	R$	R$	CUB			R$	CUB		
fibra-de-vidro	2000,0	100,0	397,2	689,89	1187,08	1,64	4,5302	3,6123	6,30	0,0087	15,7	19,7
	5000,0	120,0	751,0	806,38	1677,38	2,31	5,0833	4,0998	7,07	0,0098	19,8	24,5
	7000,0	125,0	973,0	864,58	1962,58	2,71	5,1775	4,2443	7,21	0,0099	22,7	27,7
	10000,0	130,0	1474,0	864,58	2468,58	3,40	5,2272	4,3195	7,27	0,0100	28,3	34,2
Polieti-leno	2500,0	100,0	846,6	692,06	1638,64	2,26	4,7120	3,7458	6,56	0,0090	20,8	26,2
	5500,0	120,0	1593,4	811,92	2525,27	3,48	5,1150	4,1423	7,12	0,0098	29,6	36,5
	10000,0	130,0	2200,0	927,65	3257,65	4,49	5,2272	4,3195	7,27	0,0100	37,3	45,2
Fibroci-mento*	2000,0	110,0	240,6	1021,26	1371,82	1,89	4,5302	3,6123	6,30	0,0087	18,1	22,7
	3000,0	130,0	360,8	1406,68	1897,52	2,62	4,8289	3,8520	6,72	0,0093	23,5	29,5
	5000,0	150,0	601,4	1990,56	2741,96	3,78	5,0833	4,0998	7,07	0,0098	32,3	40,0
	6000,0	170,0	721,7	2266,93	3158,61	4,35	5,1418	4,1840	7,16	0,0099	36,8	45,2
concreto	2900,0	380,0	808,5	372,41	1560,87	2,15	4,8108	3,9771	6,70	0,0092	19,4	23,5
	4900,0	550,0	1151,3	483,53	2184,88	3,01	5,0763	4,0908	7,06	0,0097	25,8	32,0
	6200,0	620,0	1328,3	539,21	2487,54	3,43	5,1515	4,1996	7,17	0,0099	28,9	35,5

R$ 725,46	R$ 1,39
CUB-outubro 2003	água/m³

* volumes resultantes da ligação de reservatórios de 1000 litros

** relativa às instalações hidráulicas (tubulações e conexões) e, no caso dos reservatórios de concreto, à construção do mesmo

*** relativo ao material de todas as instalações necessárias e também à mão-de-obra para a base de apoio dos reservatórios

Figura 49. totalização do custo do sistema considerando diferentes possibilidades de reservatórios e amortização, do mesmo, pela economia em conta d'água gerada, considerando bacias convencionais e de volume reduzido.

Não é objeto desta pesquisa uma apuração real do retorno financeiro gerado pela aplicação do sistema, mas sim uma aproximação, com o objetivo de ilustrar o potencial do sistema e subsidiar comentários a respeito das possibilidades e benefícios gerados por sua implantação.

8.2 BENEFÍCIOS INDIRETOS

Além dos benefícios apresentados pelo item anterior, concernentes ao consumo de água na edificação, existem outros, que se referem à escala urbana. Conforme visto em 4.1, sob o ponto de vista da drenagem urbana, a reservação residencial de água da chuva, ou a pequena reservação, consiste em uma medida estrutural para mitigação de problemas de inundação, que trabalha com a minimização do pico das cheias, diminuindo os efeitos da urbanização no hidrograma da bacia natural (figura 6). Neste caso faz-se a reservação durante os períodos de maior intensidade pluviométrica e descarta-se a água reservada em outro momento, distribuindo o volume de escoamento superficial por um período de tempo maior. São Paulo (1979) coloca que, dependendo do período de tempo envolvido, o armazenamento pode ser de detenção ou de retenção do deflúvio direto. A detenção é caracterizada por um armazenamento que dura pouco mais do que o tempo do próprio deflúvio direto, ao passo que na retenção este período é consideravelmente maior, gerando invariavelmente maiores volumes de reservação, o que contribui para que o primeiro tipo seja mais comumente utilizado para a drenagem urbana.

Em uma primeira análise, o simples descarte da água, no entanto, pode parecer desperdício, visto seu grande potencial de utilização. Porém, sob o ponto de vista da drenagem urbana, é necessário que o reservatório esteja sempre vazio, ou tenha capacidade plena para reservar ou deter a água, estando permanentemente habilitado para o próximo evento chuvoso. Quando a intenção é que não falte água no reservatório para o abastecimento do usuário, o risco de extravasamento durante as chuvas torna-se maior, pois é normalmente dimensionado para atender apenas à demanda de consumo de água, inabilitando-o para função auxiliar no controle de inundações urbanas. Ou seja, enquanto para o usuário a preocupação é o período sem chuva, para o urbano, é exatamente o contrário, atentando para os picos das chuvas. Desta forma, os cálculos de dimensionamento do reservatório de ambos, como são realizados na maioria dos casos, buscam metas quase opostas.

Porém, é possível realizar o dimensionamento do reservatório a fim de torna-lo apto a atender ambas funções, de reservação para uso residencial e retenção dos picos de chuva, contribuindo para a mitigação das inundações urbanas. Um gráfico de análise do comportamento do reservatório, por exemplo, como o constante no apêndice A, que

demonstre todos os pontos de extravasamento do reservatório, em um período de tempo determinado, pode fornecer os subsídios necessários ao cálculo do volume final de um reservatório, que atenda ao urbano e ao individual, simultaneamente. No caso da edificação do estudo experimental, o reservatório de 10.000 litros apresenta um volume e uma freqüência de extravasamento, bastante pequenos, retendo quase o total da água captada pelo telhado no período, retirando esta água do sistema de drenagem urbano.

Maneiras de promover uma aproximação destas duas potencialidades, do sistema de captação e aproveitamento de água da chuva, têm sido experimentadas em alguns lugares do mundo. Segundo Tomaz (2001), na cidade alemã de Hamburgo, por exemplo, a utilização de água da chuva em bacias sanitárias é incentivada, também em função do seu benefício para a diminuição do pico das vazões de enchentes. A prefeitura da cidade oferece uma ajuda financeira de U$ 1.500,00 a U$ 2.000,00 àqueles que instalarem um sistema de aproveitamento da água da chuva.

Incentivos como este se baseiam em uma lógica de economia para ambos os lados. Enquanto o usuário ganha com a diminuição dos custos de implantação do sistema, a municipalidade se beneficia com a minimização dos investimentos em drenagem urbana. Resumidamente, tem-se de um lado, o problema urbano com relação à drenagem, que recomenda, e em alguns casos exige, a construção de reservatórios de detenção das águas das chuvas e de outro, o custo ao usuário, que sistemas eficientes de aproveitamento desta água, apresentam.

No entanto, o estabelecimento de números precisos em torno da economia em drenagem urbana gerada pelo sistema, se faz necessário, sobretudo em cidades de países subdesenvolvidos como o Brasil, que têm orçamentos reduzidos. Conforme visto anteriormente, os custos com a implantação do sistema são significativamente menores para os volumes de reservação mais reduzidos, que apresentam, no entanto, extravasamentos mais freqüentes e maiores, indo de encontro ao benefício pretendido pela escala urbana, para a diminuição dos picos de inundação. Desta maneira, é possível concluir que maiores reservatórios apresentam também um maior potencial para atender às duas escalas. Porém, por sua vez, envolvem custos de implantação, mais expressivos.

Uma lei municipal paulistana, a Lei nº 13.276/03, segundo já apresentado anteriormente, obriga lotes com área impermeabilizada superior a 500m², a terem reservatórios para acumulação de águas pluviais, como condição para obtenção de certificado de conclusão ou

auto de regularização, que são documentos exigidos por outra lei, desde 1992. Em seu artigo segundo, parágrafo segundo, a lei declara, conforme Diogo (2003): "a água contida pelo reservatório deverá preferencialmente infiltrar-se no solo, podendo ser despejada na rede pública de drenagem após uma hora de chuva ou **ser conduzida para outro reservatório para ser utilizada para finalidades não potáveis**". A recomendação em relação à condução do volume reservado a outro reservatório, para fins de utilização da água, expressa a preocupação com a disponibilidade do primeiro, para a detenção da próxima chuva. O cálculo para dimensionamento do reservatório, previsto na lei, não é, neste sentido, desenvolvido visando uma utilização da água, o que proporciona volumes relativamente reduzidos, se comparados aos cálculos de reservatórios de chuva para consumo.

Por exemplo, para uma área impermeabilizada de 500 m², a lei paulistana obriga um volume de 4.500 litros. No Protótipo Alvorada, com 58,2 m² de telhado, o número ótimo para suportar secas com período de retorno de 5 anos é de 4.900 litros. A fórmula de cálculo prevista pelo artigo segundo da mesma lei, conforme expressa abaixo, contempla somente os objetivos concernentes à drenagem urbana.

$$V = 0{,}15 \times Ai \times IP \times t \qquad \text{(equação 5)}$$

Onde:

V = volume do reservatório (m³)

A i= Área impermeabilizada (m²)

IP = índice pluviométrico igual a 0,06 m/h

t = tempo de duração da chuva igual a uma hora

Se por um lado a abordagem que gera esse dimensionamento auxilia o proprietário ou empreendedor para amenizar os custos de execução, por outro não oferece vantagens diretas, em contrapartida ao proprietário, como a possibilidade de utilização da água deste reservatório. Operacionalmente, uma medida como esta pode ser comparada a uma tarifa especial, destinada a obras de drenagem urbana, conforme apresentam Marcon e Vaz Júnior (1999 apud BATISTA; NASCIMENTO, 2003) anteriormente. Estes autores afirmam que no município de Santo André, em São Paulo, foi estabelecida uma tarifa para fazer face aos

custos de operação e manutenção dos serviços de drenagem, adotando-se como base física a área coberta dos imóveis, a partir de dados extraídos do cadastro municipal dos imóveis.

Pensar a possibilidade técnico-econômica e administrativa da viabilização de um sistema que atenda ambas as demandas, individual e urbana, significa objetivar uma solução mais sustentável, e que cumpre múltiplos objetivos simultaneamente, segundo recomenda Lyle (1994). Desta forma, a fim de se vislumbrar o aspecto econômico da soma destas potencialidades do sistema de captação de água da chuva, buscam-se relativizações que expressem a contribuição dos telhados, no dimensionamento da rede de drenagem urbana.

Os cálculos de dimensionamento das redes de micro e macrodrenagem consideram as vazões de pico com determinados períodos de retorno, que segundo Tassi (2002), são recomendados em 5 e 10 anos respectivamente. Essas vazões, por sua vez são calculadas a partir de equações que levam em consideração, entre outros, os coeficientes de escoamento, as áreas impermeáveis e os números de chuva, tratados estatisticamente. As áreas impermeáveis dizem respeito principalmente às ruas, calçadas e aos lotes. Neste sentido, Tassi (2002) realiza, também, uma simulação a fim de levantar o acréscimo na vazão de pico, causado exclusivamente pelos lotes impermeabilizados, e afirma que foi de 7,7 vezes para 5 anos de tempo de retorno e de 5,6 vezes para 10 anos de anos de tempo de retorno, sendo que considera um lote com 51% de área impermeável, incluindo o telhado e a calçada na frente do mesmo.

O sistema proposto na presente pesquisa, no entanto, considera a captação, armazenamento e **aproveitamento** somente da chuva incidente nos telhados das edificações, sendo necessário uma restrição somente a esta contribuição específica. Neste sentido o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental (PDDUA) de Porto Alegre, através da taxa de ocupação, instrumento que controla o percentual de terreno coberto pela construção, pode em uma primeira análise, contribuir para uma estimativa, em torno da responsabilidade dos telhados no total das vazões de pico, uma vez que é explorado ao máximo, pelos empreendedores, na maioria dos casos.

Conforme pode ser observado no anexo 7.1 do PDDUA de Porto Alegre (PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE, 1999), a maior parte da superfície urbana da cidade responde a uma taxa de ocupação que fica entre 66,6% e 90%. Salvo as áreas rural e agro-rural que tem o máximo de ocupação fixado em 20% e 50%, respectivamente, e mais algumas

outras, referentes às áreas especiais de interesse, como por exemplo a institucional, a cultural, a social e a de proteção ao ambiente natural, que têm regimes especiais para elas, todo o resto da cidade enquadra-se na faixa de ocupação acima de dois terços.

Imaginando-se então, para fins de uma estimativa preliminar, um percentual de terreno ocupado pela edificação de 66,6%, o acréscimo de vazão no sistema de drenagem urbano, em função dos telhados, seria maior que a simulada por Tassi (2002). A conseqüência dimensional deste acréscimo nas redes de micro e macrodrenagem e, principalmente, sua tradução econômica, também são apontados por Tassi (2002), que afirma ser possível reduzir o custo de implantação das redes de drenagem na bacia. A economia percentual com relação exclusivamente à implantação das redes de drenagem, segundo a autora, pode chegar a 33%, considerando-se a meta de obtenção de uma vazão de saída do lote igual à de pré-urbanização, e a 14%, considerando-a com um valor cinco vezes maior ao da vazão do terreno virgem.

Contudo, a autora completa, afirmando que embora seja possível economizar com a implantação das redes de drenagem, o custo global das obras na bacia (redes de drenagem + microrreservatórios), fica em geral maior, chegando a 21% de elevação, dependendo das características dos microreservatórios utilizados, se comparado aos custos de construção de uma rede de drenagem dimensionada para as vazões geradas na bacia urbanizada sem controle. Porém, é importante observar que a autora realiza um levantamento de custo do sistema de detenção considerando reservatórios de concreto armado e de alvenaria com fundo e tampa em concreto armado Estas tecnologias não apresentam bom desempenho em custo, se comparadas a reservatórios em outros materiais como fibra de vidro e fibrocimento, conforme visto anteriormente. Além disto, a própria autora adverte que, como estruturas de controle não são comumente exigidas na bacia, os processos decorrentes da urbanização deverão ser seguidos de obras de ampliação das redes de drenagem.

Outro aspecto importante economicamente é o tempo. Como a urbanização da bacia não acontece de forma pontual, os custos de implantação de microreservatórios ficariam também distribuídos conforme a necessidade, ao contrário das obras de drenagem. E existem ainda, casos onde não é possível ou então é muito onerosa uma construção ou ampliação de redes de drenagem, quando, por exemplo, não existe espaço físico disponível para tal, ou há interferência com outras redes de infra-estrutura como eletricidade, telefonia, esgoto cloacal, etc.

