

DANIELA KARINA DA SILVA VERÇOSA

**ANÁLISE DOS MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS DE
CAPTAÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS EM EDIFICAÇÕES NO MUNICÍPIO DE
NITERÓI**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal Fluminense como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil. Área de concentração: Gestão, Produção e Meio Ambiente.

Orientadora: Profa. Ana Lucia Torres Seroa da Motta, Ph.D.

NITERÓI

2014

DANIELA KARINA DA SILVA VERÇOSA

**ANÁLISE DOS MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS DE
CAPTAÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS EM EDIFICAÇÕES NO MUNICÍPIO DE
NITERÓI**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal Fluminense como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil. Área de concentração: Gestão, Produção e Meio Ambiente.

Aprovada em: 12 de dezembro de 2014.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. ANA LÚCIA TORRES SEROA DA MOTTA – Orientadora
Universidade Federal Fluminense

Prof. Dr. MARCELO JASMIM. MEIRIÑO
Universidade Federal Fluminense

Prof. Dr. LUIZ PINHEIRO DA GUIA
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

NITERÓI
2014

*Para Lucas e Laura,
meus maiores, melhores e mais importantes projetos...*

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal Fluminense pela possibilidade de mais uma vez desfrutar deste ambiente acolhedor e de disseminação do conhecimento.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo fomento necessário ao desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores do Departamento de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFF pela grande capacidade de doação. Educação para mim é isso, doar-se. Então, admiração e respeito é o que posso retribuir a vocês.

À Secretaria deste Departamento, pela paciência e profissionalismo ao lidar conosco, alunos nem sempre disciplinados.

À professora Ana Seroa, pela paciência, gentileza e disponibilidade. Não sei se conseguiria chegar até aqui sem a sua condução.

Aos colegas de curso, pela solidariedade e amizade tão importantes para atingirmos nosso objetivo. Aos amigos de todas as horas e de uma vida inteira.

Ao meu marido, Flávio, companheiro, amigo e pessoa mais paciente deste mundo. Mais uma vez obrigada por apoiar meus sonhos.

Aos meus filhos, Lucas e Laura, grandes responsáveis pela minha atual existência. Além de agradecer, preciso me desculpar pela ausência em alguns momentos. Vocês são demais!

Ao meu irmão, Paulo, pela amizade e pelas conversas que me fazem pensar. E sempre, mais uma vez, aos meus pais, Paulo e Margareth, que sempre estão por perto, por mais longe que eu esteja. Tenham certeza que minha vida é mais leve graças à existência de vocês.

*“Quem vence alguém é vencedor,
mas quem vence a si mesmo é invencível.”*

Morihei Ueshiba

RESUMO

O aprimoramento dos requisitos técnicos para um melhor aproveitamento das águas pluviais é o objeto central de análise desta dissertação. A captação, a reserva e o tratamento de água da chuva são, sem dúvida, uma alternativa para o problema de escassez da água potável no mundo. Utilizada desde os primórdios da humanidade para suprir as mais diversas necessidades do homem, essa prática considerada sustentável vem sendo cada vez mais discutida e aprimorada em muitos países que, preocupados com a conservação do meio ambiente, incentivam essa atividade, seja através de medidas fiscais ou de regulamentação. No caso brasileiro, pode-se dizer que ainda é pouco expressivo o número de instrumentos legais e de requisitos técnicos que deem suporte à implementação desse processo. Em alguns municípios brasileiros já existe regulamentação para captação e reserva de águas pluviais, no entanto, percebe-se que existe uma grande lacuna na determinação de parâmetros técnicos adequados para a especificação correta do sistema de coleta, e principalmente de reserva a ser implantado. No caso do município de Niterói, localizado na região metropolitana do Estado do Rio de Janeiro, a metodologia proposta pela Prefeitura para o dimensionamento de reservatórios de acúmulo e retardo de águas pluviais subestima a capacidade pluviométrica da cidade e também de captação das coberturas, principalmente ao não considerar as características físicas da área. Para comprovação desse fato foi realizado um levantamento da capacidade pluviométrica de Niterói e também das características físicas da cobertura de uma edificação existente, com uma grande área de captação de águas pluviais. Ao comparar as possibilidades de reserva recomendadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas e aquela determinada pela legislação municipal, foi verificado que a metodologia proposta pela legislação pouco contribui para o dimensionamento adequado de reservatórios destinados à captação de águas pluviais.

Palavras-chave: Sistema de captação de água da chuva. Reservatório. Legislação.

ABSTRACT

Technical requirement improvement for a better use of rainwater is the central object of analysis of this dissertation. Rainwater harvesting, storage and treatment are surely alternatives to the scarcity of drinkable water in the world. It has been used since the beginning of humanity to meet the diverse human needs. Such sustainable practice has been increasingly discussed and improved in many countries. These countries, worried about the conservation of the environment, encourage this practice, either by tax measures or by regulation. However, in Brazil, there is not a significant number of legal instruments and technical requirements that can support the implementation of this kind of activity. There are some municipalities in Brazil where it is possible to find legislations ruling and regulating rainwater harvest and reserve. On the other hand, despite the efforts of some lawmakers to regulate the rainwater harvesting, it is possible to realize that there is a big gap in the determining appropriate technical parameters for the correct specification concerning not only the gathering, but also the reserving system proposed. In Niterói, a city in the metropolitan region of Rio de Janeiro State, Brazil, the methodology proposed by the authorities for the dimensioning of reservoirs to harvest, collect and reserve rainwater underestimates not only the city rainfall capacity but also the roof catchment, specially by not considering the physical characteristics of the area. In order to confirm this fact, a survey was conducted regarding the rainfall capacity of this municipality and the physical characteristics of the roofing of an existing building, which has a big area for rainwater harvesting. When comparing storage methods recommended by the Brazilian Association of Technical Standards and the Municipal legislation, it was noticed that the methodology proposed by the legislation does very little, not contributing enough to the appropriate dimension of rainwater harvesting reservoirs.

Keywords: Rainwater harvesting. Reservoir. Legislation.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Causas e efeitos da urbanização sobre as inundações urbanas	23
Tabela 2 – Doenças relacionadas com a água	25
Tabela 3 – Precipitação média anual no território brasileiro no período de 1961 a 2007	33
Tabela 4 – Coeficientes de escoamento para áreas de captação	36
Tabela 5 – Taxa de ocupação de edificações.....	38
Tabela 6 – Consumo por ocupação	39
Tabela 7 – Consumo mensal não potável	40
Tabela 8 – Projetos de leis federais sobre o aproveitamento de água da chuva.....	42
Tabela 9 – Parâmetros de qualidade da água da chuva	49
Tabela 10 – Precipitação média acumulada no Rio de Janeiro, de 1960 a 1990.....	51
Tabela 11 – Estações pluviométricas disponíveis em Niterói	52
Tabela 12 – Dados pluviométricos da Estação Engenhoca	53
Tabela 13 – Precipitação média mensal da Estação Engenhoca de 1977 a 1994.....	54
Tabela 14 – Dimensionamento do reservatório pelo método de Rippl	58
Tabela 15 – Método Prático Australiano	62
Tabela 16 – Média dos valores de reservatórios.....	62
Tabela 17 – Método Simulação.....	64
Tabela 18 – Dimensionamento do reservatório	66
Tabela 19 – Volume de chuva mensal cobertura	67

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Hidrograma de áreas urbanizadas x áreas não urbanizadas.	24
Figura 2 – Ciclo hidrológico.	26
Figura 3 – Hidrograma após precipitação.	31
Figura 4 – Normais climatológicas do Rio de Janeiro.	34
Figura 5 – Esquema de um sistema de captação de água da chuva.	35
Figura 6 – Precipitação média mensal da cidade do Rio de Janeiro no período de 1960 a 1990.....	52
Figura 7 – Base cartográfica.....	53
Figura 8 – Precipitação média mensal da Estação Engenhoca, de 1997 a 1994.	55
Figura 9 – Localização da edificação do estudo.	56
Figura 10 – Relação entre a precipitação média anual de Niterói e os dimensionamentos de reservatórios.	68
Figura 11 – Relação entre a precipitação média anual de Niterói e os reservatórios, considerando os métodos de Rippl e da Simulação.	69

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional de Águas
APAU	Área de Preservação do Ambiente Urbano
ASA	Articulação no Semiárido Brasileiro
CEPERJ	Fundação Centro Estadual de Estatísticas, Pesquisas e Formação de Servidores Públicos do Rio de Janeiro
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
OMM	Organização Meteorológica Mundial
PBMC	Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	12
1.2 OBJETIVOS.....	15
1.3 QUESTÃO A SER RESPONDIDA.....	16
1.4 METODOLOGIA.....	16
1.5 JUSTIFICATIVA	16
2 BASE CONCEITUAL.....	18
2.1 APROVEITAMENTO DE ÁGUA DA CHUVA.....	18
2.1.1 Histórico.....	18
2.1.2 Cenário atual.....	19
2.2 BENEFÍCIOS DO USO DE ÁGUA DA CHUVA NA INFRAESTRUTURA URBANA.....	21
2.3 DISPONIBILIDADE DE ÁGUA NO MUNDO E O CICLO HIDROLÓGICO.....	25
2.3.1 Componentes do ciclo hidrológico	26
2.3.2 Características das chuvas no Brasil.....	33
2.4 SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DA CHUVA.....	34
2.4.1 Área de captação.....	35
2.4.2 Calhas e condutores	36
2.4.3 Reservatório.....	37
2.5 DEMANDAS E USOS DE ÁGUA NÃO POTÁVEL	38
2.6 REGULAMENTAÇÕES: NORMAS, LEIS E DECRETOS.....	40
2.6.1 Esfera Federal	42
2.6.2 Esfera Estadual.....	43
2.6.3 Esfera Municipal.....	43
2.7 MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO PARA RESERVATÓRIOS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DA CHUVA	44
2.7.1 Método de Rippl.....	45
2.7.2 Método da Simulação.....	45
2.7.3 Método Azevedo Neto	46
2.7.4 Método Prático Alemão	46
2.7.5 Método Prático Inglês	47
2.7.6 Método Prático Australiano	47
2.8 ASPECTOS QUALITATIVOS DA ÁGUA DA CHUVA	48
2.9 RECONTEXTUALIZAÇÃO E ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	49
3 METODOLOGIA.....	50
3.1 DESCRIÇÃO GERAL	50
3.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	50
3.2.1 Determinação da precipitação média	50
3.2.2 Edificação analisada para definição do problema.....	55
3.2.3 Definição da demanda.....	56
4 DIMENSIONAMENTO.....	57
4.1 APRESENTAÇÃO.....	57
4.2 DIMENSIONAMENTO DOS RESERVATÓRIOS	57
4.2.1 Método de Rippl	57
4.2.2 Método Azevedo Neto.....	59
4.2.3 Método Prático Alemão.....	59
4.2.4 Método Prático Inglês.....	60

4.2.5 Método Prático Australiano.....	60
4.2.6 Método da Simulação	62
4.2.7 Decreto-lei nº 2.630/2009, de Niterói.....	64
5 RESULTADOS	65
6 CONCLUSÃO.....	70
REFERÊNCIAS	73

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

As mudanças climáticas experimentadas pelo planeta estão cada vez mais nítidas, sendo atualmente consideradas um grande desafio para os países, no que diz respeito à manutenção de suas condições físicas, e também a novas realizações.

Não existe a possibilidade de haver alguma região da Terra imune a essas alterações, à medida que cada vez mais o desenvolvimento está ligado à produção e ao consumo de bens, em um mundo em que tanto a economia quanto as questões ambientais parecem estar globalizados. As cidades, expostas a novas condições, precisam se adaptar de forma a possibilitar o atendimento à demanda exigida pela infraestrutura que a economia mundial necessita para suas transações (FREITAG, 2002). Nesse cenário, os interesses econômicos acabam se sobrepondo aos sociais, exercendo uma grande pressão sobre a população e o meio ambiente.

O acúmulo de gases do efeito estufa na atmosfera terrestre vem aumentando desde o século XVIII, inicialmente em decorrência do crescimento das atividades industriais e agravada pelo uso de combustíveis fósseis, ocupação desordenada e práticas agrícolas insustentáveis. O efeito estufa é um fenômeno natural, que mantém a terra aquecida, no entanto, essa elevação de concentração tem como principais consequências o aumento da temperatura terrestre e do nível médio dos oceanos (IPCC, 2013).

É esperado, segundo o último relatório divulgado pelo Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC), no ano de 2013 (PBMC, 2013), um aumento médio da temperatura terrestre na ordem dos 2°C. Estima-se que para todo o século XXI os oceanos irão subir, em média, 17 cm (IPCC, 2013).

Essas mudanças contribuem com o desequilíbrio dos inúmeros ecossistemas que nos cercam. Além disso, alteram os padrões já esperados de chuva e temperatura, propiciando a ocorrência de eventos climáticos extremos como secas, inundações e grandes oscilações térmicas (PBMC, 2013).

Possivelmente, os países fragilizados economicamente estarão mais vulneráveis a essas mudanças, devido principalmente à ausência de uma infraestrutura adequada em suas cidades, fruto de uma expansão territorial sem planejamento e de uma grande pressão

demográfica. Além disso, a ocorrência de desertificação e inundações pode contribuir para a diminuição das áreas de plantio, levando à escassez de alimentos e oferta de água potável. O calor excessivo também pode vir a influenciar processos biológicos e ecológicos, expandindo a área de incidência de algumas doenças transmitidas por vetores (GITHEKO *et al.*, 2000).

As alterações no regime de chuvas e nos padrões de temperatura já conhecidos também afetam o Brasil nos aspectos naturais, sociais e econômicos. As tomadas de decisão, no que diz respeito às cidades, devem ser cada vez mais planejadas e embasadas no conhecimento dos riscos que essas mudanças podem vir a oferecer, também considerando a diversidade hidrológica do território brasileiro.

De acordo com a matéria do Jornal Nacional (2014), os extremos climáticos estão se tornando cada vez mais frequentes no Brasil. São esperadas alterações até o final deste século em todas as regiões brasileiras:

- menos chuvas no Norte e Nordeste;
- estiagens mais intensas no Centro-Oeste;
- chuvas mais intensas, intercaladas por períodos de seca nas regiões Sul e Sudeste.

Dados da Sabesp indicam que os mananciais que abastecem São Paulo atingiram os níveis mais críticos da história (JORNAL NACIONAL, 2014). Essa atual crise de abastecimento de água não é apenas resultado da carência de chuvas, mas também da gestão inadequada das bacias hidrográficas, com frequentes práticas ambientais agressivas, uso e ocupação desordenados do solo, desmatamento e poluição, que vêm exaurindo as reservas de água doce (OTTONI, 2014).

Essa alteração no regime de chuva e nas vazões dos rios começa a afetar as atividades econômicas, forçando as mesmas a adaptações. Atualmente é possível o plantio de alguns vegetais mais resistentes à seca, graças ao desenvolvimento de pesquisas de modificação genética (JORNAL NACIONAL, 2014). Na Região Nordeste a intensificação da seca deverá contribuir com crises na agricultura, principalmente a de subsistência (PBMC, 2013).

Outra consequência diz respeito à diminuição do volume dos reservatórios de acumulação para geração de energia elétrica. É esperado um provável racionamento de energia, considerando que cerca de 90% da matriz energética brasileira é proveniente de hidrelétricas (ANA, 2013).

Sendo assim, é essencial a adoção de medidas que possam contribuir para uma melhor adaptação das cidades às alterações do clima. Desde aquelas que possam ser incorporadas à rotina da população até adequações na infraestrutura urbana, ou seja, ações mitigadoras baseadas na melhoria das condições das cidades brasileiras.

A ocorrência de eventos extremos relacionados a grandes cheias, principalmente nas cidades das regiões Sul e Sudeste, e secas na Região Norte e Nordeste, conforme foi apontado no último relatório do PBMC (PBMC, 2013), deixa clara a importância de soluções que venham a minimizar futuros desastres.

Uma grande contribuição para adequação e melhoria desse provável cenário seria a devida atribuição de importância à gestão da água no meio urbano, que tem como ações principais (DORNELLES, 2012):

- utilização racional da água;
- redução do seu consumo;
- tratamento dos efluentes;
- renaturalização dos cursos de água degradados;
- controle, na fonte, do escoamento superficial da água de chuva;
- aproveitamento de água da chuva.

A captação e o aproveitamento de água da chuva permitem um melhor uso da água potável, reduzindo os custos para as companhias de abastecimento. Além disso, observa-se a conservação dos recursos hídricos, diminuindo também o impacto nos sistemas de drenagem urbana e o assoreamento dos rios (VELOSO *et al.*, 2013). Incentivadas por programas do Governo Federal, como o Água para Todos, algumas regiões brasileiras com problemas já conhecidos de escassez de água vêm adotando essa técnica para amenizar os períodos de escassez de água.

Em termos legislativos, alguns estados e municípios brasileiros já possuem instrumentos que disciplinam sobre esse assunto, como é o caso dos municípios do Rio de Janeiro e Niterói, ambos localizados na região metropolitana do estado.

No caso do município de Niterói, o Decreto-lei n° 2.630, de 07 de janeiro de 2009, disciplina sobre os procedimentos relativos à captação das águas pluviais para reaproveitamento e retardo da descarga no sistema público de drenagem (NITERÓI, 2009). Em seu artigo primeiro, a lei determina que as novas edificações com área impermeabilizada superior a 500 m² deverão ter um reservatório para captação de água da chuva.