Em Porto Alegre, o montante de recursos aplicados em conservação e investimentos, nos últimos doze anos, é bastante expressivo, como demonstra a figura 50, abaixo.

A N O	OBRAS Rec. Próprios	OBRAS Financ.	TOTAL Obras	CONSERVAÇÃO	Nº Obras
1989 NCz$	866.913,87	8.331,00	875.244,87	2.071.497,44	
U$	229.616,54	8.331,00	237.947,54	768.338,22	2
1990 Cr$	1.903.169,00	139.026.870,00	140.930.039,00	227.148.710,00	
U$	25.966,00	1.252.573,00	1.278.539,00	2.642.203,00	2
1991 Cr$	350.376.171,00	1.600.480.794,00	1.950.856.965,00	998.825.351,00	
U$	611.599,00	2.900.096,00	3.511.695,00	2.254.647,00	10
1992Cr$	8.255.614.298,00	10.382.253.223,00	18.637.867.521,00	6.662.614.614,00	
U$	1.431.611,00	1.903.755,00	3.335.366,00	1.403.952,00	53
1993CR$	21.976.034,00	255.903.774,00	277.879.808,00	155.666.162,00	
U$	352.515,00	1.279.946,00	1.632.461,00	1.320.552,00	27
1994R$	2.457.131,00	2.506.930,00	4.964.061,00	3.984.010,00	
U$	2.930.720,00	3.621.753,00	6.552.473,00	5.236.924,00	46
1995R$	1.581.577,00	178.160,00	1.759.737,00	2.103.901,00	
U$	1.749.427,00	196.773,00	1.946.200,00	2.270.073,00	39
1996R$	3.750.379,00	0,00	3.750.379,00	2.984.727,00	
U$	3.723.848,00	0,00	3.723.848,00	2.985.109,00	26
1997R$	1.888.597,00	333.376,00	2.221.973,00	3.348.729,00	
U$	1.725.986,00	298.724,00	2.024.710,00	3.103.080,00	17
1998R$	2.582.075,00	7.492.761,00	10.074.836,00	3.584.080,00	
U$	2.202.617,00	6.368.432,00	8.571.049,00	3.095.300,00	34
1999R$	3.237.216,00	4.119.493,00	7.356.709,00	2.906.714,00	
U$	1.771.257,00	2.301.410,00	4.072.667,00	1.774.806,00	40
2000R$	1.254.264,00	1.895.448,00	3.149.712,00	2.717.945,00	
U$	683.015,00	1.063.499,00	1.746.514,00	1.492.307,00	41
2001 R$	901.757,00	5.537.614,00	6.439.371,00	2.934.251,00	
U$	381.646,00	2.520.823,00	2.902.469,00	1.225.057,00	33
2002 R$	1.551.529,00	3.103.282,00	4.654.811,00	3.876.528,00	
U$	597.821,00	1.079.976,00	1.677.797,00	1.485.263,00	20
2003 R$	1.596.054,00	665.429,00	2.261.483,00	297.830,00	
até abril U$	462.292,00	196.652,00	658.944,00	89.444,00	17
TOTAL Us$			**43.872.679,54**	**31.147.055,22**	**407**

Figura 50: Conservação e investimentos em obras de drenagem em Porto Alegre (DEP, 2003b).

Imaginando-se uma economia percentual, conforme sugerida por Tassi (2002), de 33%, apenas nos investimentos em novas obras, que se referem principalmente ao crescimento e ao adensamento da cidade, que aumenta a área impermeável e o nível de impermeabilidade, o total de recursos economizados, em Porto Alegre no ano de 2002, seria de U$ 553.673,01. Especulando-se a possibilidade do estabelecimento de um auxílio advindo da municipalidade

de U$ 600,00, por exemplo, para a implantação de um sistema com volume suficiente para garantir ambos os benefícios, 922.000 lotes poderiam receber o incentivo.

Aplicando-se a possibilidade de benefício para a edificação do estudo experimental, na qual o volume de 10.000 litros provavelmente confira um bom desempenho para a função de retenção dos picos de vazão, e se aproxima muito de 100% de desempenho para atender à demanda de água na caixa de descarga, tem-se que:

a) o custo do sistema é de U$ 803,20 - considerando um reservatório de fibra de vidro;

b) o investimento do usuário fica de U$ 203,20;

c) em aproximadamente 6 anos e 9 meses, não considerando custos financeiros, o usuário tem o retorno do investimento - após este prazo, continuaria a obter ganhos com a economia em água, gerada.

Contudo, é relevante que, possivelmente muitas das obras às quais destinam-se os recursos expressos na figura 50, constituam obras de recuperação de capacidades de drenagem, que não podem ser computadas na economia gerada pelo sistema, inclusive porque algumas se fazem em áreas já urbanizadas, onde as restrições à construção de microreservatórios de retenção, são maiores. Esta possibilidade poderia reduzir o montante de recursos, hipoteticamente liberados pela diminuição nas vazões de pico, a partir da implantação do sistema nas edificações.

Por isso ressalta-se a importância da realização de estudos aprofundados neste sentido, de maneira a verificar o potencial dos sistemas de captação e utilização de água da chuva, como uma solução simples, a múltiplos problemas.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observando-se o objetivo principal desta dissertação, ou seja, caracterização de benefícios diretos e indiretos da implementação de sistema de aproveitamento de água da chuva para fins residenciais na área urbana de Porto Alegre, considera-se que o mesmo foi atingido.

Da mesma forma, os objetivos secundários firmados para que fosse possível alcançar o objetivo principal, foram observados e alcançados no desenvolvimento do trabalho. A caracterização das variáveis que envolvem o dimensionamento de sistemas de coleta e armazenamento de água de chuva destinada a usos não potáveis foi realizada; a catalogação dos principais tipos de sistemas e seus componentes, destinados à coleta e armazenamento de água de chuva foi registrada e, finalmente, caracterização do potencial de chuvas de Porto Alegre, para a captação de água da chuva para fins residenciais, foi estudada.

O estudo dos benefícios diretos, nesta pesquisa examinados primordialmente sob o viés econômico, demonstrou, principalmente, que a grande disponibilidade de água em Porto Alegre, que felizmente chega às residências por um custo bastante baixo, é paradoxalmente o maior entrave à implantação de sistemas de captação e aproveitamento de água da chuva. Tal facilidade de acesso à água também gera situações cotidianas de desperdício, facilmente observadas nos usos e costumes da população, como por exemplo, lavagem de calçadas e carros, rega de jardins e descuidos com fugas de água na rede.

Mesmo considerando que o consumo de água na bacia sanitária é significativo no consumo total de uma residência, a economia média mensal no valor das despesas com água ficou entre R$ 6,30 e R$ 7,27, eliminando-se 67,1% do consumo da bacia sanitária, ou 21,5% do consumo total da edificação. Isto permite concluir que, mesmo aumentado a área de captação, conseguindo uma economia de 32%, correspondente ao total para a bacia sanitária, o tempo de retorno do investimento ainda não chegaria a patamares atraentes ao usuário urbano médio. Além disto, na hipótese, por exemplo, de se estender a aplicação da água da chuva a outros pontos como, a torneira de jardim e o tanque, o que corresponderia a aproximadamente 50% do consumo total do edifício, a economia mensal, preliminarmente, ficaria em torno dos quinze reais, proporcionando um retorno estimado não inferior a seis anos e meio, para a edificação do estudo experimental. Ou seja, apesar de serem importantes aqueles dados

relativos à proporção entre área de captação e população, ao consumo ou números de pontos atendidos, e até mesmo ao dimensionamento do reservatório, o benefício econômico do sistema, sob o ponto de vista do usuário, possivelmente continuará sendo minimizado, ou mesmo eliminado, pelo baixo custo da água em Porto Alegre.

Paralelamente se observa o problema das inundações urbanas e os reservatórios de detenção como uma das soluções bastante utilizadas para a mitigação dos mesmos. No entanto, tais reservatórios tem sido estudados, desenvolvidos e executados a partir do ponto de vista exclusivo da drenagem urbana que, na bibliografia examinada, não considera mais profundamente a possibilidade de reservação da água detida, para utilização posterior. A pesquisa identificou, neste sentido, um grande potencial do sistema de captação e utilização de água da chuva como auxiliar na drenagem urbana.

Dados demonstram os significativos gastos públicos com o sistema de drenagem na cidade de Porto Alegre o que leva a consideração de importante possibilidade de economia para os cofres públicos através do incentivo à construção de sistemas para captação e utilização de água da chuva. Para novas obras, na maioria decorrentes do avanço da urbanização e do aumento das áreas impermeáveis, se poderia conseguir uma redução significativa dos investimentos, através da implantação de sistemas de captação e utilização de água da chuva de forma abrangente.

A economia em novas obras para o ano de 2002, calculada a partir de dados de Tassi (2002), reforçam fortemente o potencial da implantação de um incentivo público à construção de sistemas de utilização da água da chuva. Este incentivo pode gerar economia para a municipalidade e, ao mesmo tempo maximizar o benefício direto, diminuindo sensivelmente o tempo de retorno do investimento do usuário, por sua vez, significativamente menor. Um levantamento mais apurado, neste sentido, em torno da possível economia gerada aos cofres do município, poderia determinar um valor preciso para o incentivo ou bônus, em função, por exemplo, do percentual de retenção de chuva que o sistema confere, possibilitando uma solução simples e plural.

Esta abordagem, além de ser potencialmente mais passível de sucesso, pois confere ganhos para os âmbitos público e privado, aproxima-se mais da filosofia sustentável, considerando múltiplas soluções e gerando possibilidades educacionais e sociais, e o que mais puder ser

imaginado de uma hipótese genérica de aplicação de sistemas de captação e utilização de água da chuva no meio urbano.

Entretanto, a fim de desenvolverem-se soluções mais amplas e precisas, que contribuam para uma aproximação do tema à realidade, recomenda-se alguns estudos complementares, pois, por exemplo, a pesquisa tratou dos dados de consumo de forma genérica, conforme recomendado pelo Departamento Municipal de Águas e Esgotos, sobre números teóricos, calculados para o consumo geral da edificação, podendo gerar alterações importantes em relação ao comportamento real. Além disto, os cálculos de chuva e potencial de captação foram montados sobre um período relativamente reduzido, e sobre números teóricos relativos ao coeficiente de escoamento, podendo gerar também sensíveis diferenças para os números resultantes desta pesquisa. Portanto recomenda-se a realização de um estudo de observação de uma situação real, a fim de estabelecer números mais confiáveis, aplicáveis a Porto Alegre. Este tipo de estudo poderia fornecer também dados relativos aos custos de manutenção, durabilidade, qualidade da água, e outros, para os diferentes tipos de reservatórios estudados.

A pesquisa considerou apenas as possibilidades mais facilmente associadas, para materiais componentes dos reservatórios, em meio urbano. Desta forma, recomenda-se também a exploração em torno de outros materiais, como, por exemplo, a argamassa armada, ou ainda outros, citados ou não na pesquisa, que possam trazer benefícios de qualquer ordem ao sistema. De mesma forma, com relação ao cálculo do tempo de retorno do investimento, para o estudo do benefício direto, não foram considerados os custos financeiros, envolvidos na imobilização dos recursos, durante os diferentes tempos para os diferentes reservatórios. Esta consideração deve ser avaliada a fim de obter-se um levantamento mais próximo do real.

Recomenda-se também estudos que busquem a união, esboçada nesta pesquisa, entre os benefícios diretos e os indiretos, ou seja, pesquisas que subsidiem a municipalidade para tomadas de decisões com relação a incentivos para a construção de sistemas para retenção de chuva e seu aproveitamento. Neste sentido, é recomendável a investigação em torno da contribuição dos telhados para o dimensionamento das redes de drenagem urbana, e por conseqüência de seu custo financeiro ao município. Ferramentas que permitam, por exemplo, a obtenção de um número de reais a ser premiado, para cada metro quadrado de telhado a captar a chuva. Para tanto, certamente muitos estudos em engenharia de recursos hídricos deverão ser realizados a fim de desenvolverem-se parâmetros e dados que permitam a existência das mesmas, em situações reais.

REFERÊNCIAS

2002VEENHUNIZEN, R.; PRIETO-CELI, M. Introducción. In: ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN. **Manual de captación e aprovechamiento del água de lluvia:** experiencias en américa latina. Série: zonas áridas e semi-áridas nº13. Santiago: ONU; PNUMA, 2000. Disponível em <http://www.rlc.fao.org/prior/recnat/tya.htm#manual>. Acesso em 6 abr. 2002

3P-TECHNIK. **Água limpa: temos algo a dizer**. Banco de dados disponível em: <http://www.3ptechnik.de/english/regen/saubereswasser.html>. Acesso em 19 set.2003

ABDL - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA O DESENVOLVIMENTO DE LIDERANÇAS; PROGRAMA DE CAPACITAÇÃO DE LIDERANÇAS PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO NORDESTE; II Turma: 2º seminário. Perspectivas de desenvolvimento pós RIO+10. Grupo Água Viva, Campina Grande: 2003. Disponível em: <http://www.pronord.org.br/Turma2/Textos/2semTGaguaviva.htm>. acesso em 09 ago. 2003

Agenda 21, Capítulo 18; **Proteção da qualidade e do abastecimento dos recursos hídricos:** aplicação de critérios integrados no desenvolvimento, manejo e uso dos recursos hídricos. Banco de dados disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/se/agen21/cap18.html> Acesso em 11 dez. 2003

AGRA, S. G. **Estudo experimental de microreservatórios para controle do escoamento superficial.** 2001. 122f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre

AGUA, Meio Ambiente e Vida: lições para o longo e necessário caminho de volta. JORNAL DO CREA, Brasília, mar. 2002. CREA/DF

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE: banco de dados. Documento eletrônico do microsoft word. Disponível em: http://www.ana.gov.br/GestaoRecHidricos/UsosMultiplos/arqs/P1C.doc. Acesso em 10 jun 2003

APPAN, A. Economic and Water Quality Aspects of Rainwater Catchment Systems. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON EFFICIENT WATER USE IN URBAN AREAS, INNOVATIVE WAYS OF FINDING WATER FOR CITIES, 1999, Kobe. **Anais eletrônicos…** Kobe: UNEP;IETC, 1999

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 10844: Instalações prediais de águas pluviais. 1989

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 5626: Instalação predial de água fria. Rio de Janeiro. 1998

BALDWIN, R.; YATES, A.; HOWARD, N et al. **BREEAM 98 for offices:** an enviromental assessment method for buildings. Garston, Watford: Construction Research communications (CRC) – Building Research Establishment (BRE), 1998. 36p

BATISTA M. B.; NASCIMENTO, N. O. As águas pluviais no espaço do planejamento urbano. In: **Instrumentos de Gestão das Águas:** conceitos e aplicações ao Brasil. Porto Alegre: livro em elaboração. 2003. Disponível em: <http://www.rehidro4.hpg.ig.com.br/index.htm>**.** Acesso em 08 ago. 2003

BELACALHA. Água de chuva – como funciona – residências. Banco de dados disponível em: <http://www.bellacalha.com.br/>. Acesso em 19 set. 2003

BERNAT, C.; COURCIER, R.; SABOURIN, E. **A cisterna de placas:** técnicas de construção. 2ª ed. Recife: SUDENE/DPP: FUNDAJ, Ed. Massangana, 1993

BOHARA, R. C. Rainwater Catchment in Nepal: An Answer to the Water Scarcity Problem of the Next Millennium. In: 2º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DA CHUVA E 9º CONFERÊNCIA INTERNACIONAL SOBRE SISTEMAS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DA CHUVA., 1999, Petrolina. **Anais eletrônicos...** Petrolina: ABCMAC; EMBRAPA; IRPAA; Universida Estadual da Bahia, 1999. Disponível em: <http://www.cpatsa.embrapa.br/doc/strategy/1_7_Ramesh_Bohara.doc> Acesso em: 7 mar. 2003.