Para o dimensionamento do reservatório, a lei exige em seu artigo terceiro que a capacidade deste seja calculada com base em uma equação que tem como parâmetros a área do telhado da edificação, uma altura pluviométrica fixa e um coeficiente de abatimento.

Paralelamente às legislações municipais vigentes, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) possui algumas normas cujo objetivo é orientar quanto ao uso de água da chuva.

A NBR 15.527/2007 fornece requisitos para o aproveitamento de água da chuva de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis (ABNT, 2007). Dentre outros, a norma descreve alguns métodos para cálculo do reservatório de acumulação de água pluvial.

No entanto, ao comparar o volume de reserva proposto pelo Decreto-lei n° 2.630, de 07 de janeiro de 2009, do município de Niterói, e as metodologias indicadas pela NBR 15.527/2007, foi verificada uma diferença considerável entre os resultados obtidos, tomando como exemplo uma edificação localizada na região central do município.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é verificar se a legislação atualmente aplicada no município de Niterói, quanto ao dimensionamento de reservatórios para captação de águas pluviais, é suficiente para atender a possíveis problemas relacionados às cheias urbanas e também aos problemas de desabastecimento de água.

A intenção é contribuir para a racionalização do uso da água no meio urbano e para o desenvolvimento de propostas relacionadas ao aproveitamento das águas pluviais, de forma a diminuir o impacto nos sistemas de drenagem, além de também atuar na prevenção de possíveis problemas de desabastecimento, levando em consideração os efeitos das mudanças climáticas de uma forma geral.

Como objetivos específicos, podem ser pontuados:

- contribuir para o estabelecimento de requisitos técnicos para a captação de águas pluviais, através de parâmetros que levem em consideração as características das chuvas e das coberturas de uma determinada área;
- verificar se o dimensionamento proposto na lei é adequado;
- propor melhorias para o dimensionamento.

1.3 QUESTÃO A SER RESPONDIDA

A questão da pesquisa a ser respondida trata da capacidade dos reservatórios atualmente propostos pela lei municipal, da seguinte forma: o dimensionamento dos reservatórios proposta pela Lei n° 2.630, de 07/01/2009, do município de Niterói, é suficiente para minimizar os problemas relativos ao impacto no sistema de drenagem e de desabastecimento?

1.4 METODOLOGIA

A metodologia aplicada neste trabalho consiste em uma revisão bibliográfica objetivando fundamentação teórica para subsidiar o estudo de caso proposto.

A pesquisa bibliográfica abrange a leitura de publicações específicas, livros técnicos, artigos e periódicos relacionados ao uso e manejo sustentável dos recursos hídricos, além dos efeitos causados pelas mudanças climáticas nos mesmos.

No que diz respeito ao estudo de caso, foi realizado um levantamento de características da cobertura de uma edificação localizada no centro de Niterói, Rio de Janeiro, que em conjunto com a análise de dados meteorológicos do município permitiram uma avaliação dos parâmetros utilizados nos cálculos de reservatórios de águas pluviais.

Os resultados desta avaliação servirão como base para determinar índices de aproveitamento de águas pluviais na região estudada.

1.5 JUSTIFICATIVA

Estima-se que esta pesquisa venha a ter uma boa aceitação junto aos gestores públicos, quanto à implantação adequada de sistemas de captação e reserva de águas pluviais, permitindo assim uma melhoria na ambiência urbana, principalmente nas grandes cidades, muitas vezes palcos de desastres relacionados às cheias e mais recentemente, com graves problemas de abastecimento.

Além disso, é esperada a contribuição ao conhecimento técnico-científico, ao demonstrar as possibilidades que o sistema de captação de águas pluviais pode oferecer.

Sobre os efeitos socioambientais, espera-se conscientização dos gestores e construtores quanto à possibilidade da redução dos impactos dos edifícios na infraestrutura das cidades.

Considerando toda a temática abordada neste trabalho, o mesmo está inserido na Linha de Pesquisa Gestão Ambiental e Desempenho do Ambiente Construído,

2 BASE CONCEITUAL

2.1 APROVEITAMENTO DE ÁGUA DA CHUVA

2.1.1 Histórico

Desde que o homem passou a viver de forma sedentária, adotando a agricultura como forma de subsistência, a demanda pela água passou a ser determinante nas escolhas das áreas a serem ocupadas pelas comunidades (HELLER; PÁDUA, 2010).

A utilização da água para abastecimento se tornou uma questão a ser solucionada. Inúmeras técnicas de manejo desse recurso foram desenvolvidas, a partir principalmente da necessidade de ocupação de novas áreas e do desenvolvimento de atividades econômicas e de subsistência. De acordo com Heller e Pádua (2010), à medida que as civilizações foram percebendo a importância da água para o desenvolvimento de suas culturas e também para a saúde humana, cresceu também a preocupação com a qualidade da mesma, com a preservação dos mananciais e das bacias contribuintes.

Desta maneira, não é de hoje que são conhecidas as inúmeras possibilidades provenientes da captação de água da chuva. Desde os primórdios da humanidade esse método já era desenvolvido para obtenção de água para consumo humano, criação de animais e produção agrícola (POMARES, 2010).

Sabe-se que algumas civilizações utilizavam esse recurso para fins táticos militares, como é caso dos egípcios (POMARES, 2010), outras, como os Incas, reservavam a água da chuva para satisfazer crenças religiosas (HELLER; PÁDUA, 2010).

Segundo Pomares (2010), os árabes utilizavam os chamados “aljibes” para armazenar a água captada das chuvas na região sul da Espanha. Já os Maias denominavam “chutlunes” os locais onde a água era armazenada. O povo azteca também desenvolveu tecnologias para o aproveitamento das águas pluviais, inclusive com o plantio de insumos agrícolas nas adjacências dos chamados “colchas”.

Podemos verificar o aproveitamento de água da chuva em inúmeros locais de clima mais quente, onde muitas vezes a única maneira de obter água doce é através da captação de água da chuva, como é o caso da Jordânia e das Ilhas Virgens (POMARES, 2010).

Na região do semiárido brasileiro, a construção de cisternas para a captação de água da chuva vem sendo a solução para os longos períodos de estiagem experimentados pela região, favorecendo, assim, a produção agrícola e a criação de gado, suas principais atividades econômicas. De acordo com dados da Articulação de Semiárido (ASA), desde o ano de 2003 foram construídas cerca de 490 mil cisternas na região (ASA, 2014).

2.1.2 Cenário atual

Tendo em vista a relevância que a preservação dos recursos naturais vem adquirindo, é incontestável o peso que as práticas consideradas sustentáveis vêm tomando nas decisões de projeto para as construções recentes, de maneira a aprimorar a eficiência das mesmas.

No entanto, no que diz respeito à aplicação dessas medidas no meio urbano, ainda há muito a ser feito. De acordo com Sakellari *et al.* (2005), a introdução de um número maior de práticas sustentáveis no desenvolvimento das cidades precede de investimentos em novas tecnologias para melhoria dos sistemas existentes e implementação de novas estruturas. Para a aplicação desse conceito no manejo de águas urbanas seria necessário o investimento em novas tecnologias que melhor solucionassem os problemas relativos à drenagem e ao reuso das águas, no que diz respeito tanto à coleta e também ao tratamento.

Essa conservação da água requer iniciativas que aperfeiçoem a eficiência do seu uso. Em muitos países, segundo Tomaz (2003), já é uma realidade a implementação de programas que visem essa conservação, através de medidas e incentivos que permitam um uso sustentável dos recursos hídricos, tais como uso de aparelhos sanitários mais eficientes, diminuição das perdas de água nos sistemas públicos, reciclagem, reuso da água e disseminação de informações à população.

Através de incentivos financeiros, algumas cidades da América do Norte vêm adotando sistemas para a captação de água da chuva. Em Austin, no Estado do Texas, nos Estados Unidos, são pagos U\$\$ 500 para o cidadão que fizer a instalação do sistema. No Japão o incentivo tem como objetivo a segurança do abastecimento de água em caso de emergência, enquanto que na Austrália a intenção é que as residências economizem até 25% da água do serviço público ao utilizar as águas da chuva e de reuso (TOMAZ, 2003).

O planejamento urbano e a legislação urbanística também são ferramentas essenciais para a promoção de medidas conservacionistas (BAHIA, 2012), orientando, assim, o uso e a ocupação do solo nos municípios.

Ainda de acordo com Bahia (2012), algumas estratégias de ação com vistas à sustentabilidade das construções podem ser adotadas nas diretrizes dos códigos de obra municipais. Os principais momentos de atuações dessas medidas seriam durante a escolha do local a ser implantado o edifício, durante a elaboração do projeto de arquitetura, na fase de obra de construção de novas edificações, reforma e restauração das existentes.

Dentre algumas medidas, a escolha do local onde a edificação será erguida é determinante para assegurar um menor impacto no meio ambiente urbano, sendo assim, é orientado pelo Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) que seja realizado um Estudo de Impacto Ambiental e de Vizinhança (BAHIA, 2012).

Durante a elaboração do projeto de arquitetura, o respeito a padrões de conforto ambiental — estudo bioclimático do local —, de eficiência energética e de sustentabilidade podem assegurar um melhor desempenho energético do empreendimento. Nessa fase também pode ser garantido um manejo sustentável da água urbana por meio de sistemas de reuso de águas servidas e captação de águas pluviais, quando houver possibilidade (BAHIA, 2012).

As águas servidas são aquelas derivadas de vasos sanitários, chuveiros, lavatórios, banheiras, tanques, máquinas de lavar roupa e louça, provenientes efluentes domésticos e comerciais. Podem ser classificadas em águas cinzas — quando têm origem de chuveiros, lavatórios de banheiros, banheiras, tanques, máquinas de lavar louça e roupa — e águas negras, aquelas provenientes de vasos sanitários e pias de cozinha (VIGGIANO, 2010).

Quando não separadas, as águas servidas podem ser tratadas e lançadas no meio ambiente. Já as águas cinzas tratadas podem ser utilizadas na irrigação e lavagem de pisos e calçadas, sendo necessária a desinfecção em caso de contato humano. Para uso direto em vasos sanitários, recomenda-se apenas o uso de efluente proveniente de máquinas de lavar roupa, devidamente tratada para retirada do excesso de saponáceo (VIGGIANO, 2010).

Ainda segundo Viggiano (2010), o reuso de águas cinzas pode ser feito de três maneiras:

- reuso direto das águas cinzas: as águas passam por um retentor de sólidos e seguem para um reservatório específico;
- reuso das águas cinzas com filtragem: retenção de sabão, sólidos e gorduras corporais, passando posteriormente por um processo de reação aeróbica bacteriana, filtragem com areia e filtragem com carvão ativado;
- reuso das águas cinzas com tratamento completo: só aconselhável quando o volume de água a ser tratado é muito grande, devendo ser eliminados os resíduos

de saponáceos e o óleo. Tem um custo levado pois envolve aplicações de produtos químico, floculação e filtragens.

A captação de água da chuva pode ser considerada um método alternativo e eficiente de abastecimento de água, principalmente em regiões de baixa pluviosidade. A essa necessidade de abastecimento soma-se a possibilidade de redução de custos na obtenção de água através das redes de distribuição. Segundo Dornelles (2012), esse tipo de aproveitamento pode ser mais atrativo em edificações de uso comercial e industrial, onde o consumo de água não potável e áreas de captação são maiores, comparados às edificações residenciais.

A impermeabilidade do solo, cada vez mais frequente nas grandes cidades, pode ser considerada um obstáculo para a infiltração da água. Sendo assim, a captação de águas pluviais pode ser uma solução para as enchentes, causadas muitas vezes por chuvas torrenciais.

Os benefícios ambientais do aproveitamento de água da chuva são relevantes, pois podem contribuir com a recarga de aquíferos ao serem destinados à irrigação, além de também permitirem uma menor captação de água dos mananciais superficiais. Com um volume maior de água, esses corpos hídricos têm uma maior capacidade de diluição de contaminantes e de manutenção do ecossistema (DORNELLES, 2012).

2.2 BENEFÍCIOS DO USO DE ÁGUA DA CHUVA NA INFRAESTRUTURA URBANA

Podemos dizer que os benefícios oferecidos pelo sistema de captação de água da chuva se relacionam tanto com aspectos ambientais quanto econômicos.

Quanto aos aspectos econômicos, é necessário que se faça uma avaliação dos custos de implantação do sistema de forma a comparar com a economia obtida na redução do consumo de água tarifada.

Em um estudo para a implantação do sistema em uma indústria, com área de captação de 16.960 m², Mierzwa *et al.* (2007) concluíram que o consumo de água tratada poderia ser reduzido em até 46%, com um retorno esperado do investimento em até 2,06 anos.

No entanto, de acordo com Dornelles (2012), os resultados obtidos nos diversos estudos que vêm sendo feitos a respeito dessa temática não podem ser generalizados, pois as

características dos locais de implantação são únicas, não podendo ser replicadas sem uma devida análise de sua viabilidade.

Para Dornelles (2012), devem ser observadas três características do sistema para avaliação dos benefícios econômicos. A relação entre a demanda de água e o volume de água captado pode reduzir os gastos com o consumo da água da rede de abastecimento, reduzindo também o prazo de retorno do investimento feito.

A capacidade dos reservatórios também exerce um grande peso para viabilizar o sistema. Apesar do volume captado por grandes reservatórios diminuir o consumo da água tarifada, a construção dos mesmos exige um aporte financeiro maior, sendo necessária a adoção de um volume ótimo, de forma a conjugar os custos de construção com o tempo de retorno financeiro desejável (DORNELLES, 2012).

Dornelles (2012) ainda cita a área de captação como importante característica a se observar. Quanto maior a área de captação, maior a reserva e maior a economia no consumo de água tarifada, no entanto, maior também será o volume de água extravasado, conseqüentemente reduzindo o nível de aproveitamento.

Os benefícios ambientais da adoção sistema de captação de água da chuva geralmente são relacionados à possibilidade de escassez de água mundial, devido principalmente ao aumento populacional e mais recentemente às mudanças climáticas, que podem estar impactando a disponibilidade hídrica de algumas regiões do planeta.

Segundo Tomaz (2003), na região metropolitana de São Paulo — estado que nos dias atuais passa por uma grave crise de abastecimento — o uso de água da chuva, da água servida e do esgoto sanitário tratado poderiam diminuir o volume de água utilizado proveniente do Sistema Cantareira.

No que diz respeito à drenagem urbana, o alcance de um desenvolvimento urbano equilibrado e sustentável depende de fatores que vão além dos limites da engenharia. A adoção de uma política eficaz para o setor, juntamente com uma política de ocupação do solo e um planejamento que integre as medidas de drenagem de águas pluviais são alguns dos fatores determinantes para se obter um controle eficaz das enchentes e redução acentuada dos transtornos e prejuízos causados ao poder público (TUCCI, 2009).

De acordo com esses mesmos autores, o pico de cheia em uma bacia urbanizada pode ser até seis vezes maior do que o pico dessa mesma bacia em condições naturais (TUCCI, 2009).

À medida que a cidade se urbaniza, verifica-se uma alteração cada vez maior no escoamento superficial da bacia hidrográfica e um aumento das inundações urbanas de grande impacto.

A inter-relação dos diversos processos que ocorrem em uma área urbana tem efeitos que geralmente estão relacionados ao aproveitamento dos recursos hídricos, desde o controle da poluição dos corpos d'água até o controle de inundações. As soluções mais eficazes para essa problemática seriam aquelas que atuam também sobre suas causas. A Tabela 1 explicita melhor essas relações de causa e efeito.

Tabela 1: Causas e efeitos da urbanização sobre as inundações urbanas

Causas	Efeitos
Impermeabilização Redes de drenagem Lixo Rede de esgoto deficiente	Maiores picos e vazões Maiores picos a jusante Degradação da qualidade da água, entupimento de bueiros e galerias, degradação da qualidade da água Moléstias de veiculação hídrica Inundações
Desmatamento e desenvolvimento desordenado	Maiores picos e volumes Mais erosão, assoreamento de canais e galerias
Ocupação das várzeas	Maiores prejuízos, maiores picos, maiores custos

Fonte: Tucci (2009).

Segundo Tucci (2009), as consequências da urbanização sobre o clima, apesar de consideradas de menor escala em comparação aos impactos hidrológicos, podem, a longo prazo, introduzir alterações significativas no balanço hídrico.

O crescimento rápido e desordenado das cidades tem influência sobre a questão da drenagem, principalmente no que diz respeito ao uso do solo. O grande número de edificações e ocupações irregulares cria uma demanda de serviços de drenagem que, quando deficientes, aumentam a possibilidade de ocorrência de inundações.

A Figura 1 demonstra a diferença entre os volumes escoados em áreas urbanizadas e não urbanizadas, em função do tempo.