BOTELHO, M. H. C. **Águas de chuva:** engenharia das águas pluviais nas cidades. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 1985

BRASIL; MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE; PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO. **Agenda 21 Brasileira** – Resultado da consulta nacional. Brasília, 2002. 156p.

BURSZTYN, M. (org.) **Ciência, ética e sustentabilidade**: desafios ao novo século. São Paulo: Cortez; Brasília, DF: UNESCO, 2001

CAMPANA, N. A. **Impacto da urbanização nas cheias urbanas**. 1995. 185f. Tese de doutorado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Porto Alegre

CAMPANA, N.; TUCCI, C.E.M. 2001. Predicting floods from urban development scenarios: Case study of the Dilúvio basin, Porto Alegre, Brazil. In: Urban Water, Oxford Vol. 3n.2 (2001) p.113-124. . Disponível em <http://www.iph.ufrgs.br/corpodocente/tucci/publicacoes/DILUVIO.PDF> Acesso em 05 set. 2003

CAMPANA, N.A.; TUCCI, C. E. M. Estimativa de área impermeável de macro-bacias urbanas. In: **RBE - Revista brasileira de engenharia**. Porto Alegre, vol.12, n.2, dezembro de 1994

CÁRITAS BRASILEIRA. **Construindo a solidariedade no semi-árido**: cisterna de placas – manual. Brasília, DF: Scala gráfica e editora, sem data. Disponível em <http://www.muda.org.br/informacoes.htm>. Acesso em 05 abr. 2003

CETHS – CENTRO EXPERIMENTAL DE TECNOLOGIAS HABITACIONAIS SUSTENTÁVEIS. Banco de dados disponível em <http://www.cpgec.ufrgs.br/norie/ceths/index2.htm> Acesso em 27 set. 2003

CHU, S.C.; LIAW, C. H.; HUANG, W. L.; HSU, S. K.; TSAI, Y. L.; KUO, J. J. The Study for Influencing Factors of Urban Rainwater Catchment System Capacity. In: 2º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DA CHUVA E 9º CONFERÊNCIA INTERNACIONAL SOBRE SISTEMAS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DA CHUVA., 1999, Petrolina. **Anais eletrônicos...** Petrolina: ABCMAC; EMBRAPA; IRPAA; Universida Estadual da Bahia, 1999. Disponível em: <http://www.cpatsa.embrapa.br/doc/agriculture/8_5_Show_Chyuan_Chu.doc> Acesso em: 7 mar. 2003.

CIÊNCIA & AMBIENTE. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria. Vol.1, n.21 (julho/dezembro 2000)

DEP – DEPARTAMENTO DE ESGOTOS PLUVIAIS; PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE. Dados de gastos anuais com obras de drenagem e conservação. Arquivo: ‘investimentos e conservação 1989-2003.xls’ [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <rafamano@3c.arq.br> em 19 set. 2003b

DEP – DEPARTAMENTO DE ESGOTOS PLUVIAIS; PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE. Dados pluviométricos diários de 1991 a 2002. Arquivo: <<Registros_Pluviômetro.zip>> [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <rafamano@3c.arq.br> em 29 maio 2003a

DIOGO, A. Vereador da cidade de São Paulo: Banco de dados disponível em <http://www.adrianodiogo.com.br/Leis%20e%20projetos/Lei13276-main.html>. Acesso em 05 abr. 2003

DMAE – DEPARTAMENTO MUNICIPAL DE ÁGUAS E ESGOTOS; PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE. Banco de dados disponível em <http://www.portoalegre.rs.gov.br/dmae/interna.asp?mst=51&proj=259&secao=753&m1=5922> Acesso em 27 nov. 2003b

DMAE. **Água**: transparência e qualidade. Banco de dados disponível em <http://www.portoalegre.rs.gov.br/dmae/interna.asp?mst=40> Acesso em 12 set. 2003a

FEWKES, A; BUTLER, D. The Sizing of Rainwater Stores Using Behavioural Models. In: 2º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DA CHUVA E 9º CONFERÊNCIA INTERNACIONAL SOBRE SISTEMAS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DA CHUVA., 1999, Petrolina. **Anais eletrônicos...** Petrolina: ABCMAC; EMBRAPA; IRPAA; Universida Estadual da Bahia, 1999. Disponível em: <http://www.cpatsa.embrapa.br/doc/technology/4_11_Alan_Fewkes.doc> Acesso em: 7 mar. 2003.

FEWKS, A. FRAMPTON, D. I. Optimizing the capacity of rainwater storage cisterns. In: 6º INTERNATIONAL CONFERENCE ON RAINWATER CATCHMANT SYSTEMS. 1993, Nairobi. **International Conference proceedings...** Nairobi: International Rainwater Catchment Systems Association, 1993. 11p.

GARDUÑO, M. A. Ancient And Contemporary Water Catchment Systems In Mexico. In: 2º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DA CHUVA E 9º CONFERÊNCIA INTERNACIONAL SOBRE SISTEMAS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DA CHUVA., 1999, Petrolina. **Anais eletrônicos...** Petrolina: ABCMAC; EMBRAPA; IRPAA; Universida

Estadual da Bahia, 1999. Disponível em: <http://www.cpatsa.embrapa.br/doc/wordwide/2_4_Manuel_Anaya.doc> Acesso em: 7 mar. 2003.

GARDUÑO, M. A. Derivación y distribución de torrentes, México 1. In: ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN. **Manual de captación e aprovechamiento del água de lluvia:** experiencias en américa latina. Série: zonas áridas e semi-áridas nº13. Santiago: ONU; PNUMA, 2000b. Disponível em http://www.rlc.fao.org/prior/recnat/tya.htm#manual. Acesso em 6 abr. 2002

GARDUÑO, M. A. Microcaptación, cultivos anuales y perenes, México . In: ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN. **Manual de captación e aprovechamiento del água de lluvia:** experiencias en américa latina. Série: zonas áridas e semi-áridas nº13. Santiago: ONU; PNUMA, 2000a. Disponível em http://www.rlc.fao.org/prior/recnat/tya.htm#manual. Acesso em 6 abr. 2002

GNADLINGER, J. Technical Presentation of Various Types of Cisterns Built in the Rural Communities of the Semiarid Region of Brazil. In: 1° SIMPÓSIO SOBRE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA NO SEMI-ÁRIDO BRASILEIRO. 1997, Petrolina. **Anais eletrônicos...** Petrolina, EMBRAPA SEMI-ÁRIDO ; IRPAA ; IRCSA, 1997. Disponível em: <http://www.aguadechuva.hpg.ig.com.br/1simposio/pal16.htm> Acesso em: 14 set. 2003.

HAWKEN, P; LOVINS A.;LOVINS H. L. **Capitalismo natural:** criando a próxima revolução industrial. São Paulo: Cultrix, 1999

HOLMES, D. A pratical, low-cost drinking water purification system. In: 6º INTERNATIONAL CONFERENCE ON RAINWATER CATCHMANT SYSTEMS. 1993, Nairobi. **International Conference proceedings...** Nairobi: International Rainwater Catchment Systems Association, 1993. 6p.

INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Modelos hidrológicos para gestão ambiental** – relatório técnico parcial, 2000. 65p

JOHN, V. M. Construção e desenvolvimento sustentável. **Qualidade na Construção-revista do Sinduscon/SP,** São Paulo, n. 23, ano III, 2000a

JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos da construção civil: contribuição para metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. 2000b. 113f. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de construção Civil, São Paulo

KINLAW, D. C. **Empresa competitiva e ecológica**: estratégias e ferramentas para uma administração consciente, responsável e lucrativa: São Paulo: Makron Books, 1997

KOBIYAMA, M.; HANSEN, S. Vantagens da utilização do sistema de coleta de água da chuva sob o ponto de vista dos aspectos hidrológico e econômico: estudo de caso em Florianópolis – SC. In: KOBIYAMA, M.; USHIWATA, T. C.; AFONSO, A. M. (org.) **Aproveitamento da água da chuva**. Curitiba: Organic Trading, 2002. cap. 5.

KOENIG, K. W. Rainwater Utilization Facilities and Equipment. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON EFFICIENT WATER USE IN URBAN AREAS, 1999, Kobe. **Anais eletrônicos...** Kobe: UNEP; IETEC, 1999. Diponível em

<http://www.unep.or.jp/ietc/Publications/ReportSeries/IETCRep9/4.paper-B/4-B-koen1.asp>. Acesso em 05 abr. 2003.

LEMOS, A. M. **O século 21 e a crise da água**. Instituto Brasil PNUMA; Comitê brasileiro do programa das nações unidas para o meio ambiente. 2003. Disponível em <www.ambiental-lab.com.br/contribuicoes/agua.PDF> Acesso em 11 dez. 2003.

LINS, L. Entidades se unem e criam o "sede zero" no semi-árido nordestino. **O Globo**, Rio de Janeiro, 06 jun. 2003. Disponível em: http://oglobo.globo.com/oglobo/especiais/fome/107093442.htm. Acesso em: 06 jun. 2003

LYLE, J. T. **Regenerative design for sustainable development**. Nova Iorque: Hohn Wiley & Sons, 1994.

MACINTYRE, A. J. **Instalações hidráulicas:** prediais e industriais. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos S.A., 1996.

MACOMBER, P. S.H. **Guidelines on rainwater catchment systems for Hawaii.** College of tropical agriculture and human resources. Manoa: University of Hawaii at Manoa, 2001. Disponível em <http://www2.ctahr.hawaii.edu/oc/freepubs/pdf/RM-12.pdf >. Acesso em 09 abr. 2003

MASCARÓ, J. L.; **Manual de loteamentos e urbanizações**. Porto Alegre: Sagra-DC Luzzato, 1994

METROPLAN. **Os rios na cidade:** as enchentes na evolução urbana da região metropolitana de Porto Alegre. Porto Alegre, 2001

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, DOS RECURSOS HÍDRICOS E DA AMAZÔNIA LEGAL. **Agenda 21 – Versão eletrônica 1.1.** Projeto PNUD BRA/94/016. Disponível em <http://www.mma.gov.br/port/se/agen21/>. Acesso em 08 ago. 2003.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Coleção Água, Meio Ambiente e Cidadania. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/cgmi/nossoamb/agua/agua/09.html>. Acesso m 06 jun 2003.

MOURA, L. A. A. **Qualidade e gestão ambiental:** sugetões para implantação das normas ISO 14.00 nas empresas. São Paulo: Editora Oliveira Mendes, 1998

OEA - ORGANIZATION OF AMERICAN STATES. UNIT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT AND ENVIRONMENT GENERAL SECRETARIAT. **Source Book of Alternative Technologies for Freshwater Augmentation in Latin America and the Caribbean**. Washington, D.C., 1997. Disponível em <http://www.oas.org/usde/publications/unit/oea59e/begin.htm#Contents>. Acesso em 10 abr. 2003.

OLIVEIRA, Y. **Uso do balanço hídrico seriado para o dimensionamento de estruturas de coleta e armazenamento de água das chuvas.** 2003 Dissertação em elaboração – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis

OPS - ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANO DA SAÚDE; OMS - ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE; AIDIS - ASSOCIAÇÃO INTERAMERICANA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL; CWWA - ASSOCIAÇÃO CARIBENHA DE ÁGUA E ÁGUAS RESIDUAIS. **Água, cada gota conta - vamos usá-la com sabedoria:** guia de trabalho sobre a água. Lima: CEPIS, 2000

OPS/CEPIS - CENTRO PAN-AMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E CIÊNCIAS DO AMBIENTE. **Água:** não ao desperdício e não à escassez. Dia interamericano da água (DIAA). Lima: CWWA; AIDIS; CEPAL; OEA; OPS/OMS; PNUMA/ORPALC, 2002.

PBQP-H - PROGRAMA BRASILEIRO DA QUALIDADE E PRODUTIVIDADE DO HABITAT: Programa Setorial da Qualidade de Louças Sanitárias para Sistemas Prediais. Relatório Setorial nº 17, abril de 2004. Disponível em: < http://www.cidades.gov.br/pbqp-h/psqs/loucas_sanitarias/relat_setor_loucas.pdf>. Acesso em 27 ago 2004

PCC/USP - DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE CONTRUÇÃO CIVIL – Universidade de São Paulo: banco de dados disponível em <http://www.reciclagem.pcc.usp.br/a_construcao_e.htm>. acesso em 13 mai. 2003.