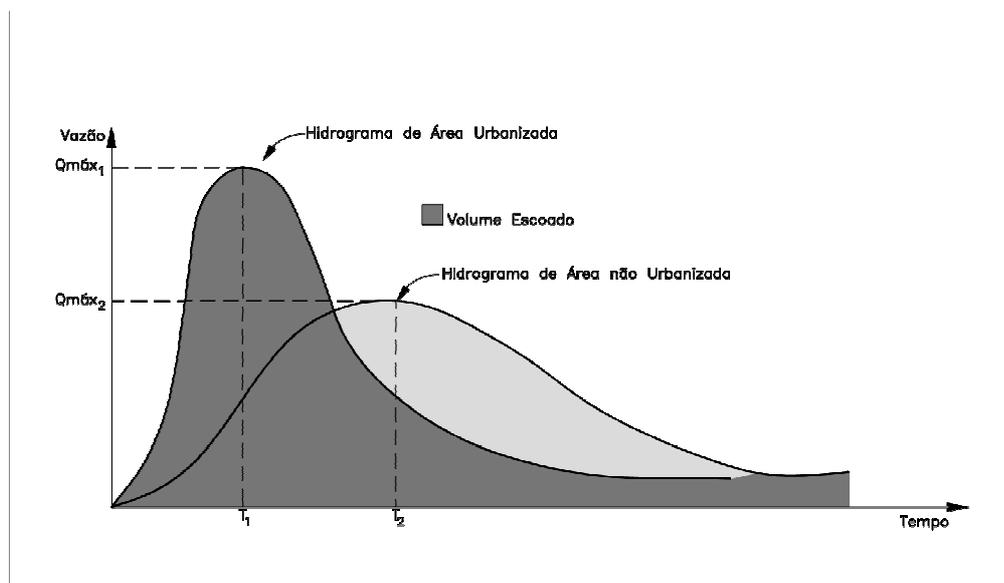


Figura 1: Hidrograma de áreas urbanizadas x áreas não urbanizadas.

Fonte: Adaptado de Tucci (2009).

O aumento do escoamento superficial devido à impermeabilização dos solos acarreta a intensificação de inundações, o que contribui para a proliferação de vetores causadores de doenças. De acordo com a Tabela 2, é considerável a quantidade de doenças de veiculação hídrica que ocorrem tanto em razão do abastecimento inadequado quanto por águas contaminadas.

Assim, de acordo com Dornelles (2012), a utilização de sistemas de aproveitamento de água da chuva pode contribuir com a redução dos picos de vazão e do volume de água na rede pluvial pública. Dessa maneira, este vem sendo tema de muitos debates em uma sociedade cada vez mais sensível às questões ambientais. Dornelles (2012) acredita que o surgimento de novas publicações, normas e legislações específicas reflete essa situação.

Tabela 2: Doenças relacionadas com a água

Transmissão	Doença	Agente patogênico	Medidas
Pela água	Cólera Febre tifoide Giardíase Amebíase Hepatite infecciosa Diarreia	<i>Vibrio cholerae</i> , <i>Salmonella typhi</i> , <i>Giardia lamblia</i> , <i>Entamoeba histolytica</i> , Hepatite vírus A e E, <i>Balantidium coli</i> , <i>Bacillus cereus</i> , entre outros	Implantar sistema adequado de abastecimento e tratamento de água Proteger de contaminação os mananciais e as fontes de água
Pela falta de limpeza e higienização com a água	Escabiose Pediculose Tracoma Conjuntivite bacteriana Salmonelose Tricuríase Enterobiose Ancilostomíase Ascaridíase	<i>Sarcoptes scabiei</i> , <i>Pediculus humanus trichiura</i> , <i>Clamidia trachomatis</i> , <i>Haemophilus aegyptius</i> , <i>Salmonella typhimutium</i> , <i>Trichurus Enterobius vermiculares</i> , <i>Ancylostoma duodenale</i> , <i>Ascaris lumbricoides</i> ,	Implantar sistema adequado de esgotamento sanitário Instalar abastecimento de água adequado Melhorias sanitárias domiciliares e coletivas Instalar reservatório de água adequado, com limpeza sistemática
Por vetores que se relacionam com a água	Malária Dengue Febre amarela Filariose	<i>Plasmodium vivax</i> , <i>P. malarie</i> , Grupo B dos arbovirus, RNA vírus, <i>Wuchereria bancroft</i>	Eliminar o aparecimento de criadouros de vetores com inspeção sistemática e medidas de controle (drenagem, aterro e outros) Destinação adequada dos resíduos sólidos
Associada a água	Equistossomose Leptospirose	<i>Schistosoma mansoni</i> , <i>Leptospira interrogans</i>	Controlar vetores e hospedeiros intermediários

Fonte: Adaptado de FUNASA (2006).

2.3 DISPONIBILIDADE DE ÁGUA NO MUNDO E O CICLO HIDROLÓGICO

Em todo o planeta temos disponíveis em água doce apenas 2,5% do volume total de água, considerando que 97,5% desse volume é de água salina. Desses 2,5%, aproximadamente 70% encontra-se sob a forma de gelo (TOMAZ, 2003).

Ainda, do volume total de água doce devem ser considerados os 29,9% que estão sob o solo. Apenas 0,266% da água doce mundial estão nos lagos, rios e reservatórios, o que significa 0,007% do total da água doce do planeta (TOMAZ, 2003).

Observa-se um desequilíbrio na distribuição da água nas diversas regiões do planeta, inclusive com previsões de falta desse recurso para pelo menos 1/3 da população mundial no século XXI (TOMAZ, 2003). Sendo assim, podemos considerar que um dos motivos para tais dificuldades seria a interferência direta das atividades antrópicas no ciclo hidrológico da terra.

O ciclo hidrológico pode ser definido como a movimentação cíclica da água no meio físico, ou seja, entre a superfície terrestre e a atmosfera. Consiste basicamente na evaporação da água dos oceanos e dos aquíferos superficiais e na sua posterior precipitação e retorno à superfície e aquíferos subterrâneos, novamente dando início ao ciclo.

O calor proveniente da radiação solar faz com que a água dos oceanos, rios e lagos evapore. A condensação do vapor d'água dá início à formação das nuvens que, sob condições favoráveis, precipitam sobre a superfície terrestre.

O retorno da água aos oceanos e mares se dá através do escoamento dos rios até o mar, e também através da precipitação direta sobre os mesmos, conforme é ilustrado na Figura 2.



Figura 2: Ciclo hidrológico.

Fonte: USGS Water Resources¹.

2.3.1 Componentes do ciclo hidrológico

A) Precipitação

É o retorno da água à superfície terrestre após a condensação do vapor d'água atmosférico. A precipitação pode ocorrer sob a forma de chuva, neve, granizo ou orvalho.

Sua formação está relacionada ao movimento vertical das massas de ar, que ao alcançarem níveis mais altos se expandem devido à diminuição da pressão. Essa expansão é

¹ Disponível em: <http://water.usgs.gov/edu/watercycleportuguese.html>. Acesso em mar. 2013.

acompanhada pela queda da temperatura da massa de ar, que resfriada atinge seu ponto de saturação com a consequente condensação do vapor em gotículas, formando as nuvens. Uma vez formadas, os núcleos higroscópicos, ao adquirirem peso suficiente, darão início à precipitação (TUCCI, 2009).

As precipitações são classificadas de acordo com a origem do deslocamento da massa de ar:

- chuvas orográficas: são aquelas que ocorrem em locais de relevo muito acidentado, onde o ar é forçado mecanicamente a transpor as barreiras impostas pelas montanhas;
- chuvas convectivas: geralmente ocorrem na região tropical e são responsáveis por grandes temporais. Devido ao aquecimento da superfície terrestre, o ar inferior aquecido e úmido se torna menos denso e, ao resfriar rapidamente durante sua ascensão, ocasiona as chuvas;
- chuvas frontais: ocorrem devido ao encontro de duas massas de ar de naturezas diferentes, uma fria e outra quente úmida. Esse choque entre as massas faz com que o ar quente se desloque para cima e provoque as chuvas.

As chuvas são caracterizadas através das seguintes grandezas:

- altura pluviométrica (h): geralmente medida em milímetros (mm), a altura pluviométrica é a quantidade de água precipitada por unidade de área horizontal. Está relacionada à altura que a água atingiria se permanecesse no local sem evaporar, escoar ou infiltrar;
- duração (t): tempo decorrido desde o início da chuva até o seu fim;
- intensidade (i): velocidade da precipitação. É a relação entre a altura pluviométrica de uma precipitação e sua duração. Pode ser medida em milímetros por hora (mm/h) ou milímetros por minuto (mm/min);
- frequência: número de ocorrências de uma determinada precipitação (t, i) em um determinado intervalo de tempo.

B) Interceptação

A interceptação pode ser entendida como toda a água precipitada que fica retida acima da superfície do solo. Pode ocorrer devido à vegetação ou outra forma de obstrução ao

escoamento. O retorno desse volume de água à atmosfera se dará através da evaporação, dessa maneira retardando e reduzindo o escoamento superficial e o pico das cheias (TUCCI, 2009).

Através da interceptação a floresta pode diminuir a água que chega ao solo em até 25% da precipitação anual (LIMA, 2008). Em chuvas consideradas pequenas, quase todo seu volume fica retido nas copas das árvores e de lá é diretamente evaporado (LIMA, 2008), enquanto que chuvas de maior volume têm 10 a 40% de seu volume retido (TUCCI, 2009).

Os processos hidrológicos envolvidos nesse fenômeno de recebimento e distribuição de água da chuva pela floresta podem ser conceituados da seguinte forma (LIMA, 2008):

- interceptação: água que fica retida acima do solo pela vegetação, posteriormente sendo redistribuída em três fases: água que goteja no solo, água que escoo pelo tronco, água que volta à atmosfera por evaporação. A interceptação pode ser considerada insignificante nos períodos de chuvas mais intensas e de maior duração, pois as mesmas atravessam as copas com maior facilidade. Por conseguinte, conclui-se que a interceptação pouco influencia as cheias dos rios, quando transbordam e inundam as áreas adjacentes (BALBINOT *et al.*, 2008);
- precipitação incidente: quantidade total de chuva que é medida acima das copas ou em terreno adjacente à floresta;
- precipitação interna: é a chuva que atravessa a copa das árvores, incluindo as gotas que passam por entre as aberturas existentes entre a folhagem e as gotas que respingam da copa;
- escoamento pelo tronco: água que após ficar retida pela copa escoo pelo tronco em direção à superfície;
- precipitação efetiva: é a água da chuva que chega ao solo. A quantificação da precipitação é feita em postos localizados em clareiras próximas às áreas de interesse (TUCCI, 2009).

C) Evaporação e evapotranspiração

Os processos de evaporação e evapotranspiração ocorrem quando há conversão de água em estado líquido para o estado de vapor, através do ingresso de energia no sistema, sendo posteriormente transferida para a atmosfera. Essa energia tanto pode ser proveniente do sol quanto da atmosfera, ou de ambos (TUCCI, 2009).

Em meteorologia, o termo evaporação pode ser definido como a passagem da água em estado líquido para vapor pela ação da radiação solar e pelos processos de difusão

molecular e turbulenta. Esse processo pode sofrer a intervenção de alguns fatores, além da radiação solar, tais como a temperatura do ar, o vento e a pressão de vapor.

O sol fornece a energia necessária para que aconteça o processo de evaporação, sendo sua incidência determinada basicamente pela latitude, altitude e condições meteorológicas. A relação direta da radiação com a temperatura do ar influencia a intensidade de evaporação favoravelmente, já que com a elevação da temperatura o ar adquire uma maior capacidade de conter o vapor d'água. Os ventos atuam ativamente nesse fenômeno devido ao afastamento das massas de ar que já tenham elevado grau de umidade. Segundo Tucci (2009), a evaporação é proporcional à diferença entre a pressão do vapor saturado, a temperatura da água e a pressão do vapor.

A evapotranspiração é a perda de água por evaporação do solo e transpiração da planta, e é de grande importância para o balanço hídrico de uma bacia, pois poderá determinar a necessidade ou não de irrigação (TUCCI, 2009).

Em áreas florestadas a evaporação da água do solo ocorre através do processo da transpiração, já que a presença da floresta protege sua superfície dos efeitos da radiação solar (BALBINOT *et al.*, 2008).

D) Infiltração

É a penetração da água nas camadas superficiais do solo por meio da ação da gravidade até que seja atingida uma camada impermeável, formando um lençol d'água. Pode ser dividida em três fases, de acordo com as camadas do terreno (TUCCI, 2009):

- fase de intercâmbio: ocorre nas camadas superficiais, em virtude da aspiração capilar ou da utilização da água pelas plantas;
- fase de descida: a capilaridade é superada pela gravidade, a água escoar até atingir a camada impermeável;
- fase de circulação: graças à declividade das camadas impermeáveis, que faz com que a água escoar, ocorre a formação dos lençóis subterrâneos.

As fases de intercâmbio e descida estão localizadas na zona de aeração, enquanto que a fase de circulação encontra-se na camada de saturação.

A infiltração é caracterizada através das seguintes grandezas:

- velocidade de infiltração: velocidade média com que a água se infiltra no solo;

- capacidade de infiltração: é a taxa máxima de água que pode ser absorvida por um solo, sob determinada condição.

A capacidade de infiltração de um solo é influenciada pela porosidade e pelo tamanho das partículas do mesmo. Quanto maior a partícula desse solo, maior será sua porosidade e, conseqüentemente, maior sua capacidade de infiltração.

Outros fatores determinantes dessa capacidade de absorção de água são a cobertura vegetal e a umidade do solo. Solos mais úmidos absorvem menos água. A cobertura vegetal irá influenciar na capacidade de absorção de acordo com o tipo de vegetação e seu estágio de desenvolvimento (TUCCI, 2009).

O piso florestal é determinante na capacidade de infiltração do solo. De acordo com Johnson (1940, apud BALBINOT *et al.*, 2008), a remoção do piso florestal reduz a capacidade de infiltração em cerca de 40%. Ao possuir camadas de matéria orgânica em decomposição em sua superfície, o solo sofre um impacto menor das gotas de água da chuva, sendo mantidas as condições adequadas à infiltração. Balbinot *et al.* (2008) afirmam que a taxa de infiltração será tanto maior quanto forem a densidade e a idade do povoamento vegetal. Ainda de acordo com esses mesmos autores, a capacidade de infiltração do solo é prejudicada pelo corte raso e a colheita desordenada das árvores de uma determinada floresta, sendo intensificada pelo excesso de tráfego de máquinas de grande porte.

E) Escoamento Superficial – Deflúvio

Essa fase tem início quando a capacidade de infiltração do solo é excedida e a água passa a escoar pela superfície, sendo coletada pelas pequenas depressões existentes, posteriormente dando origem aos cursos d'água (enxurradas, córregos, rios).

Durante o processo de escoamento superficial, a água tanto pode escoar pela superfície quanto pode infiltrar no solo e circular sob a forma de água subterrânea.

Alguns fatores são determinantes no processo de escoamento superficial, desde aqueles que afetam a quantidade de água precipitada — quantidade de vapor d'água, clima, estações do ano — até aqueles que afetam o afluxo da água na seção em estudo — relevo, cobertura da bacia, modificações artificiais do rio, condições geológicas do solo.

A resposta de uma bacia hidrográfica a uma precipitação pode ser representada por um gráfico denominado hidrograma. Essa distribuição da vazão no tempo é resultado da interação de todos os componentes do ciclo hidrológico entre a ocorrência da precipitação e a

vazão na bacia hidrográfica (TUCCI, 2009). A Figura representa um comportamento típico de um hidrograma após a ocorrência de precipitações.

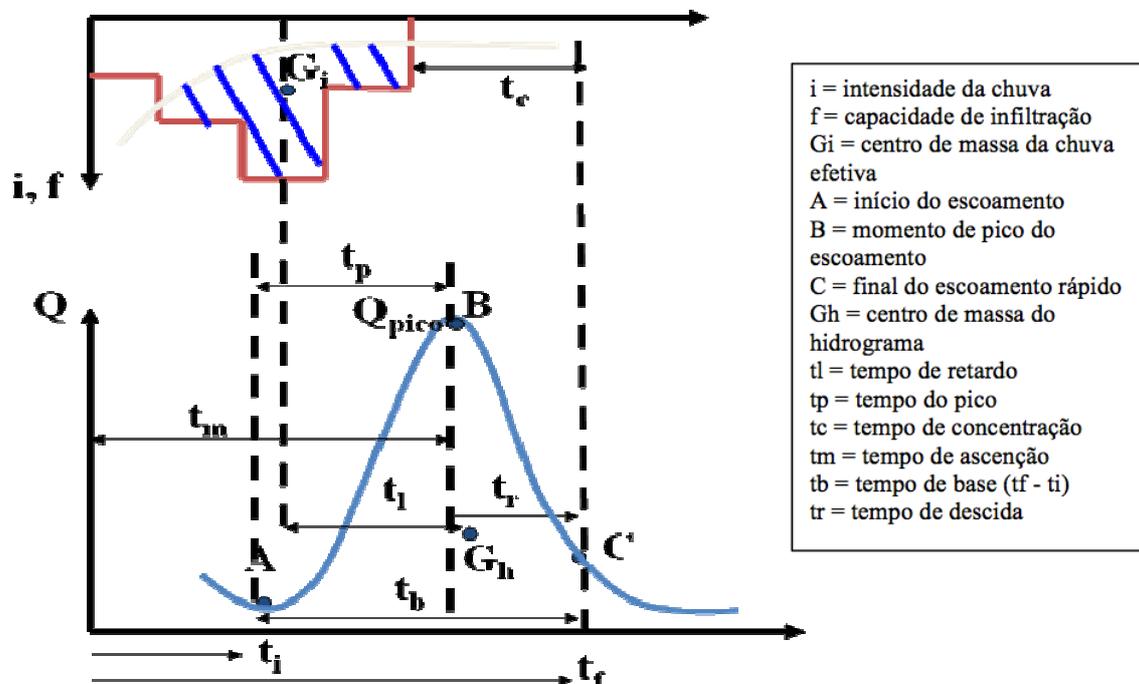


Figura 3: Hidrograma após precipitação.
 Fonte: Ebah².