PEARCE D.; MARKANDYA A.; BARBIER E. **Blue print for a green economy**. London: Biddles Ltd, 1994

PNUMA - PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE; MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE; IBAMA - INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Geo Brasil 2002:** perspectivas do meio ambiente no Brasil. Brasília: Edições Ibama, 2002

PORTO, M. F. A. Aspectos qualitativos do escoamento superficial em áreas urbanas. *in* Tucci, C. E. M., Porto, R. L. e Barros, M. T. (Ed.), Drenagem Urbana. Porto Alegre: ABRH - Editora da Universidade UFRGS, 1995, p. 387-428

PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE. **Lei complementar nº 434/99**: Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental de Porto Alegre. Porto Alegre: CORAG, 1999

PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE. **Lei complementar nº284/92**: código de edificações de Porto Alegre. 4ª ed. Porto Alegre: CORAG, 1999

RAUBER, V. J. **Prevenir é o melhor remédio**: sistemas de proteção contra inundações de Porto Alegre. Porto Alegre, Prefeitura Municipal de Porto Alegre, 1992

REBOUÇAS, A. C. Estratégias para se beber água limpa. In: FUNDAÇÃO PREFEITO FARIA LIMA – CEPAM. **O município no século XXI:** cenários e perspectivas. São Paulo: CEPAM, 1999. p. 199 - 215

RENÓ, D. C.; SOARES, J. V. **Modelos hidrológicos para a gestão ambiental**: relatório técnico parcial. Programa de ciência e tecnologia para gestão de sistemas, ação "métodos, modelos e geoinformação para a gestão ambiental". Brasília, DF: Ministério da Ciência e Tecnologia – Instituto de pesquisas Espaciais (INPE), 2000. 65p

RIZZO, A; GIUGNO, N.B.; FILHO, V.O. Mapa de enchentes da região metropolitana de Porto Alegre. In: I FÓRUM NACIONAL SOBRE GEOLOGIA DE MEIOS URBANOS, 1993, Porto Alegre... **Anais**. Porto Alegre: UFRGS; Assembléia Legislativa do Estado; Associação Profissional Sul-brasileira de Geólogos, 1993

ROMM, J. J. **Um passo além da qualidade:** como aumentar seus lucros e produtividade através de uma administração ecológica. São Paulo: Editora Futura, 1996

RUSKIN, R. H. Armazenagem de água em cisternas 1º parte: uma velha idéia para um mundo moderno. **Agua Latinoamérica,** México, DF, v. 1, n. 2, julho/agosto de 2001a.

RUSKIN, R. H. Coleta de água em cisternas 2º parte: dependências do gotejamento. **Agua Latinoamérica,** México, DF, v. 1, n. 3, setembro/outubro de 2001b.

RUSKIN, R. H. Manutenção de água de cisternas 3º parte: brindemos à sua saúde. **Agua Latinoamérica,** México, DF, v. 2, n. 1, janeiro/fevereiro de 2002.

SACHS, I. **Estratégias de transição para o século XXI:** desenvolvimento e meio ambiente. São Paulo: Studio Nobel - Fundação do desenvolvimento administrativo, 1993

SÃO PAULO, GOVERNO ESTADUAL; SECRETARIA DE OBRAS E DO MEIO AMBIENTE; COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL; DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. **Drenagem urbana:** manual de projeto.São Paulo,1979. 467p.

SATTLER, M.; ROSA, T. F.; SEDREZ, M. M. Conforto ambiental inserido em um contexto de sustentabilidade: um estudo de caso. In: **Ciência e ambiente**. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, nº22, janeiro/junho de 2001

SILVA E. R. A. **O curso da água na história:** simbologia, moralidade e a gestão de recursos hídricos**.** 1998. 210f. Tese (Doutorado em Saúde Pública) – Escola Nacional de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro

SILVA, S. A.; PORTO, E. R.; ANJOS, J. B.; SILVA, M. S. L.; ARANA, S. P. Microcaptación, cultivos anuales y perenes, Brasil . In: ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN. **Manual de captación e aprovechamiento del água de lluvia:** experiencias en américa latina. Série: zonas áridas e semi-áridas nº13. Santiago: ONU; PNUMA, 2000a. Disponível em http://www.rlc.fao.org/prior/recnat/tya.htm#manual. Acesso em 6 abr. 2002

SILVA, S. A.; PORTO, E. R.; ARAÚJO, F. P.; ARANA, S. P. Embalse para riego de salvación, Brasil . In: ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN. **Manual de captación e aprovechamiento del água de lluvia:** experiencias en américa latina. Série: zonas áridas e semi-áridas nº13. Santiago: ONU; PNUMA, 2000b. Disponível em http://www.rlc.fao.org/prior/recnat/tya.htm#manual. Acesso em 6 abr. 2002

SILVA, S. A.; PORTO, E. R.; LOPES, H. O. Galerias filtrantes para subirrigación, Brasil . In: ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN. **Manual de captación e aprovechamiento del água de lluvia:** experiencias en américa latina. Série: zonas áridas e semi-áridas nº13. Santiago: ONU;

PNUMA, 2000c. Disponível em http://www.rlc.fao.org/prior/recnat/tya.htm#manual. Acesso em 6 abr. 2002

SILVEIRA, A. **Análise dias secos** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <rafamano@3c.arq.br> em 14 out. 2003.

SIWI - STOCKHOLM INTERNATIONAL WATER INSTITUT. **Urgent action needed for water security:** 2002 Stockholm Statement. Recommendations from the Stockholm Water Symposia, 1998-2002. 8p.

SMET, J.; MORIARTY, P. **Rooftop Rainwater Harveting**. DGIS Policy Supporting Paper. International Water Sanitation Center (IRC). Delft, 2001. Disponível em: <http://www.irc.nl/pdf.php?file=pprainwater.pdf> acesso em: 15 fev. 2003

SOTO, G. Captación de água de lãs nieblas costeras (Camanchaca), Chile . In: ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN. **Manual de captación e aprovechamiento del água de lluvia:** experiencias en américa latina. Série: zonas áridas e semi-áridas nº13. Santiago: ONU; PNUMA, 2000c. Disponível em http://www.rlc.fao.org/prior/recnat/tya.htm#manual. Acesso em 6 abr. 2002

SPERB, M. **Avaliação de tipologias habitacionais a partir da caracterização de impactos ambientais relacionados a materiais de construção**. 2000.149f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre

STARUCK, J. **Custos 2002:** reajuste de tarifa. DMAE – DEPARTAMENTO MUNICIPAL DE ÁGUAS E ESGOTOS; COP – COORDENAÇÃO DE PLANEJAMENTO. Polígrafo interno de apresentação de resultados. Porto Alegre, 2003

TASSI, R. **Efeito dos microrreservatórios de lote sobre a macrodrenagem urbana**. 2002. 142f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre

TEXAS WATER DEVELOPMENT BOARD; CENTER FOR MAXIMUM POTENCIAL BUILDING SYSTEMS. **Texas Guide to Rainwater Harvesting.** 2ª ed. Austin: B. Hoffman; K. Heroy; J. Hopkins (ed.), 1997

THOMAS, T. Escolha de Cisternas para Captação de Água de Chuva no Sertão. In: 3º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DA CHUVA, 2001, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: ABCMAC; EMBRAPA; IRPAA; Universidade Estadual da Bahia, 2001

TOMAZ, P. **Aproveitamento de água da chuva:** aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não potáveis. São Paulo: Navegar Editora, 2003

TOMAZ, P. **Economia de água para empresas e residências:** um estudo atualizado sobre o uso racionasl da água. São Paulo: Navegar Editora, 2001

TUCCI, C. E. M.; HESPANHOL, I.; CORDEIRO NETTO, O. M. **Gestão da água no Brasil**. Brasília: UNESCO, 2001

TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L.; BARROS, M. T. (org.) **Drenagem Urbana.** 1ª ed. Porto Alegre: ABRH/Editora da Universidade, 1995

UFRGS - UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL; PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE; INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Atlas Ambiental de Porto Alegre**. Porto Alegre: Editora da Universidade, 1998

UNEP - International Lake Enviromment Committee. **The polution of lakes and reservoirs**. UNEP, 1994. 35p. : 12

UNESCO-WWAP. The World Water Development Report: **Water for People, Water for Life**. Executive Sumary. 2003. 35p.

VALE, R., VALE B. **The new autonomous house.** Londres, Thames & Hudson Ltd, 2000

VEENHUNIZEN, R. Captación externa. In: ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN. **Manual de captación e aprovechamiento del água de lluvia:** experiencias en américa latina. Série: zonas áridas e semi-áridas nº13. Santiago: ONU; PNUMA, 2000a. Disponível em <http://www.rlc.fao.org/prior/recnat/tya.htm#manual>. Acesso em 6 abr. 2002

VEENHUNIZEN, R. Sistemas de inundación. In: ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN. **Manual de captación e aprovechamiento del água de lluvia:** experiencias en américa latina. Série: zonas áridas e semi-áridas nº13. Santiago: ONU; PNUMA, 2000b. Disponível em <http://www.rlc.fao.org/prior/recnat/tya.htm#manual>. Acesso em 6 abr.

VIEIRA, P. F.; WEBER, J. (org.) **Gestão de recursos naturais renováveis:** novos desafios para a pesquisa ambiental. 2ª ed. São Paulo: Cortez, 2000

VILLANUEVA, N. O. A.; TASSI, R.; ALLASIA, D. G. **Planos diretores de drenagem urbana:** Os casos de Porto Alegre e Caxias do Sul. Banco de dados disponível em: <http://www.iph.ufrgs.br/gerenciarede/servicos/producao/file.asp?num=42&type=application/pdf> Acesso em 05 set. 2003

WALLER, D. H.; PALOHEIMO, R.; SCOTT, R. S.; LECRAW, R.; TOWNSHEND, A. R. Rainwater as a Source in an Innovative Urban Dwelling. In: 2º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DA CHUVA E 9º CONFERÊNCIA INTERNACIONAL SOBRE SISTEMAS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DA CHUVA, 1999, Petrolina. **Anais eletrônicos...** Petrolina: ABCMAC; EMBRAPA; IRPAA; Universidade Estadual da Bahia, 1999. Disponível em: < http://www.eng.warwick.ac.uk/ircsa/pdf/9th/09_02.pdf > Acesso em: 10 junho. 2003.

WARWICK - THE UNIVERSITY OF WARWICK. Domestic Roofwater Harvesting Research Programe. Report A1: Current technology for storing docdmestic rainwater (part 1). Warwick, 1999. Disponível em <http://www.eng.warwick.ac.uk/dtu/rwh/eudocs/a1.pdf>. Acesso em 05 jul. 2003.

Apêndice a – balanço reservatório 5000 litros

PARTE DA PLANILHA DE CÁLCULO – FINS ILUSTRATIVOS

Estudo exploratório - balanço de reservatório de água da chuva tabela de cálculo - 5000 litros

data	mm	volume no reservatório da chuva	volume da rede consumido	volume da chuva consumido	volume extravasado absoluto	volume extravasado gráfico
01/01/91		0,0	0,0	0,0	0,0	5000,0
02/01/91		0,0	-256,0	0,0	0,0	5000,0
03/01/91		0,0	-256,0	0,0	0,0	5000,0
04/01/91		0,0	-256,0	0,0	0,0	5000,0
05/01/91		0,0	-256,0	0,0	0,0	5000,0
06/01/91		0,0	-256,0	0,0	0,0	5000,0
07/01/91		0,0	-256,0	0,0	0,0	5000,0
08/01/91		0,0	-256,0	0,0	0,0	5000,0
09/01/91		0,0	-256,0	0,0	0,0	5000,0
10/01/91		0,0	-256,0	0,0	0,0	5000,0
11/01/91		0,0	-256,0	0,0	0,0	5000,0
12/01/91		0,0	-256,0	0,0	0,0	5000,0
13/01/91		0,0	-256,0	0,0	0,0	5000,0
14/01/91		0,0	-256,0	0,0	0,0	5000,0
15/01/91		0,0	-256,0	0,0	0,0	5000,0
16/01/91	1,9	0,0	-162,0	94,0	0,0	5000,0
17/01/91		0,0	-256,0	0,0	0,0	5000,0
18/01/91		0,0	-256,0	0,0	0,0	5000,0
19/01/91		0,0	-256,0	0,0	0,0	5000,0
20/01/91		0,0	-256,0	0,0	0,0	5000,0
21/01/91	9,6	218,9	0,0	256,0	0,0	5000,0
22/01/91		0,0	-37,1	218,9	0,0	5000,0
23/01/91		0,0	-256,0	0,0	0,0	5000,0
24/01/91		0,0	-256,0	0,0	0,0	5000,0
25/01/91	3,7	0,0	-73,0	183,0	0,0	5000,0
26/01/91	6,5	65,6	0,0	256,0	0,0	5000,0
27/01/91		0,0	-190,4	65,6	0,0	5000,0
28/01/91		0,0	-256,0	0,0	0,0	5000,0
29/01/91	18,5	659,2	0,0	256,0	0,0	5000,0
30/01/91	0,6	432,9	0,0	256,0	0,0	5000,0
31/01/91		176,9	0,0	256,0	0,0	5000,0
01/02/91		0,0	-79,1	176,9	0,0	5000,0
02/02/91		0,0	-256,0	0,0	0,0	5000,0
03/02/91		0,0	-256,0	0,0	0,0	5000,0
04/02/91		0,0	-256,0	0,0	0,0	5000,0
05/02/91		0,0	-256,0	0,0	0,0	5000,0
06/02/91		0,0	-256,0	0,0	0,0	5000,0
07/02/91		0,0	-256,0	0,0	0,0	5000,0
08/02/91	0,7	0,0	-221,4	34,6	0,0	5000,0
09/02/91		0,0	-256,0	0,0	0,0	5000,0
10/02/91		0,0	-256,0	0,0	0,0	5000,0
11/02/91		0,0	-256,0	0,0	0,0	5000,0
12/02/91	42,0	1821,7	0,0	256,0	0,0	5000,0