As perdas iniciais por interceptação vegetal e depressões no solo podem ser verificadas no intervalo de tempo existente entre o início das chuvas e o início em que o nível de água começa a se elevar. O escoamento superficial é predominante até o ponto máximo do gráfico, que caracteriza o fim do escoamento superficial e o início do escoamento subterrâneo (TUCCI, 2009).

De acordo com Tucci (2009), a forma do hidrograma pode ser afetada por alguns fatores, entre eles:

- relevo: uma bacia com boa capacidade de retenção de água e com grande declividade irá apresentar um hidrograma íngreme com pouco escoamento de base, o que pode ser observado nas cabeceiras dos rios. Grandes áreas de inundação tendem a regularizar o fluxo por meio de uma maior capacidade de amortecimento do escoamento;

² Disponível em: <http://www.ebah.com.br>. Acesso em abr. 2014.

- cobertura da bacia: uma bacia com cobertura vegetal torna o escoamento superficial menos intenso, além de diminuir as perdas por evapotranspiração. Com a alteração da cobertura nas bacias urbanas, o solo se torna impermeável, aumentando o fluxo do escoamento superficial;
- modificações artificiais no rio: a construção de reservatórios para a regularização de vazões tende a reduzir o pico, enquanto a canalização tende a aumentar o pico em decorrência do aumento da velocidade de escoamento;
- distribuição, duração e intensidade da precipitação: o comportamento de um hidrograma é baseado na distribuição da precipitação e na sua duração. As bacias de menor área sofrem maior influência das precipitações convectivas de alta intensidade, enquanto as bacias maiores sofrem um maior impacto com as precipitações frontais que atingem grandes áreas com intensidade média;
- solo: a umidade do solo irá influenciar na capacidade de maior ou menor infiltração das águas precipitadas. Quando o teor de umidade da cobertura vegetal, das depressões, da camada superior do solo e do aquífero for baixo, uma parcela considerável da precipitação é retida e o hidrograma reduzido.

A caracterização do hidrograma e do comportamento da bacia é feita através do uso de alguns valores de tempo (TUCCI, 2009):

- tempo de retardo (t_l): intervalo de tempo entre o centro de massa da precipitação e o centro de gravidade do hidrograma;
- tempo de pico (t_p): intervalo entre o centro de massa da precipitação e o tempo da vazão máxima;
- tempo de concentração (t_c): tempo necessário para que toda a bacia passe a contribuir para a seção principal. Também definido como o tempo entre o fim da precipitação e o ponto de inflexão do hidrograma;
- tempo de ascensão (t_m): tempo entre o início da chuva e o pico do hidrograma;
- tempo de base (t_b): tempo em que o rio volta às condições anteriores ao início da chuva;
- tempo de recessão (t_r): tempo necessário para a vazão baixar até o ponto C, quando acaba o escoamento superficial.

O hidrograma pode ser dividido em três partes principais que o caracterizam: *ascensão*, relacionada com a intensidade da precipitação; *região de pico*, a região próxima ao valor máximo, quando o hidrograma começa a mudar de inflexão; e *recessão*, fase na qual somente o escoamento subterrâneo está contribuindo para a vazão do rio.

2.3.2 Características das chuvas no Brasil

De acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA), o Brasil possui uma disponibilidade hídrica satisfatória, enquadrando-se dentro dos parâmetros de conforto da Organização das Nações Unidas (ONU) para o acesso aos recursos hídricos (ANA, 2013). No entanto, a disponibilidade hídrica do Brasil é distribuída de forma irregular, estando mais concentrada na região Amazônica.

A precipitação média no país, segundo relatório da ANA de 2013, é de 1.761 mm, com valores que variam entre 500 mm, no Nordeste, até 3.000 mm, na região Norte.

A Tabela 3 expõe como se comporta a precipitação média no território brasileiro.

Tabela 3: Precipitação média anual no território brasileiro no período de 1961 a 2007

Região hidrográfica	Total precipitado (mm)
Amazônica	2.205
Tocantins-Araguaia	1.774
Atlântico Nordeste Ocidental	1.700
Paranaíba	1.064
Atlântico Nordeste Oriental	1.052
São Francisco	1.003
Atlântico Leste	1.018
Atlântico Sudeste	1.401
Atlântico Sul	1.644
Uruguai	1.623
Paraná	1.543
Paraguai	1.359
Média Brasil	1.761

Fonte: Adaptado de ANA (2013).

A estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada no Rio de Janeiro, fez medições do volume de chuvas na cidade nos períodos de 1931 a 1961 e de 1961 a 1990 (Figura 4).

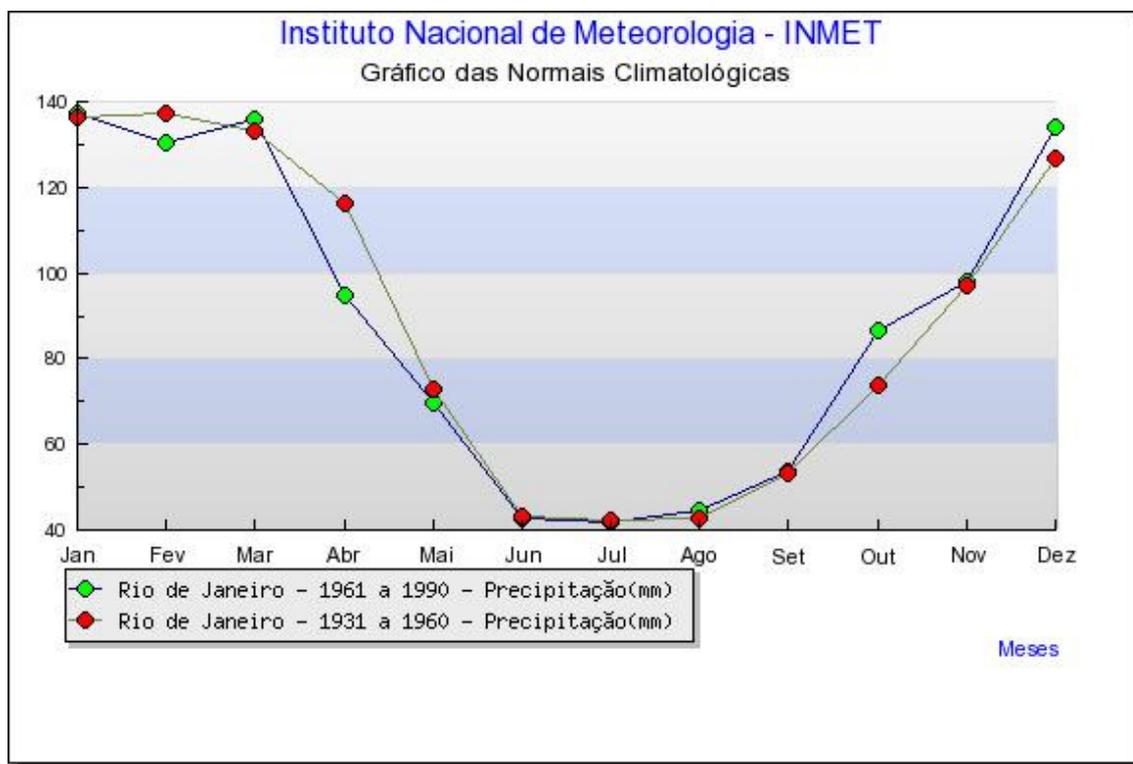


Figura 4: Normais climatológicas do Rio de Janeiro.
Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia³.

Como pode ser observado, a chuva apresentou comportamentos similares nos períodos registrados. No entanto, em alguns períodos o Estado do Rio de Janeiro passou por alguns períodos de eventos extremos relacionados à chuva, como foi o caso da cheia ocorrida em janeiro de 2011 na Região Serrana. Nessa ocasião as chuvas duraram seis dias e elevaram as vazões dos rios, provocando a morte de aproximadamente mil pessoas (ANA, 2013).

2.4 SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DA CHUVA

³ Disponível em:

<http://www.inmet.gov.br/html/clima/graficos/plotGraf.php?chklist=2%2C&capita=riodejaneiro%2C&peri=88%2C99%2C&per3160=88&per6190=99&precipitacao=2&riodejaneiro=34&Enviar=Visualizar>. Acesso em abr. 2014.

Basicamente, os sistemas de captação de água da chuva são formados por três itens, representados na Figura 5 e descritos a seguir.

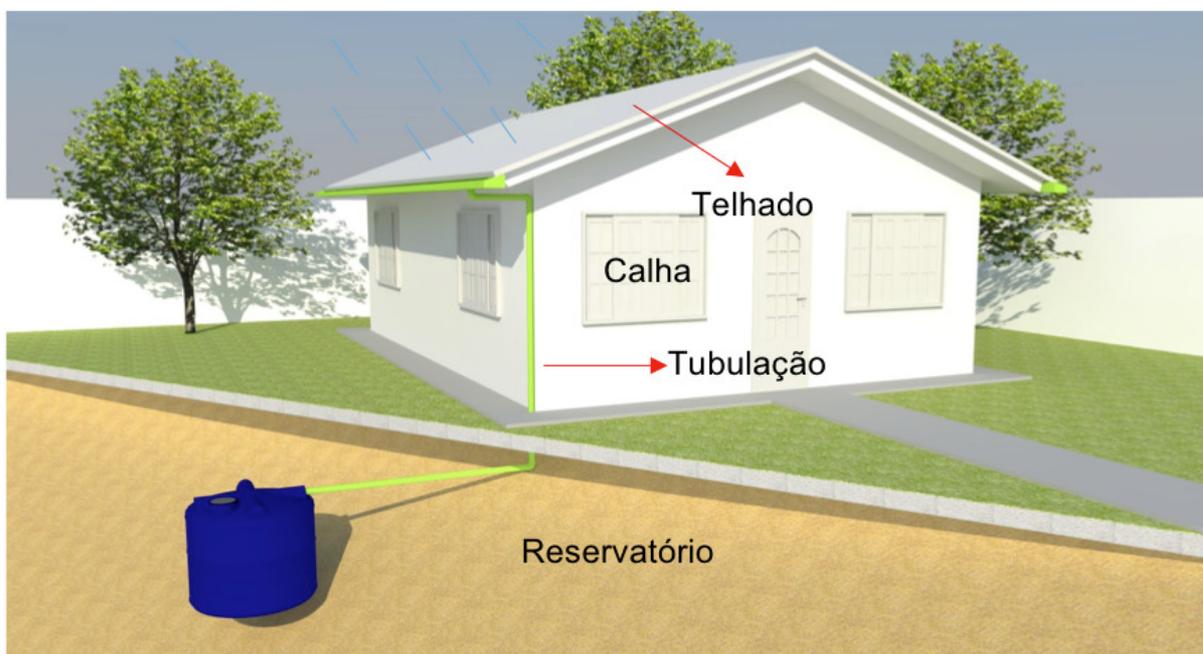


Figura 5: Esquema de um sistema de captação de água da chuva.

2.4.1 Área de captação

Segundo Tomaz (2003), a área de captação é formada pelos telhados das edificações, tanto industriais quanto residenciais, podendo ser compostos por telhas cerâmicas, de fibrocimento, zinco, ferro galvanizado, concreto armado, etc. De forma mais abrangente, a ABNT (2007) especifica a área de captação como a área em metros quadrados, projetada na horizontal, da superfície impermeabilizada da cobertura onde é feita a captação.

De acordo com Dornelles (2012), o material utilizado na cobertura interfere na qualidade da água que é coletada, podendo causar interferência em sua potabilidade. Contaminantes provenientes de materiais biológicos, tais como fezes de animais e restos vegetais, também podem ser encontrados nas águas captadas nos telhados. Desta maneira, recomenda-se que a primeira água coletada seja descartada (TOMAZ, 2003).

O tipo de material utilizado na cobertura pode interferir tanto na qualidade quanto na quantidade de água captada, sendo os materiais porosos menos eficientes. Para Dornelles

(2012), essa perda é proveniente da saturação do material e da evaporação, uma perda contínua em menores precipitações pode ser significativa. Essa perda pode ser representada pelo **coeficiente de escoamento superficial** ou **coeficiente de runoff**, que, de acordo com a ABNT (2007), trata-se da relação entre o volume total de escoamento superficial e o volume total precipitado.

A estimativa dos valores utilizados para esse coeficiente, de acordo com Dornelles (2012), não é consensual, havendo variação entre as diferentes bibliografias existentes. Tomaz (2003) recomenda que o valor ótimo a ser adotado como coeficiente de runoff é igual a 0,80.

Dornelles (2012) alerta para a variação de valores desse coeficiente, devendo ser observada a finalidade da captação de água da chuva. No caso de abastecimento de água, recomenda-se a utilização de valores mais baixos. Se a intenção é funcionar como dispositivo de redução de alagamentos urbanos, deve ser utilizado um maior valor.

Estão demonstrados na Tabela 4 os diferentes coeficientes utilizadas por diferentes autores.

Tabela 4: Coeficientes de escoamento para áreas de captação

Autor	Superfície	Coeficiente de runoff
Hofkes e Frasier (1996)	Telha cerâmica	0,80 a 0,90
Hofkes e Frasier (1996)	Telhas de metal	0,7 0a 0,90
Wilken (1978)	Telhados	0,70 a 0,95
Wilken (1978)	Pavimentos	0,40 a 0,90

Fonte: Adaptado de Tomaz (2003).

2.4.2 Calhas e condutores

A ABNT (2007) recomenda que sejam seguidas as determinações da NBR 10.844 para especificação e dimensionamento das calhas e condutores, observando-se o período de retorno escolhido, a vazão do projeto e a intensidade pluviométrica.

De acordo com Tomaz (2003), para as áreas de cobertura até 100 m² de área de projeção horizontal, pode-se adotar a intensidade da chuva de 150 mm/h, ou 2,52 litros/min/m². A duração da precipitação deve ser fixada em t = 5 min (NBR 10.844).

Dornelles (2012) recomenda a remoção de detritos e sedimentos carreados junto com o escoamento, caso haja a intenção de aproveitamento de água da chuva. Para isso existem diversos tipos de dispositivos.

2.4.3 Reservatório

Devido à irregularidade de distribuição das chuvas ao longo do tempo, o volume do reservatório de captação de águas pluviais deve ser maior do que aquele necessário ao armazenamento de água potável (DORNELLES, 2012).

A ABNT (2007) recomenda que sejam atendidas as determinações da NBR 12.217, devendo ser considerados no projeto os seguintes dispositivos: extravasor, dispositivos de esgotamento, cobertura, inspeção, ventilação e segurança.

O volume de água a ser aproveitado está diretamente relacionado ao coeficiente de escoamento superficial, devendo ser calculado pela equação (1) (ABNT, 2007).

$$V = P \times A \times C \times \eta \text{ fator de captação} \quad (1)$$

Onde:

V: volume anual, mensal ou diário de água da chuva aproveitável;

P: precipitação média anual, mensal ou diária;

A: área de coleta;

C: coeficiente de escoamento superficial da cobertura;

η fator de captação: eficiência do sistema de captação, levando em conta o dispositivo de descarte de sólidos e o desvio de escoamento inicial, caso seja utilizado.

Para o dimensionando dos reservatórios, devem ser considerados os critérios técnicos, econômicos e ambientais. A ABNT (2007) recomenda algumas metodologias de cálculo, devendo ser justificado qualquer outro método.

Outras recomendações também são feitas por essa norma:

- deve ser feita a limpeza e a desinfecção dos reservatórios com solução de hipoclorito de sódio, no mínimo uma vez por ano, de acordo com a ABNT NBR 5.626;

- o volume não aproveitável de água da chuva pode ser lançado na rede de galerias de águas pluviais, na via pública ou ser infiltrado total ou parcialmente, desde que não haja perigo de contaminação do lençol freático, a critério da autoridade local competente;
- o esgotamento pode ser feito por gravidade ou por bombeamento.
- a água da chuva reservada deve ser protegida contra a incidência direta da luz solar e do calor, bem como de animais que possam adentrar o reservatório através da tubulação de extravasão.

Quanto aos materiais para construção dos reservatórios, podem ser adotados concreto armado, plásticos, aço, fibrocimento ou alvenaria armada (TOMAZ, 2003).

No que diz respeito aos custos de construção do reservatório, Tomaz (2003) diz que para a construção do em concreto armado seriam necessários de US\$ 107 a 178/m³.

2.5 DEMANDAS E USOS DE ÁGUA NÃO POTÁVEL

De acordo com Dornelles (2012), a estimativa dos usos e das demandas é um fator determinante no processo de elaboração de um sistema de captação de águas pluviais, de forma que seja alcançado um bom nível de atendimento às demandas e também na retenção de água que viria a ser lançada na rede de drenagem pluvial.

Para fins de cálculo de consumo residencial diário, Creder (2009) recomenda que se estime que cada quarto social é ocupado por duas pessoas e, no caso de prédios públicos ou comerciais, deve ser considerada a taxa de ocupação descrita na Tabela 5.

Após o conhecimento da população, o consumo pode ser calculado utilizando os dados da Tabela 6.