TRECHO ILUSTRATIVO DE EXTRAVASAMENTOS

data	mm	volume no reservatório da chuva	volume da rede consumido	volume da chuva consumido	volume extravasado absoluto	volume extravasado gráfico
04/07/95		3882,3	0,0	256,0	0,0	5000,0
05/07/95		3626,3	0,0	256,0	0,0	5000,0
06/07/95		3370,3	0,0	256,0	0,0	5000,0
07/07/95	37,3	4959,5	0,0	256,0	0,0	5000,0
08/07/95		4703,5	0,0	256,0	0,0	5000,0
09/07/95		4447,5	0,0	256,0	0,0	5000,0
10/07/95		4191,5	0,0	256,0	0,0	5000,0
11/07/95		3935,5	0,0	256,0	0,0	5000,0
12/07/95	30,6	5000,0	0,0	256,0	193,3	5193,3
13/07/95		4744,0	0,0	256,0	0,0	5000,0
14/07/95		4488,0	0,0	256,0	0,0	5000,0
15/07/95		4232,0	0,0	256,0	0,0	5000,0
16/07/95	2,0	4074,9	0,0	256,0	0,0	5000,0
17/07/95	11,4	4382,9	0,0	256,0	0,0	5000,0
18/07/95	37,0	5000,0	0,0	256,0	957,3	5957,3
19/07/95		4744,0	0,0	256,0	0,0	5000,0
20/07/95	13,8	5000,0	0,0	256,0	170,7	5170,7
21/07/95	1,6	4823,2	0,0	256,0	0,0	5000,0
22/07/95		4567,2	0,0	256,0	0,0	5000,0
23/07/95		4311,2	0,0	256,0	0,0	5000,0
24/07/95	22,0	5000,0	0,0	256,0	143,5	5143,5
25/07/95		4744,0	0,0	256,0	0,0	5000,0
26/07/95	1,8	4577,0	0,0	256,0	0,0	5000,0
27/07/95		4321,0	0,0	256,0	0,0	5000,0
28/07/95	4,4	4282,7	0,0	256,0	0,0	5000,0
29/07/95	60,4	5000,0	0,0	256,0	2014,7	7014,7
30/07/95	2,2	4852,8	0,0	256,0	0,0	5000,0
31/07/95	8,6	5000,0	0,0	256,0	22,3	5022,3
01/08/95		4744,0	0,0	256,0	0,0	5000,0
02/08/95		4488,0	0,0	256,0	0,0	5000,0
03/08/95	15,4	4993,8	0,0	256,0	0,0	5000,0
04/08/95	25,7	5000,0	0,0	256,0	1009,2	6009,2
05/08/95		4744,0	0,0	256,0	0,0	5000,0
06/08/95		4488,0	0,0	256,0	0,0	5000,0
07/08/95	0,4	4251,8	0,0	256,0	0,0	5000,0
08/08/95	5,8	4282,7	0,0	256,0	0,0	5000,0
09/08/95	2,5	4150,4	0,0	256,0	0,0	5000,0
10/08/95	0,7	3929,0	0,0	256,0	0,0	5000,0
11/08/95	10,5	4192,5	0,0	256,0	0,0	5000,0

Apêndice b – composições orçamentárias

QUANTIFICAÇÃO E ORÇAMENTO DE MATERIAIS PARA INSTALCÃO DO SISTEMA

componente		quant	unidade	R$ unitário	R$ total			
tela de arame de aço galvanizado + colocação		8,2	m	7	57,40			
calha em chapa de aço zincado semi-circular Ø14cm com suporte metálico e mão-de-obra		8,2	m	14,7	120,54			
Te	Ø25	1	unid.	0,41	0,41			
	Ø100	1	unid.	5,25	5,25			
Joelho	Ø20	3	unid.	0,18	0,54			
	Ø25	1	unid.	0,25	0,25			
	Ø32	1	unid.	0,64	0,64			
	Ø100	1	unid.	2,78	2,78			
silicone	50g	1	unid.	2,73	2,73			
torneira de bóia	Ø25	1	unid.	21,89	21,89			
reg gav. PVC	Ø32	1	unid.	11,70	11,70			
adaptador com flange	Ø20	1	unid.	3,25	3,25			
	Ø25	1	unid.	3,97	3,97			
	Ø32	2	unid.	6,69	13,38			
	Ø40	4	unid.	8,70	34,80	69,60	133,80	17,40
Cano	Ø20	3	m	0,99	2,97			
	Ø25	3	m	1,34	4,02			
	Ø32	4	m	3,04	12,16			
	Ø40	1	m	4,95	4,95	9,90	14,85	4,95
	Ø100 esgt	4	m	4,95	19,80			

TOTAL **fibrocimento** 323,43 368,13 437,28 306,0

OUTROS **283,68**

3000 litros	5000 litros	6000 litros	2000 litros
4	8	10	2

BASE PARA O RESERVATÓRIO

120,3	360,9	671,1	855,6
	0,50	0,93	1,18

725,46

cub/rs-out/2003

Base de apoio do reservatório

lastro de solo-cimento 1:20 - 20 cm de espessura + alvenaria de tijolos h=1,20

reservatório	componente	quantidade	unidade	R$ unitário	R$ total
fibrocimento	cimento	32,68	kg	0,37	11,93
1380 x 1380	solo local	0,37	m³	0,00	0,00
	tijolos maciços	207	uni	0,13	26,91
	areia regular	0,03	m³	63,00	2,08
	chapa USB 20mm	1,00	uni	49,90	49,90
	mão-de-obra	-	-	-	200,00
TOTAL					290,82
2000 litros	2,00	USB a +			**581,64**
3000 litros	3,00	1		49,90	**922,36**
5000 litros	5,00	1		49,90	**1503,99**
6000 litros	6,00	2		99,80	**1844,71**
fibra-de-vidro	cimento	36,77	kg	0,37	13,42
2000 litros	solo local	0,41	m³	0,00	0,00
1490 x 1490	tijolos maciços	238	uni	0,13	31,00
	areia regular	0,04	m³	63,00	2,39
	chapa USB 20mm	1,00	uni	49,90	49,90
	mão-de-obra	-	-	-	200,00
					296,71
fibra-de-vidro	cimento	56,03	kg	0,37	20,45
5000 litros	solo local	0,70	m³	0,00	0,00
1900 x 1900	tijolos maciços	306	uni	0,13	39,83
	areia regular	0,05	m³	63,00	3,02
	chapa USB 20mm	1,00	uni	49,90	49,90
	mão-de-obra	-	-	-	300,00
					413,20
fibra-de-vidro	cimento	65,65	kg	0,37	23,96
7000 litros	solo local	0,86	m³	0,00	0,00
2090 x 2090	tijolos maciços	339	uni	0,13	44,13
	areia regular	0,05	m³	63,00	3,40
	chapa USB 20mm	1,00	uni	49,90	49,90
	mão-de-obra	-	-	-	350,00
					471,40
fibra-de-vidro	cimento	65,65	kg	0,37	23,96

10000 litros	solo local	0,86	m³	0,00	0,00
2090 x 2090	tijolos maciços	339	uni	0,13	44,13
	areia regular	0,05	m³	63,00	3,40
	chapa USB 20mm	1,00	uni	49,90	49,90
	mão-de-obra	-	-	-	350,00
					471,40
polietileno	cimento	38,88	kg	0,37	14,19
2500 litros	solo local	0,44	m³	0,00	0,00
1500 x 1500	tijolos maciços	248	uni	0,13	32,29
	areia regular	0,04	m³	63,00	2,49
	chapa USB 20mm	1,00	uni	49,90	49,90
	mão-de-obra	-	-	-	200,00
					298,88
polietileno	cimento	61,52	kg	0,37	22,45
5500 litros	solo local	0,78	m³	0,00	0,00
2000 x 2000	tijolos maciços	331	uni	0,13	43,06
	areia regular	0,05	m³	63,00	3,33
	chapa USB 20mm	1,00	uni	49,90	49,90
	mão-de-obra	-	-	-	300,00
					418,74
polietileno	cimento	81,39	kg	0,37	29,71
10000 litros	solo local	1,10	m³	0,00	0,00
2370 x 2370	tijolos maciços	392	uni	0,13	51,02
	areia regular	0,06	m³	63,00	3,94
	chapa USB 20mm	2,00	uni	49,90	99,80
	mão-de-obra	-	-	-	350,00
					534,47
concreto	cimento	48,36	kg	0,37	17,65
2900 litros	solo local	1,10	m³	0,00	0,00
2500 x 1160	tijolos maciços	392	uni	0,13	51,02
	areia regular	0,06	m³	63,00	3,94
	chapa USB 20mm	2,00	uni	49,90	99,80
	mão-de-obra	-	-	-	200,00
					372,41
concreto	cimento	78,83	kg	0,37	28,77
4900 litros	solo local	1,10	m³	0,00	0,00
2500 x 2160	tijolos maciços	392	uni	0,13	51,02
	areia regular	0,06	m³	63,00	3,94
	chapa USB 20mm	2,00	uni	49,90	99,80
	mão-de-obra	-	-	-	300,00

					483,53
concreto	cimento	94,38	kg	0,37	34,45
6200 litros	solo local	1,10	m³	0,00	0,00
2500 x 2680	tijolos maciços	392	uni	0,13	51,02
	areia regular	0,06	m³	63,00	3,94
	chapa USB 20mm	2,00	uni	49,90	99,80
	mão-de-obra	-	-	-	350,00
					539,21

RESERVATÓRIOS DE CONCRETO
ORÇAMENTO

área paredes 1	área paredes 2	área fundo	área tampa	volume paredes	volume tampa
5	2,32	2,9	2,9	1,2264	0,232

2900 litros
2,5 x 1,16 x 1,0m

nome do insumo	quantidade	unidade	R$ unitário	R$ total
aço CA-50 5 mm	74	kg	0,27	19,98
aço CA-60 8 mm	5	kg	0,27	1,35
arame recozido 18BWG	4,38	kg	4,50	19,69
cimento Portland CP IV 32	554,92	kg	0,37	205,32
areia média	0,93	m3	16,80	15,63
brita 2	1,28	m3	36,00	46,10
pregos bitolas variadas	3,50	kg	4,00	14,00
sarrafo cedrinho 2,5x5cm	10	m	1,60	15,40
guia pinus 2,5x15cm	9	m	3,40	30,99
mão-de-obra				380,00
impermeabilização				
impermeabilização com manta a base de asfalto modificado com polímeros plastoméricos, estruturada com tecido de filamentos contínuos de poliéster, previamente estabilizado + proteção mecânica fundo + primer + mão-de-obra				440,00
preço total				**808,46**

área paredes 1	área paredes 2	área fundo	área tampa	volume paredes	volume tampa
5	4,32	5,4	5,4	1,7664	0,432

4900 litros
2,5 x 2,16 x 1,0m

nome do insumo	quantidade	unidade	R$ unitário	R$ total
aço CA-50 5 mm	99	kg	0,27	26,73
aço CA-60 8 mm	5	kg	0,27	1,35
arame recozido 18BWG	6,60	kg	4,50	29,68
cimento Portland CP IV 32	836,49	kg	0,37	309,50
areia média	1,40	m3	16,80	23,56
brita 2	1,93	m3	36,00	69,49

pregos bitolas variadas	5,28	kg	4,00	21,10
sarrafo cedrinho 2,5x5cm	14,51	m	1,60	23,22
guia pinus 2,5x15cm	13,74	m	3,40	46,72
mão-de-obra				550,00
impermeabilização				
impermeabilização com manta a base de asfalto modificado com polímeros plastoméricos, estruturada com tecido de filamentos contínuos de poliéster, previamente estabilizado + proteção mecânica fundo + primer + mão-de-obra				600,00
preço total				**1151,35**

área paredes 1	área paredes 2	área fundo	área tampa	volume paredes	volume tampa
5	5,36	6,7	6,7	2,0472	0,536

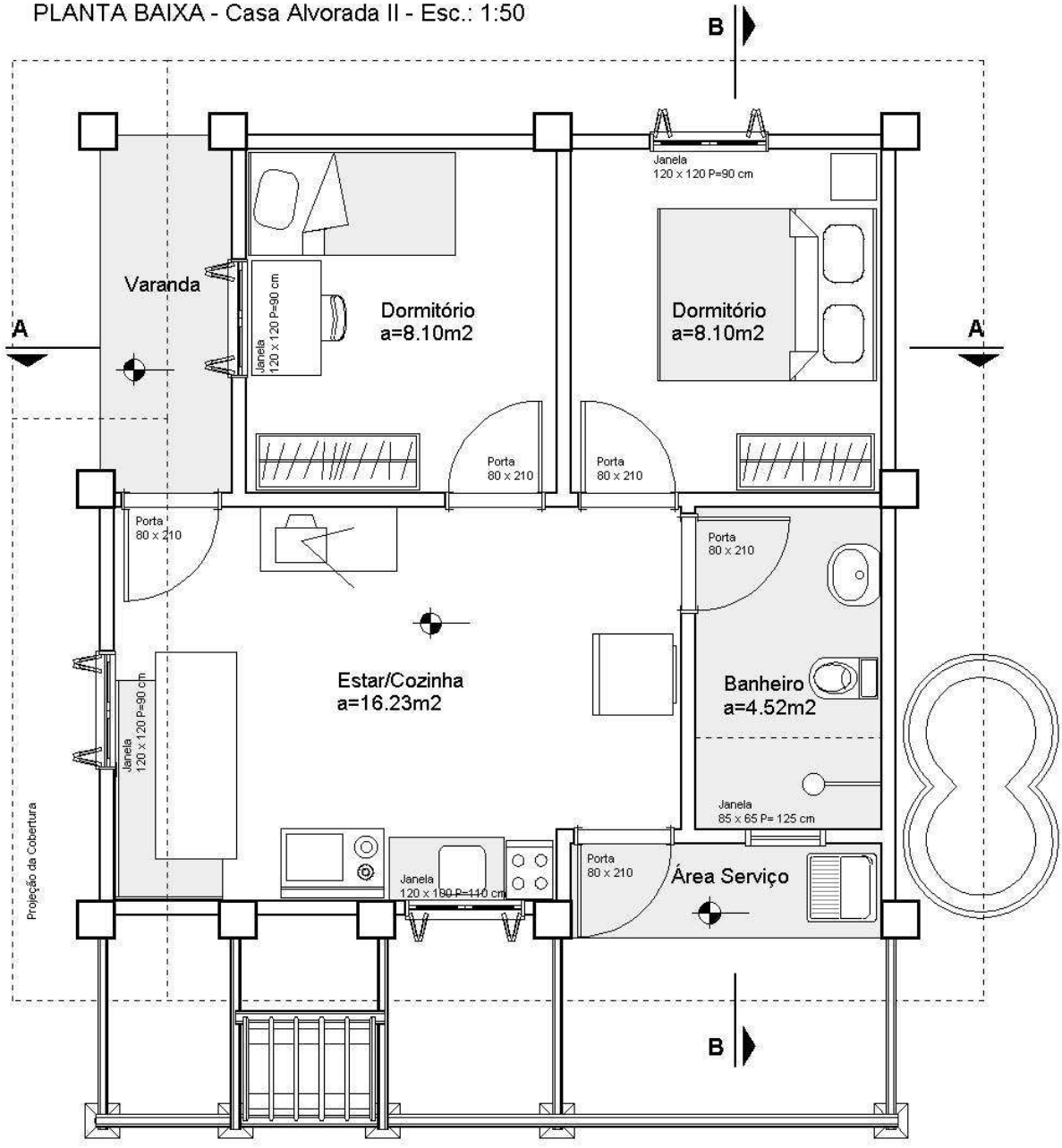
6200 litros
2,5 x 2,68 x 1,0m

nome do insumo	quantidade	unidade	R$ unitário	R$ total
aço CA-50 5 mm	119	kg	0,27	32,13
aço CA-60 8 mm	5	kg	0,27	1,35
arame recozido 18BWG	7,75	kg	4,50	34,87
cimento Portland CP IV 32	982,91	kg	0,37	363,68
areia média	1,65	m3	16,80	27,69
brita 2	2,27	m3	36,00	81,65
pregos bitolas variadas	6,20	kg	4,00	24,80
sarrafo cedrinho 2,5x5cm	17,05	m	1,60	27,28
guia pinus 2,5x15cm	16,15	m	3,40	54,89
mão-de-obra				620,00
impermeabilização				
impermeabilização com manta a base de asfalto modificado com polímeros plastoméricos, estruturada com tecido de filamentos contínuos de poliéster, previamente estabilizado + proteção mecânica fundo + primer + mão-de-obra				680,00
preço total				**1328,34**

Anexo a – Protótipo Alvorada – projetos originais

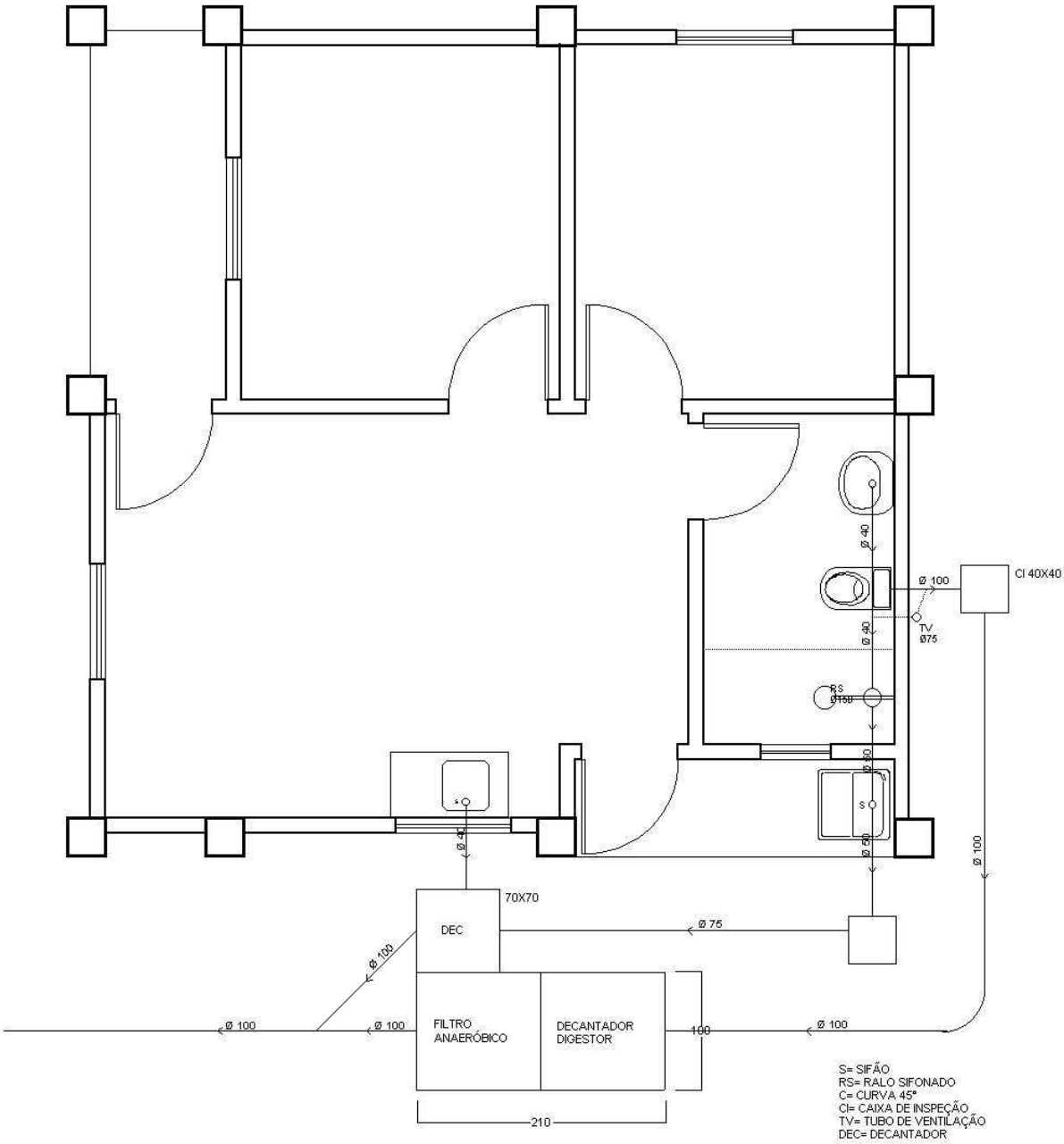
PLANTAS - Casa Alvorada II - Esc.: 1:50

PLANTA BAIXA - Casa Alvorada II - Esc.: 1:50

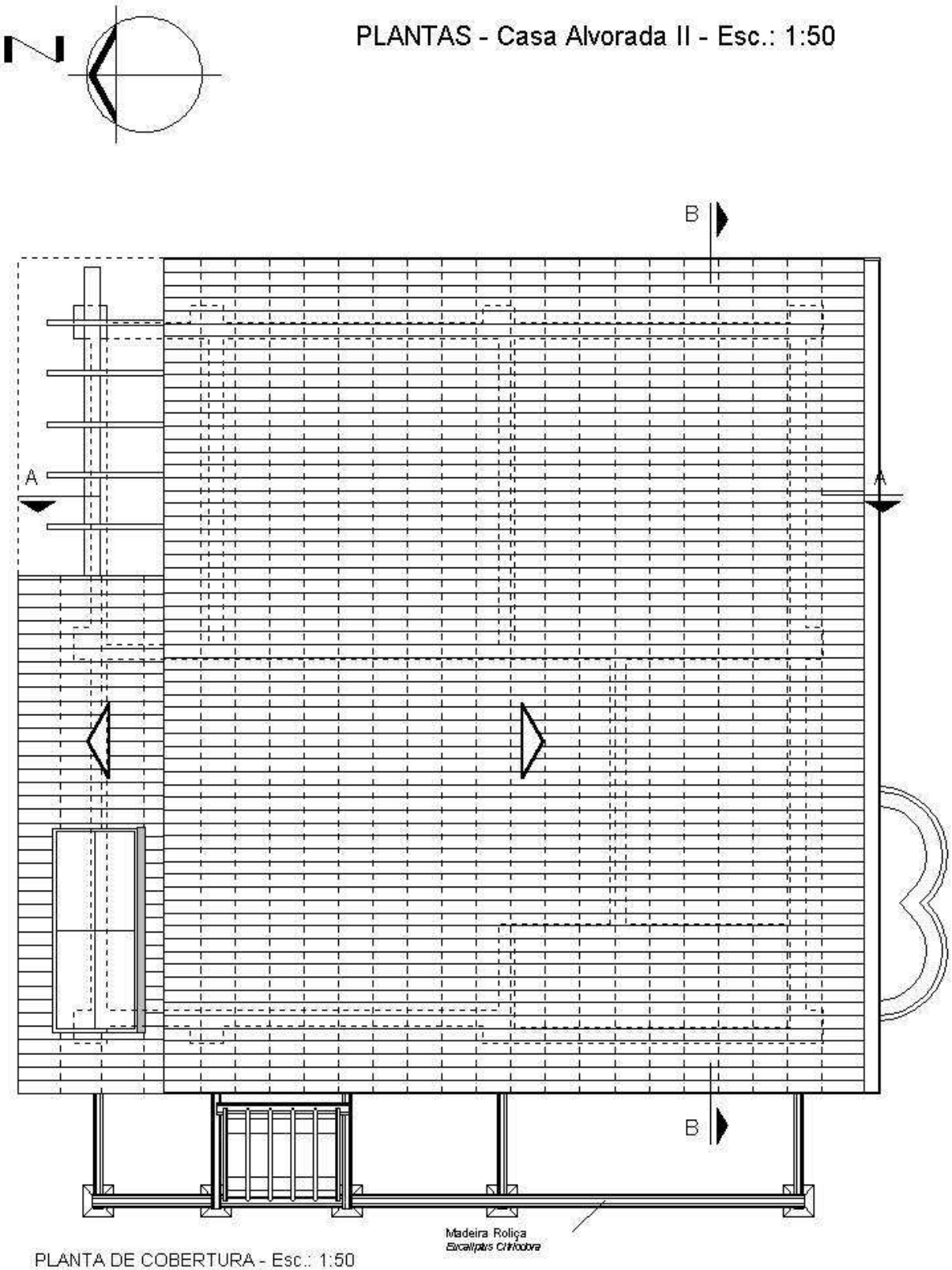


CASA ALVORADA II

PLANTA HIDRÁULICA - Águas Cinzas e Negras - esc 1/50



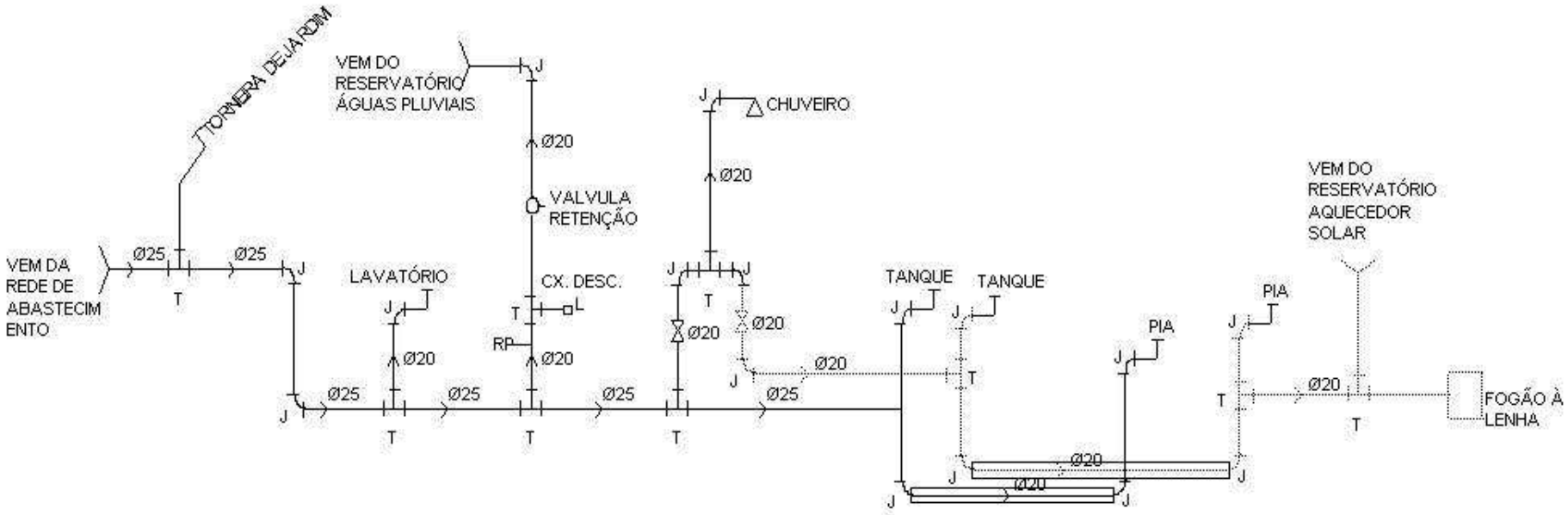
PLANTAS - Casa Alvorada II - Esc.: 1:50

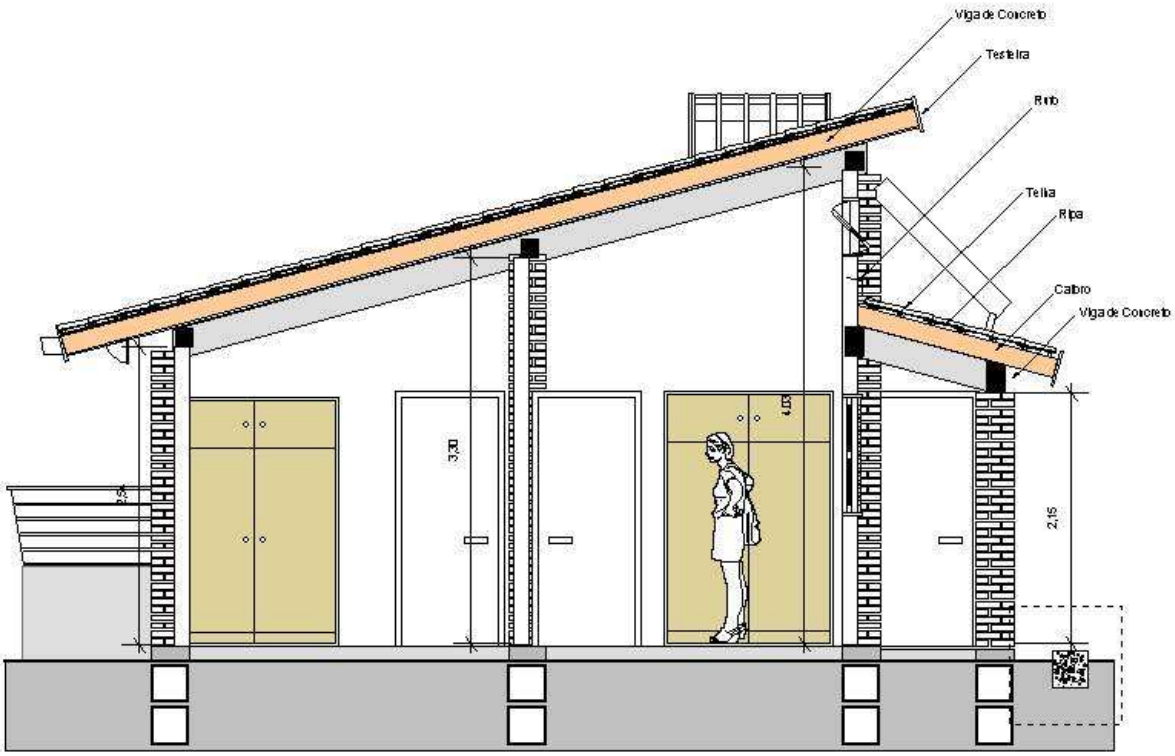


PLANTA DE COBERTURA - Esc.: 1:50
Madeira *Eucaliptus Citriodora*
(Caibro, Ripamento)