Tabela 5: Taxa de ocupação de edificações

Local	Taxa de ocupação
Bancos	Uma pessoa por 5,00 m ² de área
Escritórios	Uma pessoa por 6,00 m ² de área

Pavimentos térreos	Uma pessoa por 2,50 m ² de área
Lojas, pavimentos superiores	Uma pessoa por 5,00 m ² de área
Museus e bibliotecas	Uma pessoa por 5,50 m ² de área
Restaurantes	Uma pessoa por 1,40 m ² de área
Salas de hotéis	Uma pessoa por 5,50 m ² de área
Hospital (sala de operação)	Oito pessoas
Teatros, cinemas e auditórios	Uma cadeira para cada 0,70 m ² de área

Fonte: Adaptado de Creder (2009).

Tabela 6: Consumo por ocupação

Prédio	Consumo
Alojamentos provisórios	80 <i>per capita</i>
Casas populares ou rurais	120 <i>per capita</i>
Residências	150 <i>per capita</i>
Apartamentos	200 <i>per capita</i>
Hotéis	120 por hóspede
Hospitais	250 por leito
Escolas	50 <i>per capita</i>
Quarteis	150 <i>per capita</i>
Edifícios públicos ou comerciais	50 <i>per capita</i>
Escritórios	50 <i>per capita</i>
Cinemas e teatros	2 por lugar
Templos	2 por lugar
Restaurantes	25 por refeição
Garagens	50 por automóvel
Lavanderias	30 por kg de roupa seca
Mercados	5 por m ² de área
Fábricas em geral	70 por operário
Postos de serviço	150 por veículo
Jardins	1,5 por m ²

Fonte: Adaptado de Creder (2009).

No entanto, para a elaboração de projetos para a captação de águas pluviais, é essencial o conhecimento do volume de água não potável a ser consumida pela edificação. De acordo com Tomaz (2003), podem ser usados os valores da Tabela 7 para cálculos simplificados.

Tabela 7: Consumo mensal não potável

Consumo mensal para bacias sanitárias		Consumo mensal para gramado ou pátio		Consumo mensal para lavagem de caminhões ou carros		Consumo mensal para lavagem de roupas	
Quantidade de bacias sanitárias	Consumo no mês (m ³)	Área de grama ou pátio (m ²)	Consumo no mês (m ³)	Quantidade de carros ou caminhões	Consumo no mês (m ³)	Quantidade de pessoas	Consumo no mês (m ³)
5	5	50	1	1	1	1	1
10	9	100	2	2	2	2	2
15	14	150	2	3	4	3	3
20	18	200	3	4	5	4	4
25	23	250	4	5	6	5	5
30	27	300	5	6	7	6	6
35	32	350	6	7	8	7	7
40	36	400	6	8	10	8	8
45	41	450	7	9	11	9	9
50	45	500	8	10	12	10	10
55	50	550	9	11	13	11	11
60	54	600	10	12	14	12	12
65	59	650	10	13	16	13	13
70	63	700	11	14	17	14	14
75	68	750	12	15	18	15	15
80	72	800	13	16	19	16	16
85	77	850	14	17	20	17	17
90	81	900	14	18	22	18	18
95	86	950	15	19	23	19	19
100	90	1000	16	20	24	20	20

Fonte: Adaptado de Tomaz (2003).

Com base no conhecimento da demanda de água potável e de água não potável, é possível dimensionar corretamente ambos os reservatórios. Além disso, essa informação pode contribuir para conscientização da devida importância dos recursos hídricos.

2.6 REGULAMENTAÇÕES: NORMAS, LEIS E DECRETOS

Apesar da necessidade e do apelo ambiental que o aproveitamento da água pode causar, ainda é pouco expressiva a regulamentação dessa atividade, principalmente no caso brasileiro. Alguns países, possivelmente devido ao acesso mais restrito aos recursos hídricos, já apresentam uma legislação que versa sobre esse tema.

A lacuna deixada pela legislação no Brasil é agravada por leis ultrapassadas, como o Código Sanitário do Estado de São Paulo, Decreto nº 12.342/1978, que além de não estimular a instalação do sistema, também não beneficia quem o faz. Em seu artigo 19, esse decreto

proíbe o lançamento de águas pluviais na rede de coleta de esgotos. No entanto, a taxa de coleta de esgotos será cobrada de acordo com a nova estimativa de coleta, independente da origem da água utilizada para a geração do efluente (TOMAZ, 2003).

Segundo Tomaz (2003), a Alemanha adota uma legislação que não restringe o uso de água da chuva nas residências, desde o uso em bacias sanitárias até para irrigação de jardim, lavagem de roupa, entre outros. Caso a água da chuva seja utilizada, o usuário deve comunicar a estimativa do volume utilizado e os fins para os quais se destina.

Já em Tóquio, Japão, é obrigatória a reciclagem de água da chuva e da água servida em construções com áreas construídas maiores do que 30 mil m² ou com um consumo maior do que 100 m³ por dia. Outra medida adotada em Tóquio diz respeito à construção de reservatórios de detenção para construções com áreas superiores a 3 mil m² ou áreas de terreno maiores do que 10 mil m² (TOMAZ, 2003).

Um outro aspecto importante levantado por Tomaz (2003) diz respeito ao subsídio dado pelo governo para os primeiros 10 m³ fornecidos pelo serviço de abastecimento, o que torna o custo da água muito barato para o consumidor, fazendo com que outras possibilidades de abastecimento de água não sejam consideradas.

A captação e o aproveitamento de água da chuva devem ser tratados como um importante instrumento para a gestão sustentável dos recursos hídricos. Segundo Veloso *et al.* (2013), a gestão de água da chuva envolve fatores socioeconômicos, ambientais, espaciais e técnicos, considerando a restrição ao acesso à água potável, o uso e a ocupação do solo, o perfil dos usuários atendidos, além das características físicas da região e das áreas e superfícies de coleta.

A falta de uma legislação adequada aliada à ausência de uma criteriosa escolha de parâmetros técnicos é um fator prejudicial à credibilidade dos documentos de regulamentação para as águas pluviais. De acordo com Dornelles (2012), as recomendações apresentadas nesses documentos não oferecem informações sobre o nível de atendimento e eficiência, causando incertezas nos benefícios que podem ser alcançados. Além disso, as situações de conflito e exceção não são previstas, bem como as punições cabíveis e as formas de fiscalização.

No que diz respeito à normatização, a NBR 15.527/2007 é a única norma com abrangência nacional. Tem como objetivo o estabelecimento de requisitos técnicos para o aproveitamento de água da chuva em áreas urbanas para fins não potáveis. Dentre os requisitos estabelecidos pela norma, encontram-se diferentes metodologias para dimensionamento de reservatórios para captação de águas pluviais.

Como a análise da legislação municipal de Niterói faz parte deste trabalho, serão apresentados a seguir alguns aspectos legais relacionados à captação e ao aproveitamento de água da chuva no Brasil, nas esferas federal, estadual e municipal.

2.6.1 Esfera Federal

Apesar de não existir nenhum instrumento jurídico que discipline sobre o uso de água da chuva em âmbito nacional, alguns decretos estabeleceram critérios para gestão e manejo das águas pluviais, como é o caso da Lei nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007 (BRASIL, 2007). De acordo com esse decreto, essas atividades estão diretamente ligadas à retenção e ao amortecimento de vazões de cheias urbanas (VELOSO *et al.*, 2013), no entanto, alguns projetos de lei estão tramitando na esfera federal (Tabela 8).

Tabela 8: Projetos de leis federais sobre o aproveitamento de água da chuva

Projeto de lei	Ementa	Situação do trâmite
PL 4.109/2012	Institui o Programa Nacional de Conservação, Uso Racional e Reaproveitamento das águas	Aguardando aprovação
PL 2.457/2011	Instituição de mecanismos de estímulo para coleta e armazenamento de águas pluviais em edificações públicas e privadas	Aguardando aprovação
PL 1.310/2011	Dispõe sobre a Política Nacional de Gestão e Manejo Integrado de Áreas Urbanas	Aguardando aprovação
PL 682/2011	Torna obrigatória a execução de reservatório para águas coletadas por coberturas e pavimentos em lotes edificados ou não, nas condições que menciona	Aguardando aprovação
PL 242/2011	Dispõe sobre a utilização de energia solar e reaproveitamento de água da chuva em habitações populares	Aguardando aprovação
PL 2.565/2007	Dispõe sobre a instalação de dispositivos para captação de água da chuva em imóveis residenciais e comerciais	Aguardando aprovação
PL 1.069/2007	Dispõe sobre a contenção de água da chuva em áreas urbanas	Aguardando aprovação
PL 6.250/2009	Dispõe sobre a utilização de energia solar e reaproveitamento de água da chuva na construção de habitações populares	Aguardando aprovação
PL 3.322/2004	Dispõe sobre a obrigatoriedade de reservatórios ou cisternas para o acúmulo de água da chuva no território brasileiro	Aguardando aprovação
PL 2.750	Estabelece o uso eficiente das águas	Aguardando aprovação

Fonte: Veloso *et al.* (2013).

2.6.2 Esfera Estadual

Alguns estados brasileiros já possuem legislação estadual que disciplina a respeito da captação de água da chuva, com o intuito principal de redução dos efeitos das enchentes por meio do amortecimento das águas pluviais pelos reservatórios (VELOSO *et al.*, 2013).

A Lei nº 4.393/2004 do Estado do Rio de Janeiro regulamenta sobre a obrigatoriedade de provisão de dispositivos para captação de água da chuva em imóveis residenciais e comerciais, com taxa de ocupação superior a 50 famílias e área construída maior do que 50 m². Em seus artigos fica apenas determinado que a caixa coletora será proporcional ao número de unidades habitacionais ou à área construída dos empreendimentos comerciais. Também fica determinado que o uso de água da chuva servirá apenas para usos secundários, tais como lavagem de carros, rega de jardins, etc. (RIO DE JANEIRO, 2004).

2.6.3 Esfera Municipal

No que diz respeito à atuação municipal, de acordo com Veloso (2013), algumas regulamentações podem ser verificadas, principalmente nos estados das regiões Sul e Sudeste.

Na cidade do Rio de Janeiro, a Lei nº 5.279/2011 institui o Programa de Conservação e Uso Racional das Águas nas Edificações com o objetivo de promoção de medidas que induzam à conservação, ao uso racional e à utilização de fontes alternativas para a captação de água nas novas edificações, conscientizando também os usuários a respeito da importância da conservação da água (RIO DE JANEIRO, 2011).

No município de Niterói, a legislação que versa sobre este tema, a Lei 2.630/2009, exige que as novas edificações públicas ou privadas com área impermeabilizada superior a 500 m² ou com mais de 50 unidades, no caso de edificações residenciais, comerciais ou mistas, devem ser dotadas de reservatórios para acumulação ou retardo. Os reservatórios de acumulação devem se destinar ao acúmulo de águas pluviais para fins não potáveis, enquanto que os reservatórios de retardo são destinados ao acúmulo de águas pluviais para posterior descarga na rede pública. A lei estabelece parâmetros para cálculo dos reservatórios, tanto os de acumulação quanto os de retardo (NITERÓI, 2009).

Para os reservatórios de acumulação, a lei determina que a capacidade dos mesmos seja calculada com base na equação (2).

$$V = K \times A_i \times h \quad (2)$$

Onde:

V: volume do reservatório em metros cúbicos;
 K: coeficiente de abatimento, correspondente a 0,15;
 A_i: área do telhado, em m²;
 h: altura pluviométrica, correspondente a 0,06 m.

A capacidade dos reservatórios de retardo, segundo a lei, deve ser calculada conforme a equação (3).

$$V = K \times A_I \times h \quad (3)$$

Onde:

V: volume do reservatório, em m³;
 K: coeficiente de abatimento, correspondente a 0,15;
 A_I: área impermeabilizada, em m²;
 H: altura pluviométrica, correspondente a 0,07 m.

Enquanto a captação de água da chuva para os reservatórios de acumulação é feita nos telhados, para os reservatórios de retardo a coleta de águas pluviais deverá ser realizada em pátios descobertos impermeáveis, como estacionamentos, terraços e similares (NITERÓI, 2009).

Para os reservatórios de retardo, o artigo 13 da lei estabelece as seguintes condições:

- I. devem ser resistentes a esforços mecânicos;
- II. devem permitir fácil acesso para inspeção e limpeza;
- III. devem garantir escoamento total;
- IV. devem ser dotados de extravasor, localizado na parte superior do reservatório
- V. devem ser dotados de orifício de descarga.

2.7 MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO PARA RESERVATÓRIOS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DA CHUVA

Serão apresentadas a seguir as diferentes metodologias propostas pela NBR 15.527/2007 para o dimensionamento de reservatórios de captação de água da chuva.

2.7.1 Método de Rippl

Nesse método, o volume de água que escoar pela superfície de captação é subtraído da demanda de água pluvial em um mesmo intervalo de tempo. A máxima diferença acumulada positiva é de 100% do volume do reservatório (MIERZWA *et al.*, 2007).

O Método de Rippl ou método das massas foi criado em 1883 e geralmente superdimensiona o reservatório. É bom usá-lo para verificar o limite superior do reservatório de acumulação de água da chuva. Esse método supõe que inicialmente o reservatório está cheio e que a retirada de água do reservatório é supostamente constante.

Nesse método é possível usar as séries históricas mensais ou diárias, conforme as equações (3), (4) e (5).

$$S = D - Q \quad (3)$$

$$Q = C \times \text{precipitação da chuva} \times \text{área de captação} \quad (4)$$

$$V = \sum S, \text{ somente para valores } S > 0 \quad (5)$$

Sendo que: $\sum D < \sum Q$

Onde:

S: volume de água no reservatório no tempo t;

D: demanda ou consumo no tempo t;

Q: volume de chuva aproveitável no tempo t;

V: volume do reservatório, em m³;

C: coeficiente de escoamento superficial.

2.7.2 Método da Simulação

Nesse método a evaporação da água não deve ser levada em conta. Para um determinado mês, aplica-se a equação (6) da continuidade a um reservatório finito:

$$S = Q + S(t - 1) - D - E_t - L_t \quad (6)$$

Sendo que: $0 \leq S \leq V$

Onde:

S: volume de água no reservatório no tempo t;

S (t - 1): volume de água no reservatório no tempo t - 1;

Q: volume de chuva no tempo t;

D: consumo ou demanda no tempo t;

V: volume no reservatório fixado;

C: coeficiente de escoamento superficial;

E_t: evaporação da superfície do reservatório quando livre;

L_t: outras perdas.

Nesse método, duas hipóteses devem ser feitas: o reservatório está vazio no início da contagem de tempo t; e os dados históricos são representativos para as condições futuras.

2.7.3 Método Azevedo Neto

O volume de chuva é obtido pela equação (7).

$$V = 0,042 \times P \times A \times T \quad (7)$$

Onde:

V: valor numérico do volume de água aproveitável e o volume de água do reservatório, expresso em litros;

P: valor numérico da precipitação média anual, expresso em mm;

A: valor da área de coleta em projeção, expresso em m²;

T: valor numérico do número de meses de pouca chuva ou seca.

2.7.4 Método Prático Alemão

Esse método empírico adota como valor de volume do reservatório o valor mínimo entre 6% do volume anual do consumo e 6% do volume anual da precipitação aproveitável, de acordo com a equação (8).

$$V = \min (V; D) \times 0,06 \quad (8)$$

Onde:

V: valor numérico do volume aproveitável de água da chuva anual, expresso em litros;

D: valor numérico da demanda anual de água não potável, expresso em litros;

V: valor numérico do volume de água no reservatório, expresso em litros.

2.7.5 Método Prático Inglês

O volume de chuva é obtido pela equação (9).

$$V = 0,05 \times P \times A \quad (9)$$

Onde:

V: volume de água aproveitável e o volume do reservatório adotado, expresso em litros;

P: valor numérico da precipitação média anual, expresso em mm;

A: valor numérico da área de coleta em projeção, expresso em m².

2.7.6 Método Prático Australiano

O volume de chuva é obtido pela equação (10).

$$Q = A \times C \times (P - I) \quad (10)$$

Onde:

Q: volume mensal produzido pela chuva;

A: área de coleta;

C: coeficiente de escoamento superficial, em geral 0,80;

P: precipitação média mensal;

I: interceptação da água que molha as superfícies e perdas por evaporação, geralmente 2 mm.

O cálculo do volume do reservatório é realizado por tentativas, até que sejam utilizados valores otimizados de confiança e volume do reservatório, conforme a equação (11).

$$V_t = V_{t-1} + Q_t - D_t \quad (11)$$

Onde:

V_t: volume de água que está no tanque no final do mês t;

V_{t-1}: volume de água que está no tanque no início do mês t;

Q_t: volume mensal produzido pela chuva no mês t;

D_t: demanda mensal

Nota: para o primeiro mês considera-se o reservatório vazio.

Quando $V_{t-1} + Q_t - D_t < 0$, então $V_t = 0$; o volume do tanque escolhido será T.

A confiança no sistema é calculada pela equação (12).

$$P_r = N_r/N \quad (12)$$

Onde:

P_r : falha;

N_r : número de meses em que o reservatório não atendeu à demanda, isto é, quando $V_t = 0$;

N : número de meses considerado, em geral 12 meses, sendo a confiança = $(1 - P_r)$.

Recomenda-se que os valores de confiança estejam entre 90 e 99%.

2.8 ASPECTOS QUALITATIVOS DA ÁGUA DA CHUVA

Segundo Tomaz (2003), a qualidade da água da chuva deve ser avaliada em quatro etapas: antes de atingir o solo, após escorrer no telhado, dentro do reservatório e no ponto de uso. Enquanto a proximidade com o oceano proporciona uma água de chuva com presença de elementos característicos da água do mar, como sódio e potássio, a distância da costa faz com que os elementos presentes sejam de origem terrestre e biológica.

Antes de atingir o solo, a água da chuva é afetada pela localização geográfica e por sua qualidade ambiental. Após escorrer sobre uma superfície impermeabilizada, a água pode vir a ser contaminada pelos materiais utilizadas na confecção dessa superfície e também por resíduos de origem animal. Dessa maneira, Tomaz (2003) recomenda que a primeira água seja descartada. Esse volume rejeitado depende do tipo de material do telhado e da quantidade de contaminantes existentes.

Para usos mais restritivos, a ABNT (2007) recomenda os parâmetros de qualidade da água da chuva expostos na Tabela 9, no entanto deixa a cargo do projetista as definições que estejam de acordo com o uso previsto.

Tabela 9: Parâmetros de qualidade da água da chuva

Parâmetro	Análise	Valor
Coliformes totais	Semestral	Ausência em 100 ml
Coliformes termotolerantes	Semestral	Ausência em 100 ml
Cloro residual livre*	Mensal	0,5 a 3,0 mg/L
Turbidez	Mensal	< 2,0 uT ^b , para uso menos restritivos < 5,0 uT
Cor aparente	Mensal	< 15 uH ^c
Deve prever ajuste de pH para proteção das redes de distribuição	Mensal	pH de 6,0 a 8,0 no caso de tubulação de aço, carbono ou galvanizado

*No caso de serem utilizados compostos de cloro para desinfecção; uT: unidade de turbidez; uH: unidade Hazen.
Fonte: Adaptado da NBR 15.527 (ABNT, 2007).

2.9 CONTEXTUALIZAÇÃO E ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Foi abordada no item anterior toda a base conceitual que foi usada como referência para a elaboração deste trabalho. Desta maneira, o objetivo principal foi apresentar os princípios que norteiam um sistema de captação de águas pluviais, seus benefícios, limitações e efeitos na infraestrutura das cidades. Além disso, foram apresentadas as prerrogativas legais e normativas que podem ser determinantes para a adoção desses sistemas.

Considerando o cenário ambiental atual, espera-se que a captação e o armazenamento de águas pluviais sejam cada vez mais adotados pela população. Dessa maneira, é desejável que se tenha maiores conhecimentos dos efeitos que esse sistema pode vir a proporcionar na infraestrutura das cidades.

Um reservatório com dimensões adequadas pode ser determinante para a escolha dessa solução, sendo relevante que seja adotada uma metodologia correta para projetá-los.

Dessa maneira, no item 3 serão apresentadas as estratégias da metodologia aplicada neste trabalho. No item 4 serão apresentados os resultados dos dimensionamentos realizados com as diferentes metodologias já explicitadas. No item 5 são tecidas as conclusões finais a respeito dos resultados encontrados, respondendo a questão principal do trabalho.

3 METODOLOGIA

3.1 DESCRIÇÃO GERAL

O presente trabalho trata do efeito dos sistemas de aproveitamento de água da chuva na rede de drenagem pluvial e nos sistemas de abastecimento de água, buscando analisar se a metodologia proposta pela legislação municipal vigente no município de Niterói, localizado na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, é suficiente para contribuir com a redução dos alagamentos urbanos e com os problemas relacionados aos períodos de estiagem

Desta maneira, o trabalho foi estruturado da seguinte forma:

- levantamento das características pluviométricas do município de Niterói, para determinação da precipitação média, através da análise de dados de estações pluviométricas existentes na cidade;
- levantamento das características de uma edificação existente, considerando principalmente sua capacidade de captação de água da chuva e sua demanda;
- dimensionamentos de reservatórios de captação de águas pluviais, com base em diferentes metodologias;
- análise dos resultados obtidos para verificação da melhor maneira de se atender à demanda da edificação em estudo.

3.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

3.2.1 Determinação da precipitação média

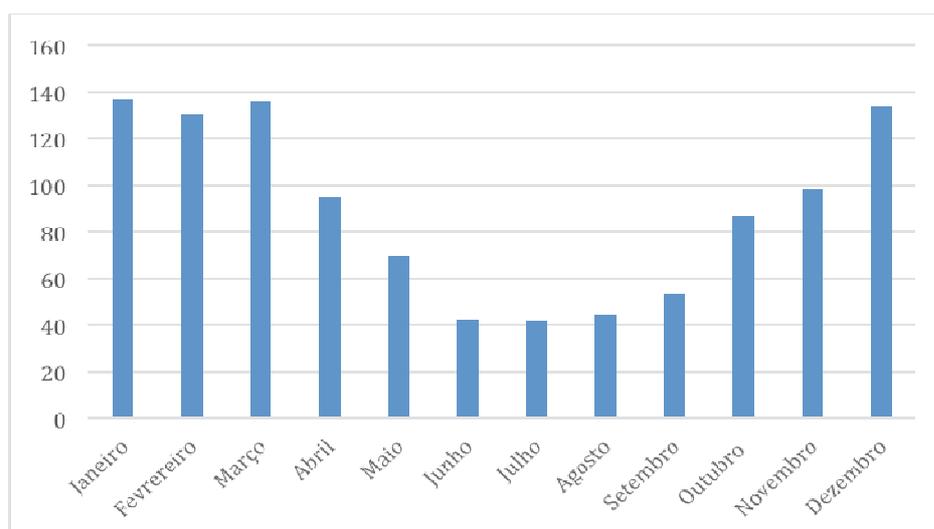
A Organização Meteorológica Mundial (OMM) define as Normais Climatológicas como “valores médios calculados para um período relativamente longo e uniforme, compreendendo no mínimo três décadas consecutivas e padrões climatológicos calculados para períodos consecutivos de 30 anos”.

De acordo com as Normais Climatológicas publicadas pelo INMET para a cidade do Rio de Janeiro, no período de 1960 a 1990 a precipitação média acumulada mensal tem os valores descritos na Tabela 10 e o comportamento demonstrado na Figura 6.

Tabela 10: Precipitação média acumulada no Rio de Janeiro, de 1960 a 1990

Mês	Volume de chuva
Janeiro	137,10
Fevereiro	130,40
Março	135,80
Abril	94,90
Maiο	69,80
Junho	42,70
Julho	41,90
Agosto	44,50
Setembro	53,60
Outubro	86,50
Novembro	97,80
Dezembro	134,20
Total anual	1069,40

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia⁴.

**Figura 6:** Precipitação média mensal da cidade do Rio de Janeiro no período de 1960 a 1990.

⁴ Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>. Acesso em ago. 2014.

Para determinação da precipitação efetiva para o estudo de caso foram levantadas as estações pluviométricas existentes no município de Niterói. De acordo com o site HIDROWEB, da Agencia Nacional de Águas (ANA), existem oito estações pluviométricas na cidade. No entanto, apenas algumas estavam disponíveis para consulta dos dados (Tabela 11), representadas na Figura 7.

Tabela 11: Estações pluviométricas disponíveis em Niterói

Estação	Código	Operadora	Latitude	Longitude
Engenhoca	02243309	INEA	-22,8708	-43,0992
Cambuinhas	059224500	INEA	-22,9608	-43,0992
Estação Ilha do Modesto	02243241	INEA	-22,7869	-42,9728

Fonte: HIDROWEB⁵.

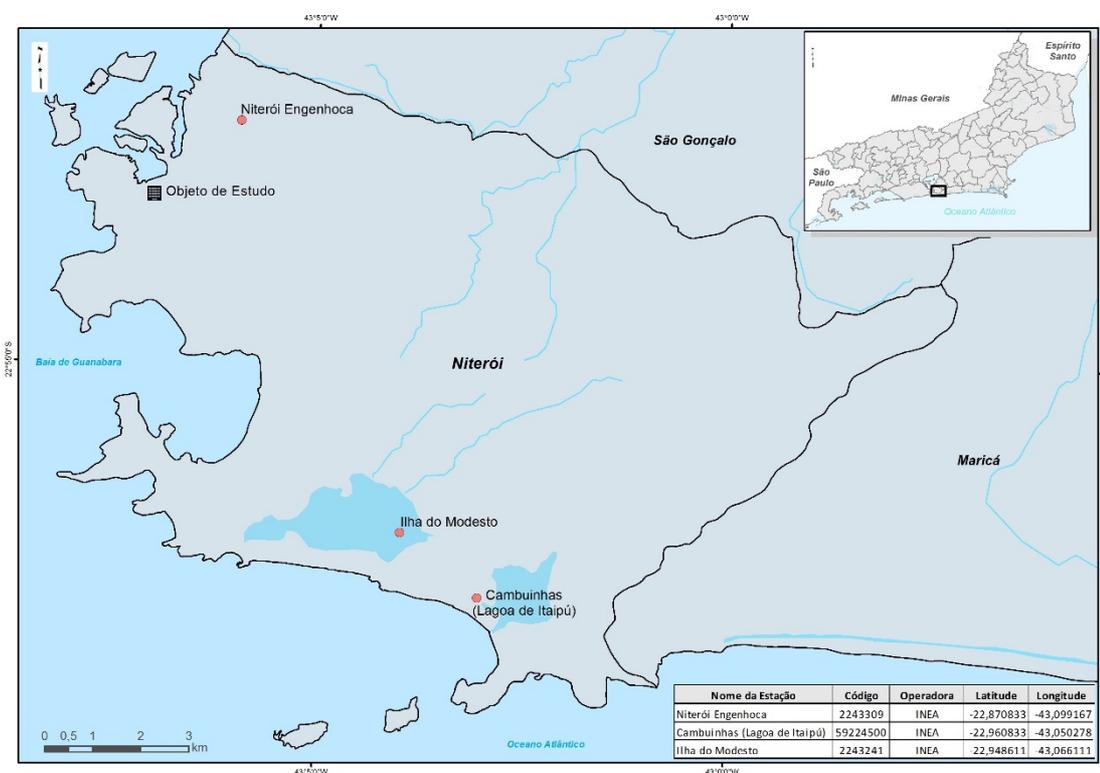


Figura 7: Base cartográfica.

⁵ Disponível em: <http://www.hidroweb.ana.gov.br>. Acesso em set. 2014.

Os dados pluviométricos das estações não apresentam grandes diferenças entre si. Foram adotados os dados da Estação Engenhoca devido ao tamanho do intervalo de dados disponível, à proximidade da área de estudo e à similaridade ambiental entre essas áreas, de acordo com a Tabela 12.

Tabela 12: Dados pluviométricos da Estação Engenhoca

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Soma anual
1977	119,7		76,7	218,2	66,1	23,1	81,1	18,6	119,7	46,0	103,0	195,8	1068,0
1978	57,2	263,0	64,2	107,7	119,6	39,2	9,2	32,6	23,6	33,1	97,6	114,2	961,2
1979	199,7	125,6	102,2	69,1	60,0	66,9	70,0	102,6	125,2	33,5	96,7	138,3	189,8
1980	129,5	77,0	25,2	124,1	35,0	58,7	28,8	83,1	83,7	130,5	148,5	140,8	1064,9
1981	107,6	7,6	70,3	106,0	7,2	24,3	81,4	83,5	7,9	62,6	210,0	254,8	1073,2
1982	269	45,9	154,7	77,9	29,3	21,1	57,9	81,3	24,4	144,0	75,8	252,7	1234,0
1983	91,7	27,2	287,5	99,7	81,9	172,5	54,4	57,4	224,3	107,9	147,6	170,8	1522,9
1984	82,7	6,4	85,1	87,6	91,0	32,3	25,2	43,0	46,6	43,1	30,5	81,2	654,7
1985	301,5	182,1	101,5	116,6	75,2	52,7	9,0	41,9	46,6	28,2	28,2	199,9	1236,4
1986	6,8	92,0	116,1	137,1	28,0	39,6	134,9	42,3	41,6	64,4	55,5	185,5	983,8
1987	103,4	127,3	68,3	56,6	115,1	129,3	19,4	48,9	88,8	119,5	37,7	137,7	1052,0
1988	45,4	343,3	145,5	156,6	144,1	100,5	92,9	22,9	46,2	113,1	178,0	150,6	1539,1
1989	67,0	183,7	56,7	77,0	65,4	141,4	106,1	55,7	103,8	93,3	80,5	148,2	1178,8
1990	79,3	19,9	35,2	254,4	100,3	37,6	139,2	76,4	148,0	78,7	54,3	79,6	1102,9
1991	195,4	153,4	250,8	103,9	85,2	73,4	37,8	31,8	99,2	122,9	55,3	130,6	13339,7
1992	179,8	77,6	7,8	05,3	54,2	10,0	81,9	58,3	143,2	82,1	209,1	69,0	1088,3
1993	43,7	105,5	174,6	91,4	88,2	81,0	19,7	4,8	78,8	66,4	50,1	154,0	968,2
1994	104,7	16,4	252,3	116,6	102,0	135,4	62,4	50,2	27,0	17,2	96,0	91,8	1071,7

Fonte: HIDROWEB⁶.

Com base na tabela de registro das precipitações (Tabela 12), foram gerados os dados de precipitação média do período de 1977 a 1994 (Tabela 13).

⁶ Disponível em: <http://www.hidroweb.ana.gov.br>. Acesso em set 2014

Tabela 13: Precipitação média mensal da Estação Engenhoca de 1977 a 1994

Mês	Volume (mm)
Janeiro	123,56
Fevereiro	105,77
Março	115,82
Abril	116,97
Maió	74,88
Junho	68,83
Julho	61,74
Agosto	52,52
Setembro	82,14
Outubro	77,03
Novembro	100,41
Dezembro	149,75
Total anual	1129,42

Fonte: HIDROWEB⁷.

Posteriormente foi elaborado um gráfico da precipitação média mensal (Figura 8).

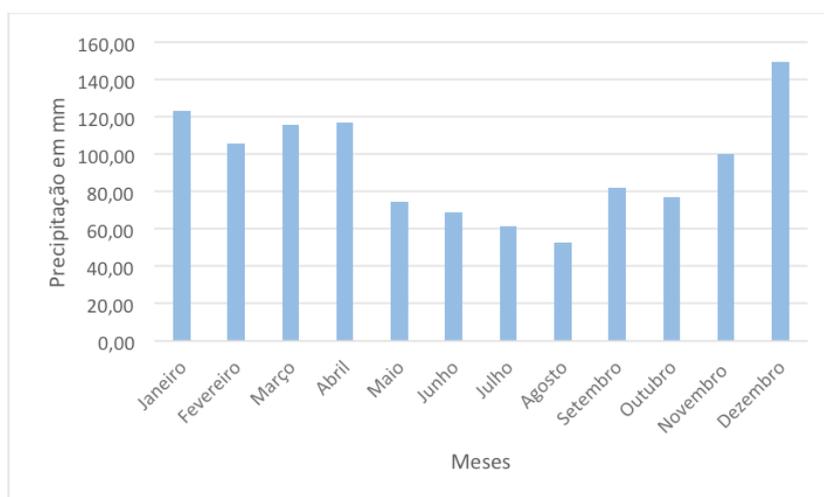


Figura 8: Precipitação média mensal da Estação Engenhoca, de 1977 a 1994.
Fonte: HIDROWEB⁸.

⁷ Disponível em: <http://www.hidroweb.ana.gov.br>. Acesso em nov. 2014.

⁸ Disponível em: <http://www.hidroweb.ana.gov.br>. Acesso em set. 2014.

3.2.2 Edificação analisada para definição do problema

O imóvel analisado está localizado na Praça Fonseca Ramos s/n, Centro, Niterói, Rio de Janeiro (Figura 9). Trata-se de um quarteirão circundado pelas ruas Barão de Amazonas, Dr. Fróes da Cruz, Visconde de Itaboraí e pela Avenida Feliciano Sodré. Está situado em uma Área de Preservação do Ambiente Urbano (APAU-Centro).

A edificação faz parte do conjunto edilício onde está localizado o Terminal Jorge Roberto Silveira. É um bem tombado municipalmente, constituído por dois volumes que se cruzam, um em pilotis, para abrigar passageiros e ônibus, e outro verticalizado, que abriga funções administrativas do estado e da prefeitura. A construção desse conjunto data da década de 1950, sendo um exemplar da arquitetura moderna brasileira que tem resistido ao tempo, apesar das alterações recentemente sofridas para se adaptar a novas exigências técnicas (AZEVEDO, 2003).



Figura 9: Localização da edificação de estudo.
Fonte: Google Earth⁹.

A lâmina vertical, onde está localizado o objeto deste relatório, é composta por térreo, sobreloja e mais 7 pavimentos tipo, o que totaliza uma área construída de aproximados 5.500 m². A área de cobertura do edifício, o que de fato é importante para a captação de água da chuva, tem aproximadamente 1.280 m², sendo revestida em telhas de amianto em sua maior parte.

⁹ Disponível em: <http://www.earth.google.com.br>. Acesso em nov 2012.