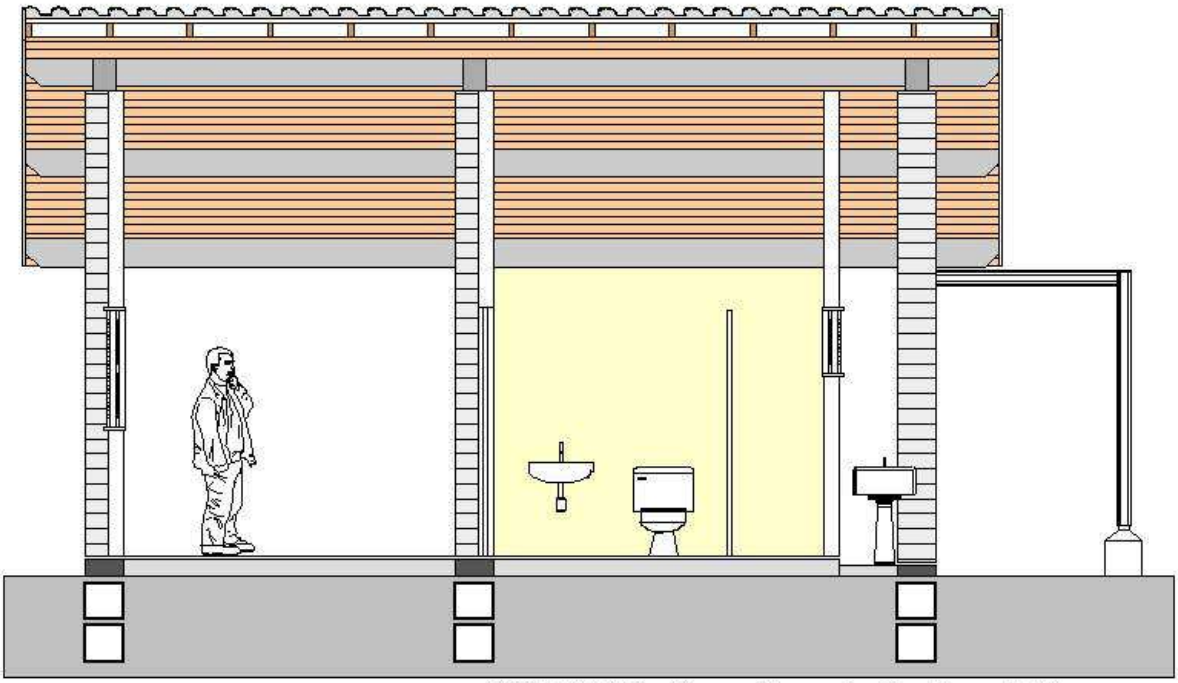
CASA ALVORADA II

PLANTA HIDRÁULICA - Águas Fria e Quente

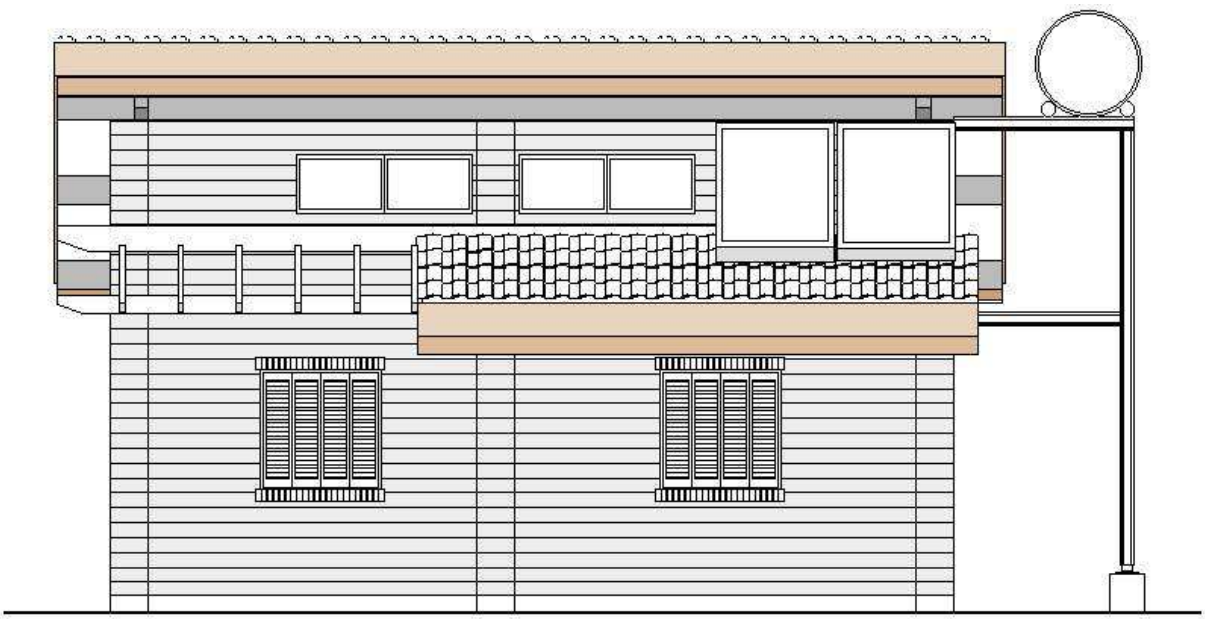




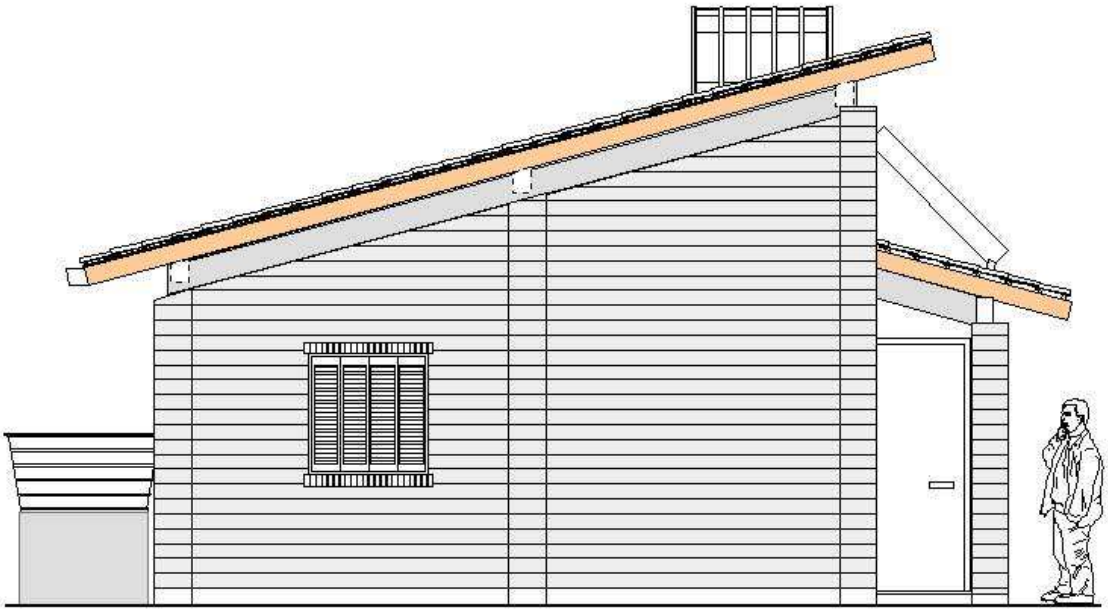
CORTE AA - Casa Alvorada II - Esc.: 1:50



CORTE BB - Casa Alvorada II - Esc.: 1:50

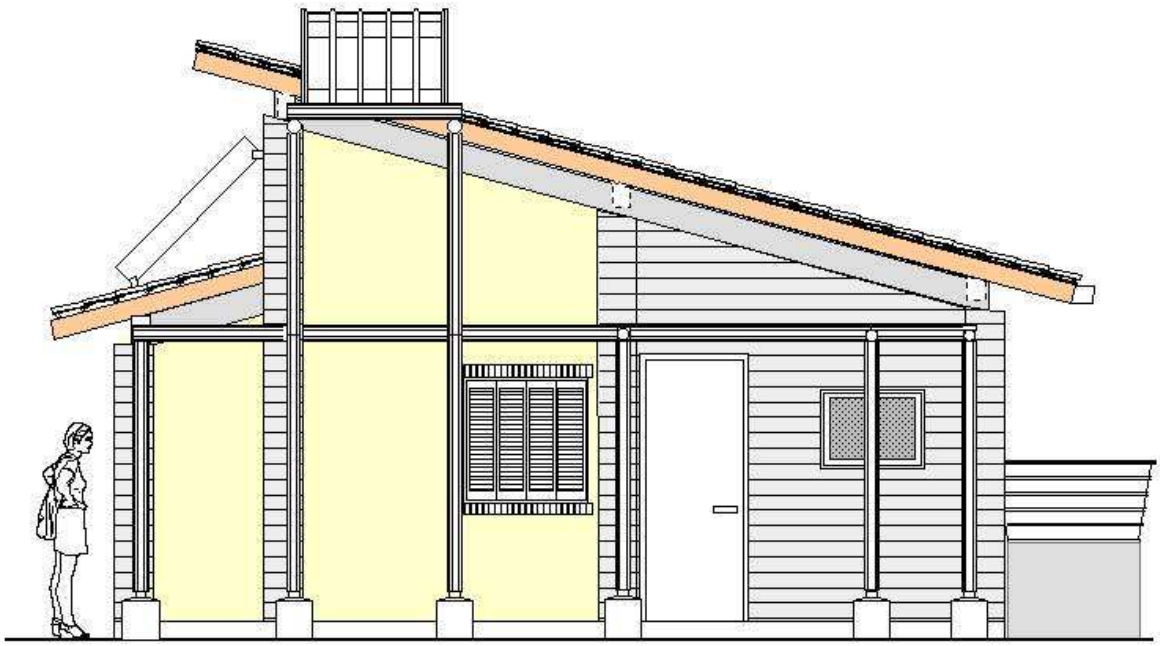


ELEVAÇÃO NORTE - Esc.: 1:50

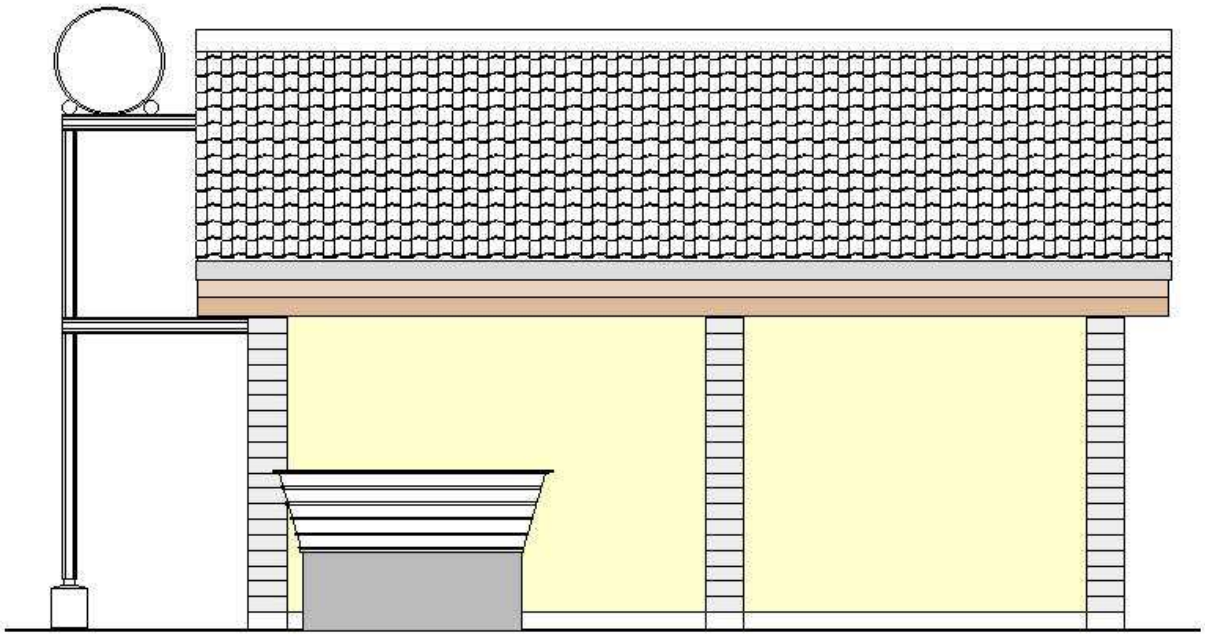


ELEVAÇÃO LESTE - Esc.: 1:50

ELEVAÇÕES - Casa Alvorada II - Esc.: 1:50



ELEVAÇÃO OESTE - Esc.: 1:50



ELEVAÇÃO SUL - Esc.: 1:50

ELEVAÇÕES - Casa Alvorada II - Esc.: 1:50

Anexo B – Inventário de componentes do sistema e mão-de-obra

RESERVATÓRIOS PRÉ-FABRICADOS

(http://www.mps-shop.com/CBRedeConstr/dept.asp?dept_id=6004)

imagem	litros	material	altura X diametro (mm)	preço
http://www.isdralit.com.br/ fone: 0800512295	1000 500	fibrocimento	820 x 1380 820 x 1090	R$ 120.28
http://www.bakof.com.br/index2.html Fone: (55) 3744 3232	1000 500	Fibra de vidro	910 x 1190 690 x 940	R$177,43 R$ 128,00
http://www.tinabras.com.br/tinaplas.htm 55 (0xx11) 4447-4411	500 1000	polietileno - Caixa com dupla camada - Tampa roscavel com fechamento perfeito, evitando entradas de insetos e impurezas. - Camada externa cinza com proteção total contra raios solares. - Camada interna branca e conserva a temperatura da água	700 X 1200 900 x 1400	R$ 144,65 R$ 246,04
http://www.isdralit.com.br/ fone: 0800512295	500 1000	Fabricadas em polietileno Moderno sistema de tampa roscada, impedindo seu arrancamento por ação do vento e também impedindo a entrada de agentes nocivos Podem armazenar diversos tipos de líquidos Incomparável durabilidade	785 x 1240 1055 x 1425	R$ 121.60 R$ 217.53

 http://www.bakof.com.br/index2.html Fone:(55) 3744 3232	2000	Fibra de vidro	1110 x 1490	R$ 397,19
 http://www.isdralit.com.br/ fone: 0800512295	2000	polietileno	1480 x 1680	R$ 422,18
 http://www.bakof.com.br/index2.html Fone:(55) 3744 3232	5000	Fibra de vidro	1750 x 1900	R$ 751,00
 http://www.unipac.com.br/manual_1.asp	2500 5500	polietileno - Camada interna preta, evitando a formação de algas e bactérias - Aditivada contra os raios ultra-violetas - Produto atóxico - Alças para facilitar o transporte e o manuseio - Tampa com rosca - vedação contra insetos e impurezas - Garantia de 5 anos	1780 x 1480 2040 x 2015	R$ 846,58 R$1.593,35
 http://www.tinabras.com.br/tinaplas.htm 55 (0xx11) 4447-4411	2500 5500		1750 X 500 2150 X 2000	

 http://www.isdralit.com.br/ fone: 0800512295	5500	polietileno	1990 x 1990	
 http://www.bakof.com.br/index2.html Fone:(55) 3744 3232	7000	Fibra de vidro		
 http://www.isdralit.com.br/ fone: 0800512295	10000	polietileno	2710 x 2370	R$ 2200,00
 http://www.bakof.com.br/index2.html Fone:(55) 3744 3232	10000	Fibra de vidro	2620 x 2090	R$ 1474,00