3.2.3 Definição da demanda

Atualmente, o edifício em questão é ocupado por aproximadamente 500 funcionários e público em geral, e tem uma área pátio e jardim de aproximados 500 m². Para o cálculo do consumo mensal de água não potável foi tomada como referência a Tabela para Cálculos Simplificados proposta por Tomaz (2003). Para o cálculo do uso em bacias sanitárias, se para cada 100 pessoas são utilizados 90 m³, neste caso temos um consumo mensal de 450 m³. Já para a o consumo mensal para lavagem de piso, 500 m² de área de piso e jardim consomem 8 m³ de água não potável por mês. Sendo assim, o consumo total mensal de água não potável será de 458 m³.

4 DIMENSIONAMENTO

4.1 APRESENTAÇÃO

Nesta etapa do trabalho foram aplicadas diferentes metodologias para cálculo de reservatório na edificação em questão, de forma a se fazer uma análise comparativa entre elas e também do seu possível impacto nos sistemas de abastecimento e drenagem de Niterói.

Serão apresentados a seguir os diferentes cálculos das metodologias apresentadas pela NBR 15.527/2007 e pelo Decreto-lei nº 2.630/2009.

4.2 DIMENSIONAMENTO DOS RESERVATÓRIOS

4.2.1 Método de Rippl

Para o dimensionamento do reservatório através do método de Rippl, foram utilizados os seguintes parâmetros:

- área de captação: 1281,82 m²;
- coeficiente de escoamento: 0,8;
- demanda: 458 m³/mês;
- precipitação total anual: 1129,42 mm.

A Tabela 14 demonstra os resultados obtidos, considerando as chuvas médias mensais para o município de Niterói; a demanda mensal calculada em função da necessidade de água não potável, conforme o item 3.2.3; a área de captação de água da chuva; e as diferenças entre o volume da demanda e os volumes de chuvas mensais. Como pode ser observado, a demanda é sempre maior do que o volume obtido.

Tabela 14: Dimensionamento do reservatório pelo método de Rippl

Mês	Chuva média mensal (mm)	Demanda mensal (m ³)	Área de captação (m ²)	Volume de chuva mensal (m ³)	Diferença entre volumes de demanda e mensal (m ³)
Janeiro	123,56	458	1281,82	126,71	331,29
Fevereiro	105,77	458	1281,82	108,46	349,54
Março	115,82	458	1281,82	118,77	339,23
Abril	116,97	458	1281,82	119,95	338,05
Mai	74,88	458	1281,82	76,79	381,21
Junho	68,83	458	1281,82	70,58	387,42
Julho	61,74	458	1281,82	63,31	394,69
Agosto	52,52	458	1281,82	53,86	404,14
Setembro	82,14	458	1281,82	84,23	373,77
Outubro	77,03	458	1281,82	78,99	379,01
Novembro	100,41	458	1281,82	102,97	355,03
Dezembro	149,75	458	1281,82	153,56	304,44
Total	1129,42	5496	–	1158,17	4337,83

Os volumes mensais disponíveis de água da chuva foram calculados multiplicando os valores de chuva média mensal, a área de captação e o coeficiente de runoff de 0,80 e dividindo o resultado por 1.000 para obter um volume em m³, conforme exemplificado para o mês de janeiro na equação (13).

$$123,56 \text{ mm} \times \frac{1281,82 \text{ m}^2 \times 0,80}{1000} = 126,71 \text{ m}^3 \quad (13)$$

Segundo Tomaz (2003), valores negativos na diferença entre o volume da demanda e o volume mensal correspondem aos meses em que há excesso de água (o volume obtido é maior do que a demanda), determinando, assim, que o volume do reservatório deve atender aos meses nos quais o resultado corresponde à situação contrária.

O total do volume de água fornecido pela cobertura deveria ser maior ou igual ao total do volume da demanda. Nesse caso, temos um volume captado que corresponde a apenas 21% da necessidade de água não potável. Sendo assim, todos os meses, pelo método de Rippl,

deveríamos complementar o reservatório para que a demanda fosse atendida. Ao fazer a soma desse complemento mês a mês, teríamos como resultado um reservatório de 4.337,83 m³.

4.2.2 Método Azevedo Neto

Para se obter o volume do reservatório segundo o Método Azevedo Neto, deve-se utilizar a equação (14).

$$V = 0,042 \times P \times A \times T \quad (14)$$

Onde:

V: volume do reservatório;

P: precipitação média anual, em mm;

A: área de coleta, em m²;

T: número de meses de pouca chuva ou seca.

Então, temos a equação (15), que calcula que o volume do reservatório pelo Método Azevedo Neto é igual a **182,41m³**.

$$V = 0,042 \times 1129,42 \text{ mm} \times 1281,82 \text{ mm}^2 \times 3 \quad (15)$$

4.2.3 Método Prático Alemão

Para o cálculo do volume anualmente aproveitável de água da chuva pelo Método Prático Alemão temos a equação (16).

$$V = D \times A \times c \quad (16)$$

Onde:

V: valor numérico do volume de água no reservatório

D: valor numérico da demanda anual de água não potável;

A: área de coleta, em m²;

c: coeficiente de runoff.

Sendo assim, temos a equação (17), que tem como resultado um volume anualmente aproveitável de água da chuva de 1.158 m³.

$$V = 1129,42 \text{ mm} \times 1281,82 \text{ m}^2 \times 0,80 \quad (17)$$

Sabendo-se que a demanda mensal é de 458 m^3 , sabe-se que a demanda anual (x 12) é de 5.496 m^3 . Então, aplicando a equação (18), é possível calcular que o volume do reservatório pelo Método Prático Alemão é igual a **70 m^3** , demonstrado pelas equações (19) e (20).

$$V = \text{mín} (V;D) \times 0,06 \quad (18)$$

$$V = \text{mín} (1158; 5496) \times 0,06 \quad (19)$$

$$V = 1158 \times 0,06 \quad (20)$$

4.2.4 Método Prático Inglês

Para o Método Prático Inglês foi aplicada a equação (21).

$$V = 0,05 \times P \times A \quad (21)$$

Onde:

V: volume de água aproveitável e o volume do reservatório adotado, expresso em litros;

P: valor numérico da precipitação média anual, expresso em mm;

A: valor numérico da área de coleta em projeção, expresso em m^2 .

Sendo assim, temos a equação (22), que mostra que, pelo Método Prático Inglês, o reservatório teria 73 m^3 .

$$V = 0,05 \times 1129,42 \text{ mm} \times 1281,82 \quad (22)$$

4.2.5 Método Prático Australiano

Para o cálculo pelo Método Prático Australiano foi utilizada a equação (22).

$$Q = A \times C \times (P - I) \quad (22)$$

Onde:

Q: volume mensal produzido pela chuva;

A: área de coleta;

C: coeficiente de escoamento superficial, em geral 0,80;

P: precipitação média mensal;

I: interceptação da água que molha as superfícies e perdas por evaporação, geralmente 2 mm.

O cálculo do volume do reservatório é realizado por tentativas, até que sejam utilizados valores otimizados de confiança e volume do reservatório, conforme a equação (23).

$$V_t = V_{t-1} + Q_t - D_t \quad (23)$$

Onde:

V_t : volume de água que está no tanque no final do mês t;

V_{t-1} : volume de água que está no tanque no início do mês t;

Q_t : volume mensal produzido pela chuva no mês t;

D_t : demanda mensal.

Nota: para o primeiro mês considera-se o reservatório vazio

Quando $V_{t-1} + Q_t - D_t < 0$, então $V_t = 0$. O volume do tanque escolhido será o maior volume de V_t .

A Tabela 15 mostra os dados segundo o Método Prático Australiano e demonstra que por esse método o volume do reservatório será de 78 m³.

Tabela 15: Método Prático Australiano

Mês	Chuva média (mm)	Área (m ²)	Coefficiente de runoff	Intercepção (mm)	Volume de chuva (m ³)	Demanda mensal (m ³)	Volume de água no tanque no final do mês (m ³)
Jan	123,56	1281,82	0,8	2	124,65	97	27,65
Fev	105,77	1281,82	0,8	2	106,41	97	37,07
Mar	115,82	1281,82	0,8	2	116,72	97	56,78
Abr	116,97	1281,82	0,8	2	117,90	97	77,68
Mai	74,88	1281,82	0,8	2	74,74	97	55,42
Jun	68,83	1281,82	0,8	2	68,53	97	26,95
Jul	61,74	1281,82	0,8	2	61,26	97	-8,79
Ago	52,52	1281,82	0,8	2	51,81	97	-53,99
Set	82,14	1281,82	0,8	2	82,18	97	-68,81
Out	77,03	1281,82	0,8	2	76,94	97	-88,87
Nov	100,41	1281,82	0,8	2	100,92	97	-84,95
Dez	149,75	1281,82	0,8	2	151,51	97	-30,44
Total	1129,42						

4.2.6 Método da Simulação

Para aplicação do método da simulação, Tomaz (2003) recomenda que se encontre a média de todos os métodos calculados, conforme a Tabela 16.

Tabela 16: Média dos valores de reservatórios

Métodos de dimensionamento preliminar dos reservatórios	Reservatório necessário
Método de Rippl	4337,83 m ³
Método Azevedo Neto	182,41m ³
Método Prático Alemão	70 m ³
Método Prático Inglês	73 m ³
Método Prático Australiano	78 m ³
Média obtida	948,25 m ³
Média adotada	950 m ³

A partir do volume encontrado na Tabela 16 (950 m³), foi utilizada a equação (24) para aplicação da metodologia. Os dados para o Método Simulação podem ser observados na Tabela 17.

$$S = Q + S(t - 1) - D - Et - Lt \quad (24)$$

Sendo que: $0 \leq S \leq V$

Onde:

S: volume de água no reservatório no tempo t;

Q: volume de chuva no tempo t;

S (t - 1): volume de água no reservatório no tempo t -1;

D: consumo ou demanda no tempo t;

Et: evaporação da superfície do reservatório quando livre;

Lt: outras perdas.

Tabela 17: Método Simulação

	Média (mm)	D (m³)	C (m²)	Q (m³)	SV (m³)	RSV (início = 0)	RSV'	CW
Jan	123,56	458	1281,82	126,71	950	0	-331,29	331,29
Fev	105,77	458	1281,82	108,46	950	0,00	-349,54	349,54
Mar	115,82	458	1281,82	118,77	950	0	-339,23	339,23
Abr	116,97	458	1281,82	119,95	950	0,00	-338,05	338,05
Mai	74,88	458	1281,82	76,79	950	0,00	-381,21	381,21
Jun	68,83	458	1281,82	70,58	950	0,00	-387,42	387,42
Jul	61,74	458	1281,82	63,31	950	0,00	-394,69	394,69
Ago	52,52	458	1281,82	53,86	950	0,00	-404,14	404,14
Set	82,14	458	1281,82	84,23	950	0	-373,77	373,77
Out	77,03	458	1281,82	78,99	950	0	-379,01	379,01
Nov	100,41	458	1281,82	102,97	950	0	-355,03	355,03
Dez	149,75	458	1281,82	153,56	950	0,00	-304,44	304,44
Total anual	1129,42	5496		1158,17			-4337,83	4337,82
				Volume aproveitável durante o ano = 5496 - 4337,82 = 1158,18m ³				
				Volume aproveitável durante o ano = demanda anual - volume de suprimento				

D: demanda de água constante; C: captação; Q: volume de chuva; SV: volume do reservatório determinado; RSV: volume do reservatório antes; RSV': volume do reservatório depois; CW: suprimento de água externo.

Neste caso, o volume captado nunca supriria a demanda de água não potável. Ao dimensionar um reservatório com 950 m³, teríamos que complementar o volume com água de outra fonte, o que poderia se tornar uma solução inviável.

4.2.7 Decreto-lei nº 2.630/2009, de Niterói

De acordo com o Decreto-lei nº 2.630 (NITERÓI, 2009), para o reservatório de retardo deve ser utilizada a equação (25).

$$V = K \times AI \times h \quad (25)$$

Onde:

V: volume do reservatório, em m³;

K: coeficiente de abatimento, correspondente a 0,15;

AI: área impermeabilizada, em m²;

h: altura pluviométrica, correspondente a 0,07 m.

Assim, temos a equação (26).

$$V = 0,15 \times 1281,82 \times 0,07 = 13,45 \text{ m}^3 \quad (26)$$

Aplicando a mesma equação (25), porém com altura pluviométrica correspondente a 0,06 metros, para o reservatório de acumulação, temos a equação (27).

$$V = 0,15 \times 1281,82 \times 0,06 = 11,53 \text{ m}^3 \quad (27)$$

5 RESULTADOS

A Tabela 18 demonstra os valores obtidos para o dimensionamento do reservatório.

Tabela 18: Dimensionamentos do reservatório

Método	Volume obtido	
	(m ³)	
Rippl	4337,83	Métodos recomendados pela NBR 15.527/2007
Azevedo Neto	182,41	
Prático Alemão	70	
Prático Inglês	73	
Prático Australiano	78	
Simulação	950	
Decreto-lei nº 2.630/2009	14 e 12	

Como pode ser observado, foram encontradas divergências entre as diferentes metodologias propostas pela NBR 15.527 (ABNT, 2007) e a metodologia recomendada pelo Decreto-lei nº 2.630 (NITERÓI, 2009), do município de Niterói.

Para que uma visualização gráfica dessa diferença fosse possível, foi elaborada a Tabela 19, na qual a precipitação média mensal está expressa em metros cúbicos. Dessa maneira, é possível comparar os volumes entre a precipitação média, a demanda da edificação e os volumes de reservatório propostos pelas diferentes metodologias.

Tabela 19: Volume de chuva mensal cobertura

	Precipitação média	Área de cobertura	Volume captado	Demanda	Rippl	Azevedo Neto	Prático Alemão	Prático Inglês	Prático Australiano	Simulação	Decreto-lei n° 2.630/2009
Mês	mm	m ²	m ³	m ³	m ³						
Jan	123,56	1281,82	158,4	458	4300	182,4	70	73	78	950	14
Fev	105,77	1281,82	135,6	458	4300	182,4	70	73	78	950	14
Mar	115,82	1281,82	148,5	458	4300	182,4	70	73	78	950	14
Abril	116,97	1281,82	149,9	458	4300	182,4	70	73	78	950	14
Mai	74,88	1281,82	96,0	458	4300	182,4	70	73	78	950	14
Jun	68,83	1281,82	88,2	458	4300	182,4	70	73	78	950	14
Jul	61,74	1281,82	79,1	458	4300	182,4	70	73	78	950	14
Ago	52,52	1281,82	67,3	458	4300	182,4	70	73	78	950	14
Set	82,14	1281,82	105,3	458	4300	182,4	70	73	78	950	14
Out	77,03	1281,82	98,7	458	4300	182,4	70	73	78	950	14
Nov	100,41	1281,82	128,7	458	4300	182,4	70	73	78	950	14
Dez	149,75	1281,82	192,0	458	4300	182,41	70	73	78	950	14

Os métodos que levam em consideração não só a área de cobertura, mas também as características pluviométricas do município, como é o caso dos Métodos Práticos Alemão, Inglês e Australiano, chegam a resultados praticamente iguais. No entanto, analisando a linha relativa ao volume precipitado e os volumes de reserva propostos por esses métodos (Figura 10), percebe-se que uma parte do volume de chuvas anual é descartado, aproximadamente 22%. O Método Azevedo Neto dimensiona um reservatório que fica subutilizado uma boa parte do ano, apesar de proporcionar a uma boa possibilidade de captação de água nos primeiros e nos últimos meses do ano.

Os volumes dos reservatórios propostos pelos métodos Rippl e Simulação estão superdimensionados, representados na Figura 11.

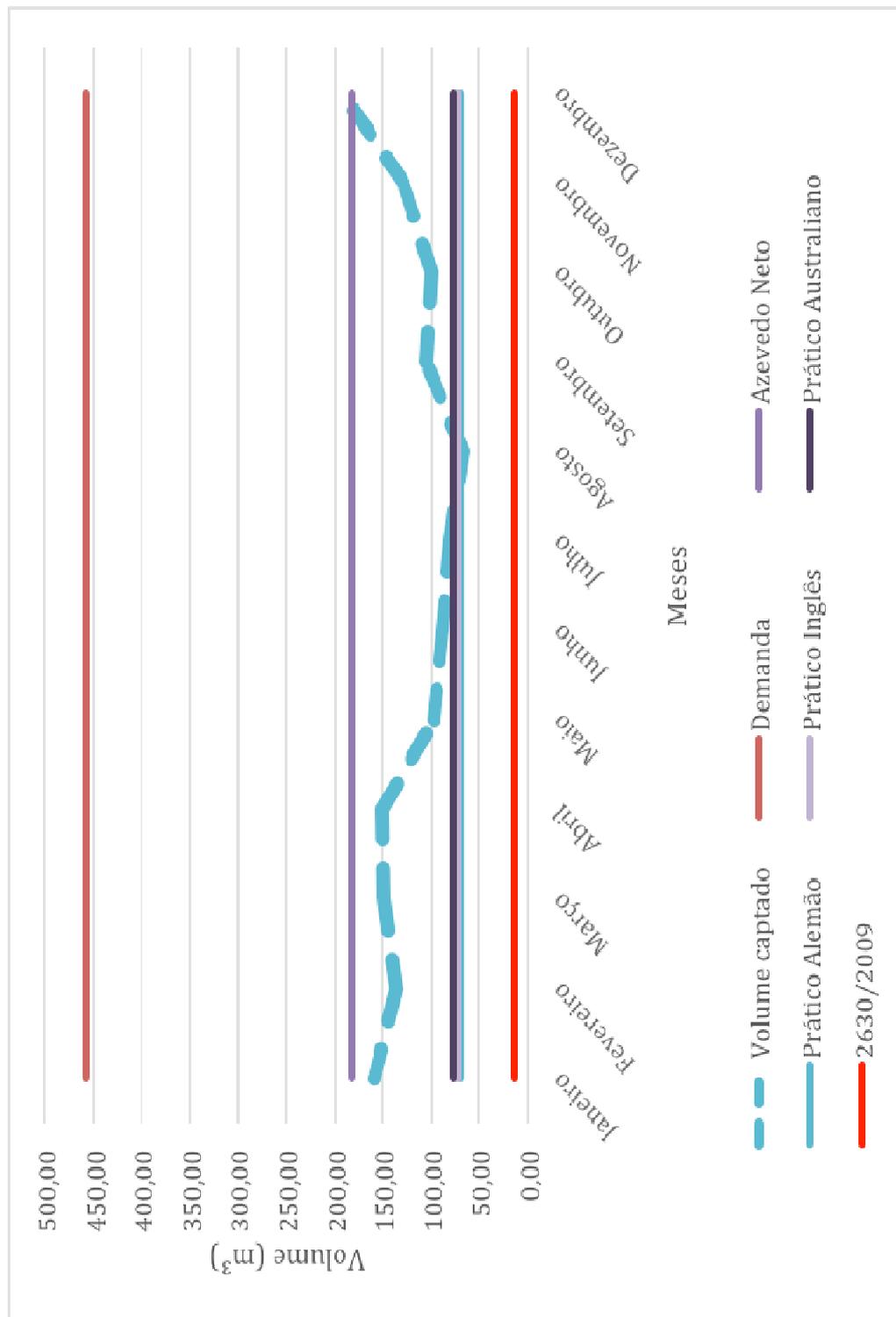


Figura 10: Relação entre a precipitação média anual de Niterói e os dimensionamentos de reservatórios.

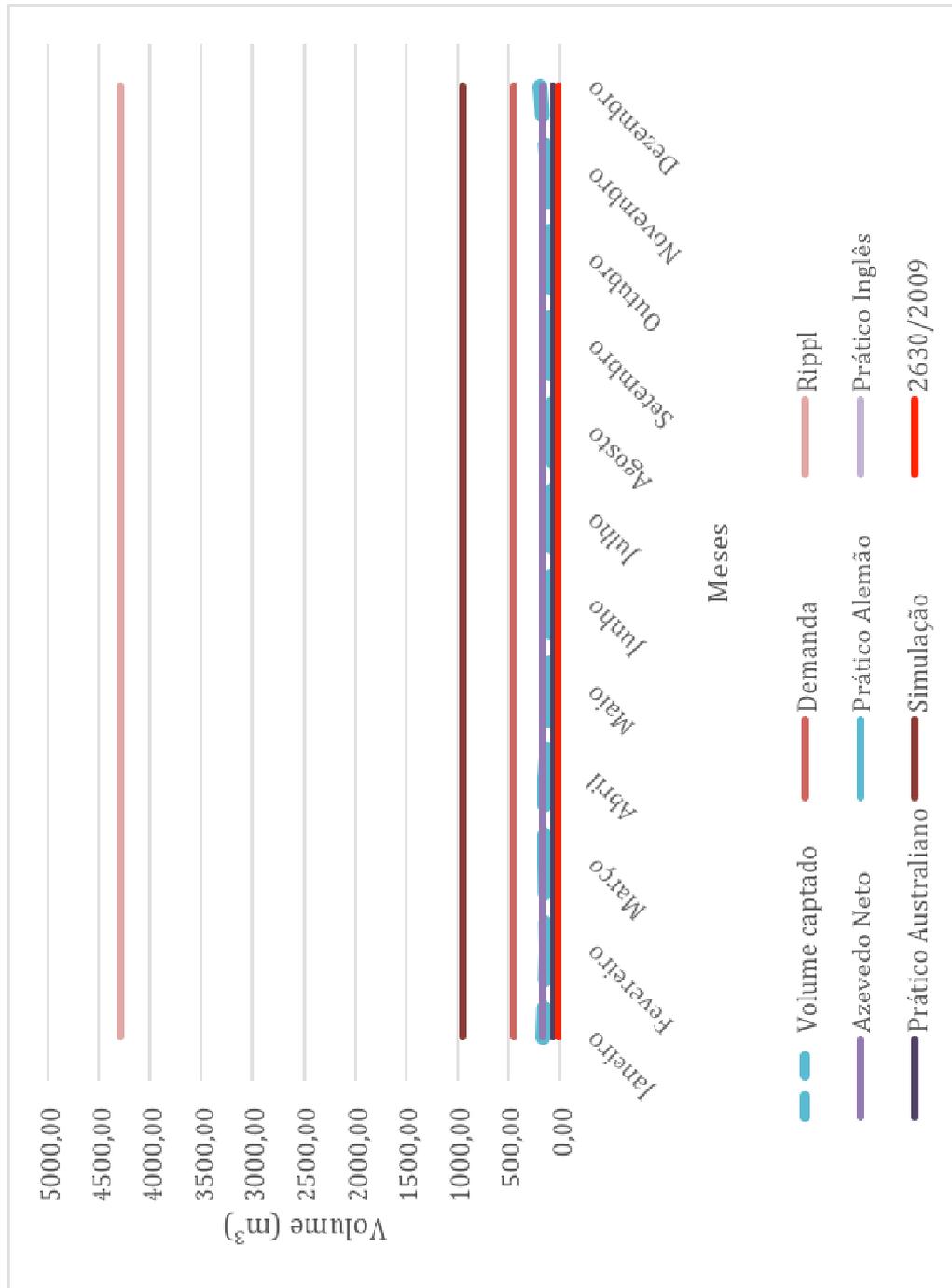


Figura 11: Relação entre a precipitação média anual de Niterói e os reservatórios, considerando os métodos de Rippl e da Simulação.

Ao não considerar as características pluviométricas do município de Niterói, o método sugerido pelo Decreto-lei nº 2.630/2009 subdimensiona o reservatório, que capta apenas aproximados 15% das chuvas anuais, atendendo a apenas 3% da demanda da edificação em questão.

Sendo assim, verifica-se a necessidade de um maior aprofundamento na determinação dessa metodologia proposta pelo município, de forma a atender de maneira mais abrangente a real necessidade da cidade no que diz respeito aos efeitos na drenagem das águas da chuva e também no abastecimento de água.

6 CONCLUSÃO

Com o objetivo de avaliar se a atual metodologia proposta pela prefeitura municipal de Niterói é adequada para o dimensionamento de reservatórios de acumulação e retardo de águas pluviais, o presente trabalho apresentou inicialmente uma revisão geral a respeito do tema, contextualizando-o com as questões ambientais e ações governamentais relativas ao aproveitamento de água da chuva.

Para atingir o objetivo proposto, a metodologia utilizada se dividiu em duas etapas, sendo a primeira de levantamento das características pluviométricas mais representativas da área de estudo, das características da edificação eleita como objeto de estudo e da demanda de água não potável da mesma. As definições dessa etapa foram necessárias para a segunda etapa do trabalho, que consistiu no cálculo do volume para reservatórios de águas pluviais baseados nas diferentes metodologias propostas pela ABNT, e também naquela proposta pela prefeitura municipal de Niterói.

A determinação adequada do volume de reserva de água da chuva é essencial tanto para os estudos de viabilidade de implantação do sistema quanto para a verificação do seu efeito nas redes de abastecimento e de drenagem pluvial.

Tendo em vista essa necessidade, a análise comparativa entre os diferentes métodos de dimensionamentos já expostos pode explicitar o quanto a capacidade de coleta das coberturas pode ser subestimada, não atingindo os objetivos principais dos gestores municipais: a melhoria das condições do ambiente urbano e a preservação dos recursos naturais.

Cabe salientar que a reserva de água da chuva é uma alternativa cada vez mais evidente para os problemas de escassez de água potável no mundo, de uma forma geral, além de também funcionar como solução para os problemas das cheias urbanas, causadoras de prejuízos materiais e de saúde para a população.

Quanto à regulamentação, embora seja visível algum esforço por parte de alguns legisladores, ainda é pouco expressivo o número de instrumentos jurídicos e de requisitos técnicos para incentivar e dar suporte à implementação dessa atividade.

Além de uma adequada determinação de parâmetros técnicos, que utilizem como referência fatores específicos de cada localidade, é primordial que exista um corpo técnico capaz de analisar os projetos nos municípios onde essa tecnologia foi ou está sendo regulamentada, aliado a ações de fiscalização por parte do poder público. Outro apontamento

diz respeito às concessionárias responsáveis pelo abastecimento de água e pela coleta de esgoto. Deve haver uma adequação nas tarifas e formas de cobrança por parte das concessionárias de modo a estimular os proprietários que procurem utilizar as técnicas de coleta e armazenamento de águas pluviais.

No caso do município de Niterói, o Decreto-lei nº 2.630 está aprovado desde o ano de 2009, o que demonstra uma tentativa, por parte do poder legislativo, de amenizar os problemas ambientais. No entanto, ao não utilizar os parâmetros físicos específicos do município, subdimensiona o reservatório, fazendo com que grande parte do volume pluvial seja descartado, não favorecendo os principais objetivos da lei, que são a acumulação e o retardo da água na rede de drenagem.

Apesar da importância do conhecimento da demanda de água não potável, esse parâmetro pode colaborar com um superdimensionamento de reservatórios, conforme ficou demonstrado no capítulo anterior, onde foi utilizado este dado para dimensionamento dos reservatórios pelos Métodos de Rippl e da Simulação. Com uma demanda alta, estes métodos buscaram atendê-la, obtendo assim grandes volumes para o reservatório, o que torna o mesmo inviável.

De fato, o conhecimento das características pluviométricas e das características da cobertura ou da área de captação parece ser a maneira mais confiável para o dimensionamento dos reservatórios de acumulação ou retardo de águas pluviais. Além disso, diminui a possibilidade de extravasamento de um possível excesso no reservatório.

Embora o conhecimento da pluviometria da área de projeto seja importante, o que pode ser percebido no decorrer da elaboração deste trabalho foi a dificuldade de acesso aos dados pluviométricos do município de Niterói. Algumas estações estavam desativadas, ou então com um número pouco expressivo de leituras. Para o sucesso da implantação desse sistema, cada vez mais essencial, é primordial que sejam feitos maiores investimentos em equipamentos e também na sua gestão.

Os dados de precipitações médias deveriam ser fornecidos com maior regularidade, levando-se em consideração também os coeficientes de variação e o desvio padrão das precipitações para um dimensionamento mais confiável dos reservatórios.

Além disso, deve ser estimulado o desenvolvimento de estudos para novas metodologias de dimensionamento de reservatórios de captação e retardo de águas pluviais, fiéis às características de cada localidade, de maneira a atender uma maior parte da demanda das edificações.

Outro aspecto importante a ser desenvolvido é a avaliação dos efeitos desses reservatórios no sistema de drenagem das cidades, visto que o impacto das chuvas nos sistemas podem vir a diminuir de uma maneira considerável, deixando de sobrecarregar também os corpos hídricos receptores.

Sendo assim, considerando todo o exposto e as análises feitas, chega-se à conclusão de que seria necessária uma nova proposta para melhor adequar a legislação municipal de Niterói, pois, de fato, o dimensionamento de reservatórios para captação de águas pluviais — tanto o de acumulação quanto o de retardo — está subdimensionado, não sendo suficiente para minimizar os problemas relativos ao impacto no sistema de drenagem e de desabastecimento.

Com o objetivo de atender a real necessidade do Município de Niterói, propõe-se a continuidade deste estudo. No entanto, é importante ressaltar a necessidade do aporte de maiores investimentos em tecnologias que venham a dar suporte ao desenvolvimento do mesmo, para que assim se possa chegar a um volume ótimo de reservatório para captação das águas de chuva.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2013**. Brasília: ANA, 2013. 432 p. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br>>. Acesso em: 09 jun. 2014.

ARTICULAÇÃO DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO – ASA. P1MC. Disponível em http://www.asabrasil.org.br/Portal/Informacoes.asp?COD_MENU=1150. Acesso em 8/Out/2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15.527/2007**. Água de chuva: aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis: requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2007. 8 p.

AZEVEDO, M.N.S. Expressões e Vestígios modernistas na capital fluminense nas décadas de 1940, 1950, 1960 e seus valores como patrimônio urbano. In: **V DOCOMOMO BRASIL**. São Carlos: SAP/EESC/USP, 2003. p. 55.

BAHIA, S.R.; GUEDES, P.A. **Elaboração e atualização do código de obras e edificações**. 2. ed. rev. e atual. Rio de Janeiro: IBAM/DUMA, ELETROBRAS/PROCEL, 2012. 319 p.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 05 de janeiro, de 2007. Lei de Saneamento Básico. Brasília: Diário Oficial da União, 08 jan. 2007.

BALBINOT, R; OLIVEIRA, N.K.; VANZETTO, S.C.; PEDROSO, K.; VALERIO, A.F. O papel da floresta no ciclo hidrológico em bacias hidrográficas. **Ambiência - Revista do setor de Ciências Agrárias e Ambientais**, Guarapuava, v. 4, n. 1, p. 131-149, jan./abr. 2008.

CREDER, H. **Instalações Hidráulicas e Sanitárias**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009. 423 p.

DORNELLES, F. **Aproveitamento de água de chuva no meio urbano e seu efeito na drenagem pluvial**. 2012. 239 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

FREITAG, B. **Cidade dos Homens**. Rio de Janeiro: Tempo Brasileiro, 2002. 254 p.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE – FUNASA. **Manual de Saneamento**: orientações técnicas. 3. ed. rev. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2006. 408 p.

GITHEKO, A.K.; LINDSAY, S.W.; CONFALONIERI, U.E.; PATZ, J.A. Climate change and vector-borne diseases: a regional analysis. **Bulletin of the World Health Organization: the International Journal of Public Health**, v. 78, n. 9, p. 1136-1147, 2000.

HELLER, L.; PÁDUA, V.L. (Org.). **Abastecimento de água para consumo humano**. 2. ed. rev. e atual. Belo Horizonte, Editora UFMG, 2010.

INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. Summary for Policymakers. In: **Climate Change 2013: The Physical Science Basis**. Contribution of

Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge/New York: Cambridge University Press, 2013. 552 p.

JORNAL NACIONAL. Estudo prevê menos chuva no Norte e períodos de seca no Sul do país. Rio de Janeiro, 24 nov. 2014. Disponível em: <<http://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2014/11/estudo-preve-menos-chuva-no-norte-e-periodos-de-seca-no-sul-do-pais.html>>. Acesso em: 29 nov. 2014.

LIMA, W.P. **Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas**. Piracicaba: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, 2008. 253 p. Disponível em: <<http://www.ipef.br/hidrologia>>. Acesso em: 10 fev. 2012.

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

NITERÓI. Prefeitura Municipal de Niterói. Lei nº 2.630, de 07 de janeiro de 2009. Disciplina os procedimentos relativos ao armazenamento de águas pluviais para reaproveitamento e retardo da descarga na rede pública. **A Tribuna**, Niterói, RJ, 08 jan. 2009.

OTTONI, A. Desenvolvimento sustentável para preservar recursos hídricos. Separata de: **Revista do CREA-RJ**, Rio de Janeiro, n. 98, p. 35-37, ago./set. 2014.

PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS – PBMC. **PMBC, 2013**: contribuição do Grupo de Trabalho 2 ao Primeiro Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. Sumário Executivo do GT2. Rio de Janeiro: PMBC, 2013. 28 p.

POMARES, R.M.C. **Diminuição do pico de cheia na rede de drenagem de águas pluviais através do sistema de aproveitamento de água da chuva**. Faro, Portugal, 2010. 260 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade do Algarve, Faro, Portugal.

RIO DE JANEIRO. Lei Estadual nº 4.393, de 16 de setembro de 2004. Dispõe sobre a obrigatoriedade das empresas projetistas e de construção civil a prover os imóveis residenciais e comerciais de dispositivo para captação de águas da chuva e dá outras providências. Rio de Janeiro: Diário de Justiça do Rio de Janeiro, 16 set. 2004.

RIO DE JANEIRO. Lei nº 5.279, de 27 de junho de 2011. Cria no município do Rio de Janeiro o Programa de Conservação e Uso Racional da Água nas Edificações. Rio de Janeiro: Câmara Municipal do Rio de Janeiro, 27 jul. 2011.

SAKELLARI, I.; MAKROPOULOS, C.; BUTLER, D.; MENON, F.A. Modelling sustainable urban water management options. **Institution of Civil Engineers - Engineering Sustainability**, n. 158, v. ES3, p. 143-153, set. 2005.

TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não potáveis**. São Paulo: Navegar, 2003. 180 p.

TUCCI, C.E.M. (Org.). **Hidrologia**: ciência e aplicação. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2009. 943 p.

VELOSO, N.S.L.; MENDES, R.L.R. Aspectos legais do uso da água da chuva no Brasil e a gestão dos recursos hídricos: notas teóricas. In: XX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 20., 2013, Bento Gonçalves. Disponível em: <<http://www.abrh.org.br>>. Acesso em: 28 ago. 14.

VIGGIANO, M.H.S. **Edifícios públicos sustentáveis**. Brasília: Senado Federal, Subsecretaria de Edições Técnicas, 2010. 85 p.