ORÇAMENTO DAS CALHAS E TELAS – MATERIAL E MÃO-DE-OBRA

Produto	unidade	Calhas Lopes*	Sulcalhas**	Vitor Neywert ***
tela de arame de aço galvanizado (com mão-de-obra)	m	R$ 7,00	R$ 12,00	N
tela de alumínio (com mão-de-obra)	m	R$ 10,00	N	N
calha em chapa de aço zincado semi-circular Ø14cm com suporte metálico (com mão-de-obra)	m	R$ 14,70	R$ 18,50	R$ 16,00

* Calhas Lopes. Endereço: rua Conselheiro Travassos, 419, São Geraldo, Porto Alegre. Tel. 32225999

** Sulcalhas indústria e comércio ltda. Endereço: rua Voluntários da Pátria 979, Porto Alegre. Tel. 32257288

*** Vitor Neywert. Endereço: rua Ângelo Barbosa, 465, Cavalhada, Porto Alegre. Tel. 32490366

Porto Alegre, outubro de 2003.

ORÇAMENTO BASE DE APOIO DO RESERVATÓRIO - MATERIAL

Franzoi Materiais de Construção. Endereço: Av. Bento Gonçalves, 2400. Tel.3339-3899.			
Vendedor: Ricardo Verzagi			
Produto	Valor	Quantidade	Frete
Cimento	18,25	saco 50kg.	R$ 30,00
Tijolo	0,13	unid.	
Areia Média	1,40	Saco 25 kg	

Nelson Tumelero. Endereço: Av. Bento Gonçalves, 6270. Tel.3336-6321.			
Vendedor: Gilberto Castro			
Produto	Valor	Quantidade	Frete
Cimento	17,60	saco 50kg.	R$ 30,00
Tijolo	0,12	unid.	
Areia Média	2,02	Saco 25 kg	

Elevato Casa Shop. Endereço: Av. Bento Gonçalves, 1414. Tel.3384-5713.			
Vendedor: Otavio Ces			
Produto	Valor	Quantidade	Frete
Cimento	17,95	saco 50kg.	R$ 30,00
Tijolo		unid.	
Areia Média	3,00	Saco 25 kg	

Porto Alegre, outubro de 2003.

CUB/RS ponderado - outubro de 2003 R$ **725,46**

ORÇAMENTO BASE APOIO DO RESERVATÓRIO - MATERIAL

Delâminas Comércio e Exportação LTDA. Endereço: Martins Bastos, 1050. Tel.3364-1331			
Vendedor: João/ Regina Leão Marques			
Produto	Valor	Quantidade	Frete
USB 18mm (2,50 X 1,60)	49,90	1unid.	R$ 6,00

Cofel Comércio de Ferragens e Lâminas LTDA. Endereço:			
Vendedor: João Pedro Miller			
Produto	Valor	Quantidade	Frete
USB 18mm (2,44 X 1,22)	39,00	1unid.	R$ 6,00

Formilâminas Beneficiamento Comércio de Laminado LTDA. Endereço: Av.São Paulo,539. Tel.3342-1988.			
Vendedor: Mauro Menna Barreto			
Produto	Valor	Quantidade	Frete
USB 18mm (2,44 X 1,22)	51,00	1unid.	R$ 6,00

Porto Alegre, outubro de 2003.

CUB/RS ponderado - outubro de 2003 R$ **725,46**

ORÇAMENTO INSTALAÇÕES HIDRÁULICAS - MATERIAL

Produto	Diâmetro	Quantidade	Masil*	Tumelero	Elevato
Vendedor	-	-	Ivone	Gilberto Castro	Fábio Calcun
Tê					
	25mm	1unid.	0,41	0,54	0,48
	100mm	1unid.	5,25	6,62	N
Joelho					
	20mm	3unid.	0,18	0,23	0,21
	25mm	1unid.	0,25	0,34	0,34
	32mm	1unid.	0,64	0,86	0,77
	100mm	1unid.	2,78	3,51	110-79
Silicone					
	50g	1unid.	2,73	6,53	N
	300g	1unid.	7,65	14,53	N
Torneira de bóia					
	25mm	1 unid.	21,89	31,00 deca 11,64tigre	10,23tigre
Registro de gaveta					
PVC	32mm		11,70	10,95	9,99
Metal	32mm			38,00	17,99
Adaptador com flange					
	20mm	1unid.	3,25	4,23	3,78
	25mm	1unid.	3,97	5,01	4,71
	32mm	2unid.	6,69	8,87	7,69
	40mm	4unid.	8,70	10,02	9,16
	75mm	4unid.	63,00	N	72,52
	110mm	4unid	111,10	N	97,79
Cano					
	20mm	3m	0,99	1,16	1,05
	25mm	3m	1,34	1,26	1,51
	32mm	4m	3,04	3,57	3,21
	100mm	4m	4,95	5,69	5,80
	110mm	4m	26,55	N	28,12

*Comercial Masil Materiais Hidráulicos e de Construção ltda. Rua Voluntários da Partia, 927 - fone: 3228 3200

Porto Alegre, outubro de 2003.

CUB/RS ponderado - outubro de 2003 R$ **725,46**

ORÇAMENTO DE MATERIAIS COMPONENTES DO RESERVATÓRIO DE CONCRETO ARMADO

Produto	**Quantidade**	**Franzoi***	**Tumelero****	**Elevato*****
		vend. Ricardo	vend. Gil	vend. Otávio
aço CA-50 - 5mm	Barra 12 m	R$ 5.90	R$ 5,08	R$ 5,19
aço CA-60 - 8mm	Barra 11 m	R$ 13.90	R$ 11,94	R$ 12,17
Arame Recozido #18	Kg	R$ 4,50	R$ 4,59	N
Brita 1	m^3	R$ 36,00	R$ 31,03	R$ 43,40
Pregos bitolas variadas	Kg.	R$ 4,00	R$ 3,70	N
Sarrafo Cedrinho 5 x 2,5	m	R$ 1,60	R$ 3.50 peça-3,5m	N
Guia Cedrinho 5 x 2,5	m	R$ 3,40	R$ 10,63 peça- 3 m	N

* Franzoi Materiais de Construção. Av. Bento Gonçalves, 2400. Tel.3339-3899.
Vendedor: Ricardo Verzagi

** Melson Tumelero. Endereço: Av. Bento Gonçalves, 6270. Tel.3336-6321.
Vendedor: Gilberto Castro

*** Elevato - Casa Shop. Endereço: Av. Bento Gonçalves, 1414. Tel.3384-5713.
Vendedor: Otavio Ces

Porto Alegre, outubro de 2003.

CUB/RS ponderado - outubro de 2003 R$ **725,46**

ORÇAMENTO IMPERMEABILIZAÇÃO DO RESERVATÓRIO DE CONCRETO ARMADO – MATERIAL E MÃO-DE-OBRA

Produto	vol	Edil*	Aguiar**	Impervete ***
		Ricardo	Divino	Rui
Impermeabilização com manta a base de asfalto modificado com polímeros plastoméricos, estruturada com tecido de filamentos contínuos de poliéster, previamente estabilizado + proteção mecânica fundo + primer	2900	**R$ 440,00**	-	-
	4900	**R$ 600,00**	-	-
	6200	**R$ 680,00**	-	-
Preparo de superfície através de correção de pequenas falhas no concreto Aplicação de impermeabilizante viaplus 5000, aproximadamente 3,00 Kg/m2 Reforço com veú de poliester e viaplus 5000 nas entradas e saídas de tubulações Teste de estanqueidade durante 72 horas Proteção mecânica com cim/areia no fundo	2900	-	**R$ 557.10**	-
	4900	-	**R$ 759.62**	-
	6200	-	**R$ 860.90**	-
Sistema VETA (Poliuretano Vegetal) Os tubos de saídas e entradas de água como limpeza, ladrão e abastecimento serão reforçados com o sistema de tecido TNT	2900	-	-	**R$ 887,60**
	4900	-	-	**R$ 1.117,60**
	6200	-	-	**R$ 1.364,80**

* Edil Impermeabilizações e Comércio ltda. av. Veiga, 199 - Partenon - Porto Alegre/RS - cep: 91510-120 - fone:(51)3339.1911/fax:(51)3339.3347 - e-mail: edil@terra.com.br

** Aguiar Engenharia: Rua Evaristo da Veiga, 279 - Partenon – Porto Alegre/RS – fone: (51)33150408 - e-mail: aguiareng@cpovo.net

*** IMPERVETE - Sistema de Impermeabilização Ltda: Av. Maranhão,1018 – São Geraldo – Porto Alegre/RS - Fone: 33423054 - e-mail: impervet.poa@terra.com.br

Porto Alegre, outubro de 2003.

ORÇAMENTO BASE DE APOIO DO RESERVATÓRIO - MÃO-DE-OBRA

OBS. 1. preços já incluem encargos sociais
2. especificações conforme composição orçamentária constante no apêndice b

Fibra de vidro	
2.000 litros	200,00
5.000 litros	300,00
7.000 litros e 10.000 litros	350,00
Polietileno	
2.500 litros	200,00
5.500 litros	300,00
10.000 litros	350,00
Concreto	
2.900 litros	200,00
4.900 litros	300,00
6.200 litros	350,00
Fibrocimento	
1.000 litros	200

Profissional: Rodrigo Oliveira de Souza

Telefone: 9842 9192

Endereço: Est. Chapéu do Sol, sem nº

ORÇAMENTO INSTALAÇÕES HIDRÁULICAS - MÃO-DE-OBRA

Fibra de vidro	
2.000 litros	100,00
5.000 litros	100,00
7.000 litros	125,00
Polietileno	
2.500 litros	100,00
5.500 litros	120,00
10.000 litros	130,00
Concreto	
2.900 litros	150,00
4.900 litros	150,00
6.200 litros	150,00
Fibrocimento	
2.000 litros	110,00
Ligação extra	20,00

Profissional: Rodrigo Oliveira de Souza

Telefone: 9842 9192

Endereço: Est. Chapéu do Sol, sem nº

ORÇAMENTO RESERVATÓRIO DE CONCRETO - MÃO-DE-OBRA

OSB. especificações conforme composição orçamentária constante no apêndice b

Concreto		impermeabilização
2.900 litros	380,00	
4.900 litros	550,00	
6.200 litros	620,00	

Profissional: Rodrigo Oliveira de Souza

Telefone: 9842 9192

Endereço: Est. Chapéu do Sol, sem nº

ORÇAMENTO BASE DE APOIO DO RESERVATÓRIO - MÃO-DE-OBRA

OBS. 1. preços já incluem encargos sociais
2. especificações conforme composição orçamentária constante no apêndice b

Fibra de vidro	
2.000 litros	300,00
5.000 litros	350,00
7.000 litros e 10.000 litros	400,00
Polietileno	
2.500 litros	300,00
5.500 litros	350,00
10.000 litros	400,00
Concreto	
2.900 litros	300,00
4.900 litros	350,00
6.200 litros	400,00
Fibrocimento	
1.000 litros	300,00

Profissional: Luiz Francisco de Paula Quinzel

Telefone: 3249 5934

Endereço: Rua B nº360 - Bairro Serraria, Porto Alegre/RS

ORÇAMENTO INSTALAÇÕES HIDRÁULICAS - MÃO-DE-OBRA

Fibra de vidro	
2.000 litros	150,00
5.000 litros	150,00
7.000 litros	150,00
Polietileno	
2.500 litros	150,00
5.500 litros	150,00
10.000 litros	150,00
Concreto	
2.900 litros	150,00
4.900 litros	150,00
6.200 litros	150,00
Fibrocimento	
2.000 litros	180,00
Ligação extra	30,00

Profissional: Luiz Francisco de Paula Quinzel

Telefone: 3249 5934

Endereço: Rua B nº360 - Bairro Serraria, Porto Alegre/RS

ORÇAMENTO RESERVATÓRIO DE CONCRETO - MÃO-DE-OBRA

OSB. especificações conforme composição orçamentária constante no apêndice b

Concreto		impermeabilização
2.900 litros	450,00	
4.900 litros	600,00	
6.200 litros	650,00	

Profissional: Luiz Francisco de Paula Quinzel

Telefone: 3249 5934

Endereço: Rua B nº360 - Bairro Serraria, Porto Alegre/RS